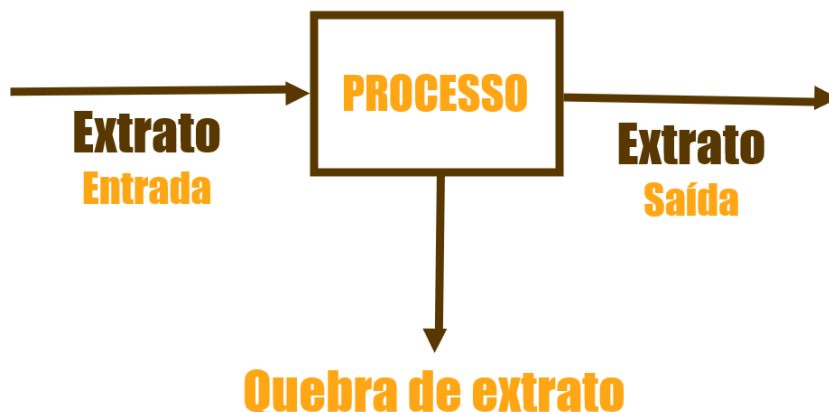




ISEL
INSTITUTO SUPERIOR DE
ENGENHARIA DE LISBOA

INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA
Área Departamental de Engenharia Química



Quebra de extrato na fabricação de cerveja

FRANCISCO JOÃO NORONHA DOS SANTOS
(Licenciado em Engenharia Química e Biológica)

Relatório de Estágio para obtenção do grau de Mestre em
Engenharia Química e Biológica

Orientador:

Doutor Teodoro José Pereira Trindade

Júri:

Presidente:

Doutor João Fernando Pereira Gomes

Vogais:

Doutora Helena Maria Nóbrega Teixeira Avelino

Doutor Teodoro José Pereira Trindade

Outubro de 2019

Quebra de extrato na fabricação de cerveja

Copyright © 2019 Francisco João Noronha dos Santos

Instituto Superior de Engenharia de Lisboa / Sociedade Central de Cervejas e Bebidas

Todos os direitos são reservados. Nenhuma parte deste trabalho pode ser reproduzida, distribuída ou transmitida de qualquer forma ou por qualquer meio, incluindo fotocópia, gravação ou outros métodos eletrónicos ou mecânicos, sem a permissão prévia do autor. Para solicitações de permissão, deverá escrever-se para o endereço abaixo indicado.

fjns95@gmail.com

Confidencialidade dos dados: Certas informações do documento são consideradas confidenciais pela Sociedade Central de Cervejas. No decorrer do texto encontram-se simbolizadas por —. Nas figuras e tabelas foi criada uma figura com a designação **Confidencial**.

Àqueles que da sombra fizeram nascer a luz...



Agradecimentos

A todos os que se seguem, o meu profundo agradecimento pelo impacto da vossa dedicação durante o meu percurso académico, que me permitiu crescer enquanto Ser Humano e como Profissional de Engenharia.

- Em primeiro lugar, um obrigado a **Ti** que tornaste tudo isto possível da forma que apenas Tu ousas fazer.
- Em segundo lugar, obrigado **família** pelo vosso apoio.
 - Pais, obrigado pelo amparo que me deram sempre de acordo com os recursos que tinham.
 - Manos, obrigado pelo vosso verdadeiro companheirismo nas alegrias e tristezas da vida.
 - Avós, obrigado pela vossa dedicação e ternura.
 - Princesa, obrigado pelo teu carinho e apoio inabaláveis.
- Em terceiro lugar, obrigado **amigos!** Vocês que tiveram um papel importante na minha vida, tanto na partilha de vivências agradáveis como na compreensão e amparo nos momentos menos fáceis. Um obrigado especial a ti meu grande amigo, André Duarte, és um verdadeiro companheiro de vida.
- Em quarto lugar, um eterno obrigado a vocês, **ISELianos**, pois foi convosco que partilhei a minha vida académica, um marco histórico na minha vida.
 - A si, professor Teodoro Trindade, um obrigado especial pelo prazer e dedicação com que me orientou, por todos os momentos em que me ajudou a traçar novos caminhos e pelo seu enorme gosto por aquilo que faz. Consigo, encontrei um modelo a seguir.
 - A vocês, professores, obrigado pelo conhecimento valioso que me transmitiram e por toda a compreensão, motivação e companheirismo que se criou entre nós.
 - A vocês, afilhados, pela vossa companhia, boa disposição e companheirismo.
 - A vocês, colegas, obrigado pelo vosso auxílio e companheirismo.
 - A vocês, restante família académica, obrigado por me ajudarem a ser não apenas um aluno de engenharia, mas sim um membro ativo na comunidade do ISEL.
- Em último lugar, um obrigado especial ao pessoal da **Sociedade Central de Cervejas (SCC)**, pois sem vocês o caminho percorrido no final do curso não teria sido o mesmo.

- A vocês, dirigentes da SCC, por me terem proporcionado todos os meios materiais e sociais necessários à progressão e sucesso do trabalho.
- A si, Paula Portugal, que merece um lugar de destaque pela alegria com que recebe todos os visitantes da SCC e pela oportunidade que me deu em integrar a SCC.
- A si, Pedro Vicente, obrigado por ter aceite ser meu orientador, pelo *know-how* cervejeiro que me transmitiu e pela sua atitude peculiar no dia-a-dia.
- A si, João Paulo, um obrigado especial pela sua preocupação e dedicação constante, por me ter auxiliado nos pontos mais críticos do trabalho e por me permitir ser parte ativa dentro da empresa.
- A vocês, João Gonçalves, Inês Eugénio, Inês André, Nuno Filipe, Bruna Coelho e Gonçalo Henriques, os meus amigos estagiários, por terem proporcionado os momentos de partilha inesquecíveis pelo companheirismo e entre-ajuda.
- A vocês, pessoal das "Adegas", liderados pelos *team-leaders* José Caneira, Pedro Pereira e Ricardo Freitas, um grande obrigado pela vossa disponibilidade na partilha de conhecimento e experiência inadquiríveis em qualquer outro lugar.

A todos, muito obrigado!



Resumo

A cerveja é uma bebida com valor económico que pode ser quantificado pela quantidade do seu extrato. O extrato corresponde à quantidade de açúcares extraídos dos cereais (matérias-primas) durante a etapa de fabricação de mosto, sendo estes necessários à fermentação alcoólica. A contabilização do extrato é a forma mais objetiva de se quantificar a concentração do mosto ou da cerveja a processar. A quebra de extrato corresponde ao extrato perdido num processo ou sistema. A redução da quebra de extrato é um objetivo de elevada prioridade para a Sociedade Central de Cervejas (SCC), logo após a abolição dos acidentes de trabalho, o objetivo de primeira prioridade, pois cada unidade percentual da quebra de extrato global traduz-se numa perda de milhares de euros para a empresa.

A gestão da área de *Supply Chain* desta empresa é realizada, desde 2005, pelo *Total Productive Management* (TPM). Este programa de excelência permite definir os objetivos a cumprir anualmente em cada Pilar de Gestão Autónoma na SCC. Um dos objetivos de maior prioridade é a redução da quebra de extrato global evitável da empresa, tornando-se este o foco do presente trabalho através da identificação e quantificação de Pontos de Quebra de Extrato no processo de fabricação e a procura de Ações de Melhoria (AM) sustentáveis. O TPM contribui com ferramentas que conferem suporte metodológico ao trabalho, tais como o *Value Stream Mapping* (VSM) e o *Unified Problem Solving* (UPS). Na área de estudo (Fermentação e Maturação de cerveja) foram identificadas 17 Oportunidades de Melhoria (OM), das quais 4 (OM n°1, n°6, n°7 e n°15) foram analisadas e quantificadas (— de impacto na Quebra de Extrato global do processo, respetivamente) e convertidas em Ações de Melhoria para futura implementação na empresa (AMI n°1.2.1, n°6.1/6.3, n°15.1.1/15.1.2). Em termos de implementação, a AMI n°1.2.1 foi implementada em março de 2019 a todas as receitas de cerveja e as AMI n°I.I e n°15.1.1/15.1.2 têm previsão de implementação em 2020.

Globalmente, caso sejam implementadas todas as AMI sugeridas neste trabalho, conseguindo-se uma eliminação completa da quebra de extrato em cada ponto, obter-se-ia uma redução de aproximadamente 20% da quebra de extrato global evitável do processo verificada em 2018.

Palavras chave

Cerveja; Quebra de Extrato; *Value Stream Mapping*; *Unified Problem Solving*; Análise de 5 Porquês; Sociedade Central de Cervejas



Abstract

Beer is an economic valuable beverage that can be quantified by the amount of its extract. The extract corresponds to the amount of sugars extracted from the cereals (raw materials) during the wort production, which are needed for alcoholic fermentation. Accounting for the extract is the most objective method to measure the concentration of wort or beer to be processed. Extract loss is the true losses in a process or system. Reducing extract loss is a high-priority objective for *Sociedade Central de Cervejas* (SCC), right after the elimination of accidents at work, which is the first priority objective, as each percentage unit of global extract loss results in the loss of many thousands of euros.

The management of Supply Chain in this company has been carried out, since 2005, by Total Productive Management (TPM). This program of excellence allows you to define the objectives to be achieved per year in each Autonomous Management Pillar at SCC. One of the top priority objectives is to reduce the avoidable global extract loss of the company. This is the aim of this research that will identify and quantify Extract Loss Points in the production process and will look for sustainable Improvement Actions (AM). TPM contributes with tools that give methodological support to the study, such as Value Stream Mapping (VSM) and Unified Problem Solving (UPS). In the study area (Fermentation and Beer Maturation) 17 Improvement Opportunities (OM) were identified, of which 4 (OM n°1, n°6, n°7 and n°15) were analyzed and quantified (— of impact on the overall Extract Loss of the process, respectively) and converted into Improvement Actions for future implementation in the company (AMI n°1.2.1, n°6.1/6.3 and n°15.1.1/15.1.2). As for implementation, AMI n°1.2.1 was carried out in March 2019 in all beer revenues and AMI n°I.I and n°15.1.1/15.1.2 is expected to be implemented by 2020.

Globally, if all of the AMI suggested in this work are implemented, obtaining a full elimination of each extract loss point, leads to a reduction of approximately 20% in the process avoidable overall extract loss observed in 2018.

Keywords

Beer; Extract Loss; Value Stream Mapping; Unified Problem Solving; Root Cause Failure Analysis; *Sociedade Central de Cervejas*



Abreviaturas e Simbologia

Abreviaturas

5S	<i>Sort/Seiri, Straighten/Seiton, Shine/Seiso, Standardize/Seiketsu, Sustain/Shitsuke</i>
AM	Ação de Melhoria
AMI	Ação de Melhoria a Implementar
BM	Benefício Monetário
BMX	<i>Brewmaxx (Software de controlo do processo cervejeiro)</i>
BPO	<i>Business Process Optimization</i>
CC W	Fermentador do tipo Cilindro-Cónico n°W (W = 1 a 14)
CIP	<i>Cleaning In Place</i>
CM	Custo Monetário
DCS	<i>Daily Control System</i>
EBC	<i>European Brewery Convention</i>
FK	Filtro de <i>Kieselguhr</i>
FP	Filtro Prensa
FX	Fabrico de Mosto n°X (X = 1 a 6)
IBU	<i>International Bitterness Units</i>
ISEL	Instituto Superior de Engenharia de Lisboa
OM	Oportunidade de Melhoria
OT Y	Fermentador do tipo <i>Asahi Tank</i> n°Y (Y = 1 a 20)
Pilar GA	Pilar de Gestão Autónoma
PQE	Ponto de Quebra de Extrato
QE	Quebra de Extrato
RCFA	<i>Root Cause Failure Analysis</i>
S.A.	Sociedade Anónima
Sala J	Sala de Fabrico de Mosto n°J (J = 1 ou 2)
S.A.R.L.	Sociedade Anónima de Responsabilidade Limitada
SCC	Sociedade Central de Cervejas
TPM	<i>Total Productive Management</i>
TPM Next	Versão mais recente do <i>Total Productive Management</i>
UPS	<i>Unified Problem Solving</i>
VSM	<i>Value Stream Mapping</i>

Simbologia

Simbologia química

C_2H_5OH	Etanol
$C_6H_{12}O_6$	Glucose
CO_2	Dióxido de carbono
H_2O	Água
N_2	Azoto
NH_3	Amoníaco
O_2	Oxigénio
pH	Potencial de hidrogénio

Simbologia latina

A	[%v/v]	Teor em álcool
Ar	[°P s]	Área de integração gráfica
E	[kg ou °P]	Teor em extrato
Q	[hL/h]	Caudal volumétrico
SG	[kg/L]	Densidade específica
t	[min : s]	Tempo
T	[°C]	Temperatura
V	[L]	Volume

Subscritos

<i>cer rec</i>	Cerveja Recuperada
<i>g</i>	Ganho
<i>integ</i>	Integração
<i>kg</i>	Quilogramas
<i>L</i>	Litros
<i>min</i>	Minutos
<i>o</i>	Graus <i>Plato</i> (°P)
<i>Or</i>	Original
<i>R</i>	Real
<i>s</i>	Segundos
<i>sp</i>	<i>Set-point</i>



Índice

Agradecimentos	v
Resumo	vii
Abstract	ix
Abreviaturas e Simbologia	xi
Índice	xiii
Lista de Figuras	xv
Lista de Tabelas	xix
1 Introdução	1
1.1 Motivação	1
1.2 Objetivo	1
1.3 Estrutura	2
2 Enquadramento e Estado-de-arte	5
2.1 Cerveja	5
2.1.1 Tipos de cerveja	5
2.1.2 Características da cerveja	6
2.1.3 Processo de fabricação de cerveja	7
2.2 Sociedade Central de Cervejas	21
2.2.1 <i>Total Productive Management</i>	22
2.2.2 Objetivos 2019	26
2.2.3 Quebra de extrato	26
3 Materiais e Métodos	31
3.1 Metodologias Táticas	31
3.1.1 Desenvolvimento semanal do trabalho	31
3.1.2 Fundamentos do TPM Next	33
3.2 Metodologias Operacionais	35
3.2.1 Quebra de extrato e custo associado	35
3.2.2 Planos de Amostragem	35
4 Resultados e Discussão	47
4.1 Seleção e Estado Atual do Processo	47
4.2 Identificação das Oportunidades de Melhoria	49
4.3 Descrição e Quantificação de Oportunidades de Melhoria	51

4.3.1	Arrefecimento de mosto	51
4.3.2	Centrifugação de cerveja	55
4.3.3	Recuperação de cerveja	60
4.3.4	Resumo da Quantificação das Oportunidades de Melhoria	65
4.4	Análise da Causa-Raiz e Procura das Ações de Melhoria	66
4.5	Ações de Melhoria	72
4.5.1	Arrefecimento de mosto	72
4.5.2	Centrifugação de cerveja	75
4.5.3	Recuperação de cerveja	78
4.5.4	Outras Ações de Melhoria	80
4.5.5	Ações de Melhoria a Implementar	82
5	Conclusões e Perspetivas Futuras	85
	Referências	87
A	Arrefecimento de Mosto	89
A.1	Modo de Operação do Sistema de Purga	89
A.2	Diferença entre as Leituras de Extrato obtidas pelo BMX e pelo Alcoyzer	90
A.3	Desvio da Curva de Tendência relativamente aos Valores Experimentais de E_o	90
B	Divulgação do Trabalho	95
B.1	Formação de Colaboradores – SCC	95
B.2	Fórum de Engenharia Química e Biológica 2019 – ISEL	95
B.3	ISEL ALIVE 2019	97
B.4	Apresentações Intercalares – ISEL e SCC	99

Lista de Figuras

1.1	Passos principais para se atingir o objetivo do trabalho.	1
2.1	Tipos de cerveja: <i>Lager</i> e <i>Ale</i>	6
2.2	As 5 áreas sequenciais do processo de fabricação de cerveja da SCC.	7
2.3	Diagrama esquemático do processo de fabricação de cerveja da SCC.	8
2.4	Esquema de funcionamento de um permutador de calor de placas utilizado no arrefecimento de mosto.	10
2.5	Sistema de arejamento de mosto utilizado na SCC.	12
2.6	Esquema das fases de fermentação do mosto.	13
2.7	Esquema de um fermentador de estrutura Cilindro-Cônica.	14
2.8	Perfil característico de fermentação para a produção de cerveja Sagres Branca.	15
2.9	Clarificação de cerveja verde por centrifugação.	16
2.10	Centrifugadoras utilizadas na SCC para clarificação de cerveja.	17
2.11	Sala de Guarda onde é realizada a maturação de cerveja.	18
2.12	Recolha e destino da levedura produzida em excesso na secção de Fermentação e Maturação de cerveja.	20
2.13	Evolução histórica do logótipo da Sociedade Central de Cervejas e Bebidas, S.A.	21
2.14	Marcas nacionais e internacionais comercializadas pela Sociedade Central de Cervejas e Bebidas, S.A.	22
2.15	Estrutura do programa TPM Next.	23
2.16	<i>Value Stream Map</i> para redução da Quebra de extrato.	24
2.17	Folha de Análise de 5 Porquês.	25
2.18	Indicadores da cervejeira de Vialonga em 2019.	26
2.19	Quebra de extrato na área de estudo.	27
2.20	Limite técnico, limite tecnológico e quebra de extrato.	27
2.21	Evolução anual da quebra de extrato e objetivos para os próximos anos.	28
3.1	Etapas de aplicação da metodologia <i>Value Stream Mapping</i>	33
3.2	Etapas de aplicação da metodologia <i>Unified Problem Solving</i>	34
3.3	Variação de extrato e de volume acumulado durante o tempo de purga.	36
3.4	Valores de E_o ao longo do tempo de purga e respetiva curva de tendência.	37
3.5	Local onde é efetuada a purga pré-centrifugação.	39
3.6	Filtrações sucessivas de levedura para obter cerveja clarificada.	40
3.7	<i>Alcolyzer</i> e procedimento de leitura do extrato original das amostras de cerveja.	40
3.8	textitVial com cerveja para análise no <i>Alcolyzer</i>	41
3.9	Local de amostragem das descargas de levedura na centrifugadora <i>Alfa Laval</i>	41

3.10	Painel da centrífugadora <i>Alfa Laval</i> em dois momentos de descarga de levedura.	42
3.11	Locais de amostragem de mosto com e sem cerveja recuperada e de cerveja recuperada.	44
4.1	<i>Value Stream Map</i> da área de Fermentação e Maturação de cerveja da SCC.	48
4.2	<i>Value Stream Map</i> e secções de processo onde foram identificados um ou mais Pontos de Quebra de Extrato.	49
4.3	Diagrama simplificado de processo da secção de Arrefecimento de mosto. . .	52
4.4	Fluxo da água e dos 6 fabricos de mosto ao longo do tempo nas tubagens. .	53
4.5	Diagrama simplificado de processo da secção de Centrifugação de cerveja. .	56
4.6	Esquema resumo da transferência de cerveja do fermentador para os tanques de guarda.	57
4.7	Diagrama simplificado de processo da secção de Recuperação de cerveja. . .	61
4.8	Volumes de cerveja recuperada em 2018.	62
4.9	Caracterização do sistema de injeção de cerveja recuperada.	63
4.10	Extrato, Valor monetário e Quebra de extrato global recuperados e perdidos, em 2018.	64
4.11	Análise de 5 Porquês da OM n°1.	67
4.12	Análise de 5 Porquês da OM n°6.	68
4.13	Análise de 5 Porquês da OM n°7.	69
4.14	Análise de 5 Porquês da OM n°15.	70
4.15	Impacto da redução do <i>Set-point</i> de Extrato no Volume de purga adicionado ao fermentador, na Quebra de Extrato e no Custo e Benefício Monetários.	73
4.16	Volume e Extrato aproximados da água purgada, nas zonas A e B da curva de extrato.	74
4.17	Novo diagrama de processo da secção de Centrifugação de cerveja após a implementação da AM n°6.1/6.3.	77
4.18	Tecnologias de recuperação de cerveja disponíveis no mercado para substituição do Filtro Prensa.	79
4.19	Empresas que comercializam as tecnologias de recuperação de cerveja mais recentes.	80
4.20	Resultado da falta de controlo do nível de pasta de levedura no tanque de recolha das descargas das centrífugas.	81
4.21	Matriz Benefício/Esforço das Ações de Melhoria a Implementar na SCC. . .	83
4.22	Momentos de implementação das AMI.	83
A.1	Modo de operação do sistema de purga na secção de Arrefecimento de mosto.	89
B.1	Apresentação do trabalho aos estudantes do ensino secundário, no curso de verão "ISEL ALIVE 2019", no dia 03/07/2019.	97
B.2	Participantes do curso de verão "ISEL ALIVE 2019", no dia 03/07/2019. . .	98
B.3	Participantes na 1ª apresentação intercalar do trabalho, na Sociedade Central de Cervejas, no dia 23/04/2019.	99

B.4 Participantes na 2^a apresentação intercalar do trabalho, na Sociedade Central de Cervejas, no dia 24/07/2019. 99

Lista de Tabelas

2.1	Alguns tipos de cerveja <i>Lager</i> produzidas na SCC.	6
2.2	Características percebidas pelo consumidor e valores característicos de cervejas do tipo <i>Pilsener</i>	7
2.3	Estágios de arrefecimento de mosto da cerveja Sagres.	11
2.4	Principais características dos fermentadores.	14
3.1	Reuniões semanais efetuadas na SCC e no ISEL.	32
3.2	Valores corrigidos de E_o ao longo do tempo durante a Purga 1.	37
3.3	Extrato perdido na purga de um fabrico de mosto.	38
4.1	Oportunidades de Melhoria identificadas por secção de processo.	50
4.2	Características das Purgas 1 e 2.	54
4.3	Quebra de extrato e custo monetário referentes à OM n°1.	54
4.4	Quebra de extrato e custo monetário referentes à OM n°6.	58
4.5	Quebra de extrato e custo monetário referentes à OM n°7.	59
4.6	Resumo da quantificação das Oportunidades de Melhoria estudadas.	65
4.7	Ações de Melhoria e respetivas vantagens e desvantagens na sua implementação.	71
4.8	Ganho com a alteração do <i>Set-point</i> de Extrato de 10°P para 3°P.	75
4.9	Ações de Melhoria a Implementar na SCC.	82
A.1	Diferença entre os valores de E_o obtidos pelo BMX e pelo Alcolyzer.	90
A.2	Desvio percentual médio de E_o correspondente ao arrefecimento do fabrico de mosto n°1.	90
A.3	Desvio percentual médio de E_o correspondente ao arrefecimento do fabrico de mosto n°2.	91
A.4	Desvio percentual médio de E_o correspondente ao arrefecimento do fabrico de mosto n°3.	91
A.5	Desvio percentual médio de E_o correspondente ao arrefecimento do fabrico de mosto n°4.	92
A.6	Desvio percentual médio de E_o correspondente ao arrefecimento do fabrico de mosto n°5.	92
A.7	Desvio percentual médio de E_o correspondente ao arrefecimento do fabrico de mosto n°6.	93

Capítulo 1

Introdução

1.1 Motivação

Durante o tempo que frequentei a Licenciatura em Engenharia Química e Biológica no Instituto Superior de Engenharia de Lisboa desenvolvi um enorme interesse pelo estudo de processos industriais, incluindo a sua análise, controlo, otimização e integração. Além disso, o gosto de trabalhar com pessoas foi algo muito presente. A grande motivação para efetuar o presente trabalho foi a possibilidade de utilizar o conhecimento adquirido durante o curso na resolução de problemas de uma empresa, tornando o trabalho útil pela sua aplicabilidade imediata. Além disso, gosto de conhecer grandes empresas, com processos maravilhosos e pessoas fantásticas. Na minha visão, este seria o cenário ideal para efetuar um excelente trabalho com a elaboração da minha tese de mestrado. Felizmente, tive a oportunidade de viver na Sociedade Central de Cervejas o cenário que anteriormente idealizei. O tema "Quebra de extrato na fabricação de cerveja" é um tema de enorme relevância, pois a Quebra de Extrato é um dos indicadores de maior prioridade no processo de melhoria contínua da SCC. Em 2019, a Quebra de Extrato deverá ser inferior a — de forma a manter-se a certificação *TPM Bronze* conferida pela Heineken.

1.2 Objetivo

O principal objetivo deste trabalho foi *contribuir para a redução da Quebra de Extrato no processo de fabricação de cerveja da Sociedade Central de Cervejas*. Para tal, seguiram-se os passos representados na Figura 1.1.



Figura 1.1 Passos principais para se atingir o objetivo do trabalho.

Cada passo da Figura 1.1 é abordado de seguida:

1. Adaptação ao **ESTADO-DE-ARTE ATUAL** da Sociedade Central de Cervejas;
2. Análise, interpretação e estudo pormenorizado do **PROCESSO DE FABRICAÇÃO** de cerveja utilizado;
3. Identificação da área de estudo no processo de fabricação (**FERMENTAÇÃO E MATURAÇÃO DE CERVEJA**);
4. Identificação e quantificação de **OPORTUNIDADES DE MELHORIA** (Pontos de Quebra de Extrato);
5. Procura e implementação de **AÇÕES DE MELHORIA** eficazes, eficientes e sustentáveis.

1.3 Estrutura

A estrutura foi pensada com o objetivo de tornar o trabalho prático e de fácil compreensão. Como tal, valorizaram-se abordagens em tópicos, passos, etapas, áreas e/ou secções de forma a compartimentar o conteúdo. No geral, o trabalho constitui-se em 5 capítulos:

- **CAPÍTULO 1 – Introdução:** No primeiro capítulo é efetuada uma introdução ao trabalho, abordando geralmente os fatores que motivaram a sua execução numa empresa como a Sociedade Central de Cervejas e num tema como a Quebra de Extrato. Além disso, é referido o objetivo principal do trabalho e os principais passos para o atingir. Finalmente, a estrutura geral do trabalho é descrita de modo a entender-se o intuito e o teor de cada capítulo.
- **CAPÍTULO 2 – Enquadramento e estado-de-arte:** O segundo capítulo contém a sustentação teórica que suporta todo o trabalho experimental desenvolvido. São introduzidos alguns conceitos cervejeiros e é explicado o processo de fabricação de cerveja. A área de estudo (Fermentação e Maturação de cerveja) é explicada em pormenor, sendo dividida nas secções que a constituem: Arrefecimento de mosto, Arejamento de mosto, Fermentação, Clarificação de cerveja e Maturação de cerveja. De seguida explora-se a Sociedade Central de Cervejas, local onde foi realizado todo o trabalho, e a sua relação com o grupo Heineken. Também é revelado o atual programa de gestão destas empresas (TPM Next), bem como a sua relação com os objetivos deste trabalho. Daqui nasce o foco do trabalho, a redução da Quebra de Extrato, e é onde se abordam todos os conceitos e particularidades relativas ao tema. São apresentados valores reais e objetivo da quebra de extrato em anos anteriores, a tendência futura prevista para os próximos anos e os limites técnico e tecnológico do processo de fabricação da SCC.

- **CAPÍTULO 3 – Materiais e métodos:** No terceiro capítulo são revelados os dois tipos de metodologias utilizados: metodologias táticas e metodologias operacionais. Nas metodologias táticas é abordado o planejamento e organização do trabalho em *open space*, utilizando alguns Fundamentos do TPM Next como o VSM e o UPS. Nas metodologias operacionais revela-se o trabalho executado diretamente na fábrica seguindo sequências de cálculo e planos de amostragem específicos.
- **CAPÍTULO 4 – Resultados e discussão:** No quarto capítulo apresentam-se todos os resultados da aplicação dos métodos revelados no capítulo anterior. Expõe-se o *Value Stream Map* da área de Fermentação e Maturação de cerveja, que inclui o processo mapeado, as Oportunidades de Melhoria identificadas e toda a informação adicional relevante. Algumas Oportunidades de Melhoria são descritas pormenorizadamente e quantificadas. Posteriormente, são convertidas em Ações de Melhoria, passando pela descoberta da causa-raiz de cada problema. Finalmente, é realizada uma triagem das Ações de Melhoria de acordo com as vantagens e desvantagens da sua aplicabilidade. Desta forma, surgiram as Ações de Melhoria a Implementar na SCC, tendo sido inseridas numa matriz benefício/esforço.
- **CAPÍTULO 5 – Conclusões e perspectivas futuras:** No último capítulo são apresentadas as conclusões globais relativas aos seguintes tópicos: fundamentos do TPM Next (VSM e UPS); quebras de extrato, custos e causas-raiz das Oportunidades de Melhoria analisadas e Ações de Melhoria a Implementar. Finalmente, demonstra-se a importância de trabalhos futuros idênticos no mundo cervejeiro.



Enquadramento e Estado-de-arte

2.1 Cerveja

A cerveja é a bebida alcoólica mais antiga e mais consumida no mundo e a terceira bebida mais popular, logo após a água e o chá [1]. É uma bebida 100% natural e é protegida de microrganismos patogénicos devido ao seu pH, teor alcoólico, presença de dióxido de carbono e lúpulo [2]. A cerveja contém quatro ingredientes principais: água, cereais, levedura e lúpulo. Resulta da fermentação alcoólica do mosto, sendo este produzido a partir da extração do amido e de açúcares mais simples provenientes de matérias-primas como cevada, milho, trigo ou arroz. Segundo a legislação portuguesa, pelo menos 50% do extrato do mosto deve ser obtido de cevada e/ou trigo maltado. A cevada (maltada e não maltada) é o cereal mais utilizado mundialmente para a produção de cerveja [3]. A água corresponde a mais de 90% da cerveja, devendo ser potável e isenta de aromas e sólidos em suspensão. Os cereais são os ingredientes base da fabricação de cerveja, pois é a partir deles que provém o amido que posteriormente é degradado em açúcares mais simples. O lúpulo é adicionado de forma a conferir o amargor e aroma característicos da cerveja, contribuindo também para a estabilidade da espuma. A levedura de cerveja (género *Saccharomyces*) é o microrganismo responsável pela fermentação do mosto, convertendo os açúcares nele presentes em álcool e dióxido de carbono. A estirpe de levedura utilizada determina o perfil final da cerveja. Podem ainda utilizar-se especiarias e frutas para moldar o perfil aromático e gustativo convencional, tornando-o singular. É desta forma que nascem algumas cervejas especiais [1].

2.1.1 Tipos de cerveja

Existem dois grandes tipos de cerveja: as do tipo *Lager* e as do tipo *Ale* (Figura 2.1). O tipo de cerveja mais produzida na Sociedade Central de Cervejas (SCC) é do tipo *Lager*. É obtido com levedura de baixa fermentação¹ e com perfis de temperatura entre 11 °C e 17 °C. Apresentam características como o travo amargo e seco, o aroma discreto a lúpulo e a espuma persistente. Cervejas com aromas pronunciados, fermentadas com levedura de alta fermentação e produzidas com perfis de temperatura entre 15 °C e 18 °C (mais elevadas), são cervejas do tipo *Ale* [2]. As marcas das cervejas *Lager* produzidas na SCC encontram-se na Tabela 2.1.

¹*Levedura de baixa fermentação* – Levedura cultivada em laboratório que fermenta a baixas temperaturas (inferiores à levedura de alta fermentação). No final da fermentação, este tipo de levedura precipita rapidamente e deposita-se na base do fermentador [3, 4].



Figura 2.1 Tipos de cerveja: *Lager* (à esquerda) e *Ale* (à direita) [1].

Tabela 2.1 Alguns tipos de cerveja *Lager* produzidas na SCC [2].

Tipos de cerveja	Cerveja <i>Lager</i>
<i>Pilsener</i>	<i>Sagres Branca / Bohemia Pilsener</i>
Munique	<i>Sagres Preta</i>
<i>Marzen</i>	<i>Bohemia Original</i>
Outros tipos	<i>Sagres Radler / Sagres 0.0% / Bohemia Puro Malte / Bohemia Bock</i>

2.1.2 Características da cerveja

Quando comparadas pelos consumidores, são percecionadas 6 características principais da cerveja: 1) o álcool, sempre indicado no rótulo da embalagem em percentagem de álcool correspondente a volume de álcool por volume de cerveja; 2) o amargor, sendo expresso em *International Bitterness Units* (IBU), onde 1 IBU equivale a 1 mg de iso- α -ácidos por litro de água ou cerveja, no intervalo entre 15 e 35 IBU; 3) a espuma, analisada em termos de consistência, quantidade e estabilidade, sendo medida no tempo que demora a desaparecer segundo o método de análise padronizado (NIBEM); 4) a cor, sendo expressa em intensidade segundo a *European Brewery Convention* (EBC); 5) o dióxido de carbono, um gás dissolvido e sem grande estabilidade; e 6) a limpidez, que está inversamente relacionada com o grau de turvação da cerveja [3, 4]. Os requisitos relativos às 6 características percecionadas pelo consumidor variam dependendo do tipo de cerveja. Os valores característicos das cervejas do tipo *Pilsener* encontram-se na Tabela 2.2.

Tabela 2.2 Características percebidas pelo consumidor e valores característicos de cervejas do tipo *Pilsener* [3].

Característica do consumidor	Cerveja <i>Pilsener</i>
Álcool (%)	5
Amargor (IBU)	12 a 25
Espuma (s)	> 250 e estável
Cor (EBC)	7 a 10
CO ₂ (g/L)	4,8 a 5,2
Limpidez	Transparente

2.1.3 Processo de fabricação de cerveja

O processo de fabricação de cerveja é o conjunto de áreas, e mais especificamente de etapas, em que ocorre transformação físico-química, transporte e armazenamento da matéria e energia necessárias à fabricação de cerveja. O processo de fabricação de cerveja da Sociedade Central de Cervejas, bem como os equipamentos e produtos utilizados, são esquematizados globalmente na Figura 2.3.

De forma mais específica, o processo pode dividir-se em 5 áreas, tal como representado na Figura 2.2.

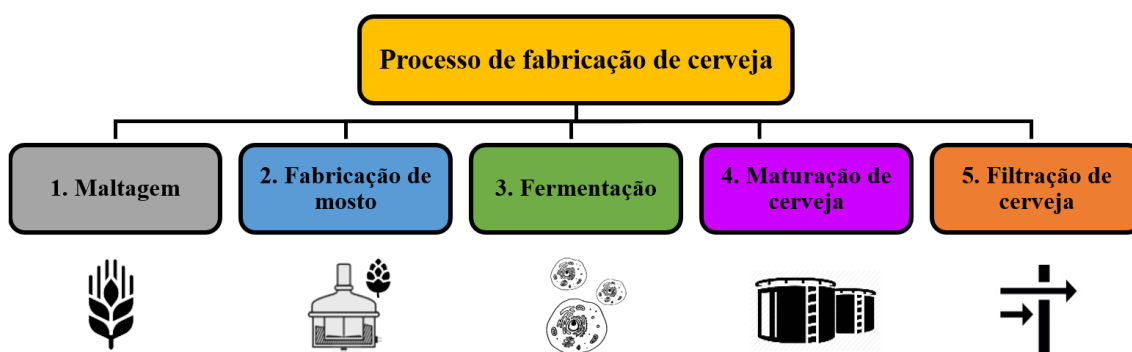


Figura 2.2 As 5 áreas sequenciais do processo de fabricação de cerveja da SCC [3].

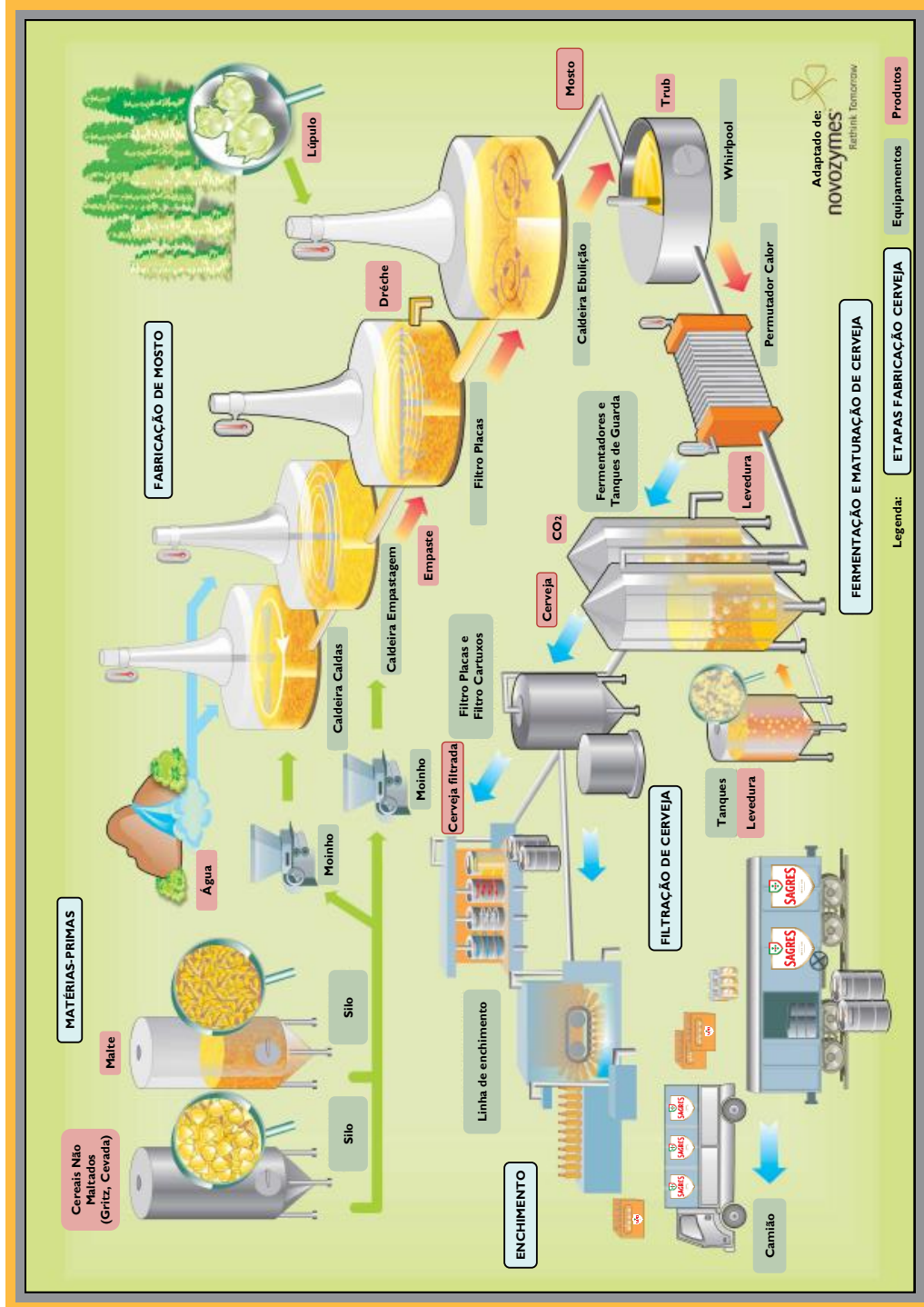


Figura 2.3 Diagrama esquemático das áreas, secções, etapas, equipamentos e produtos envolvidos no processo de fabricação de cerveja da SCC (figura adaptada) [5].

1. **Maltagem** – A maltagem envolve a molha, germinação e secagem da cevada, convertendo-a em malte. Tem como objetivos disponibilizar o amido da cevada de modo a que seja convertido numa variedade de açúcares fermentáveis e não fermentáveis; fornecer uma fonte de aminoácidos e proteínas para que a levedura possa crescer posteriormente de forma viável; e desenvolver cores e sabores desejáveis que não estejam presentes na própria cevada.
2. **Fabricação de mosto** – A fabricação de mosto envolve geralmente três etapas: a empastagem, a separação e a ebulição. A empastagem é a etapa responsável por quebrar os componentes da parede celular das células do malte para libertar o amido, sendo este decomposto e convertido em açúcares mais simples. Permite também que as proteínas sejam divididas em aminoácidos. A separação do mosto causa a remoção de partículas sólidas e algum amido do mosto e a maximização da recuperação de extrato. Por último, a ebulição pretende esterilizar, estabilizar e concentrar o mosto, evaporar alguns compostos indesejados, dissolver alguns óleos e resinas que causam amargor, desnaturar e coagular algumas proteínas provenientes do malte, desenvolver a cor e apurar alguns sabores e aromas do mosto.
3. **Fermentação** – A fermentação envolve uma etapa inicial de preparação do mosto pré-fermentação com arrefecimento, arejamento e inoculação do mosto. Durante a fermentação propriamente dita ocorre o consumo de oxigénio e o crescimento de levedura, a conversão dos açúcares fermentáveis em álcool e dióxido de carbono, o arrefecimento acentuado da cerveja e a remoção de levedura produzida em excesso.
4. **Maturação de cerveja** – A maturação de cerveja envolve o aprimoramento de sabores e aromas da cerveja, a mistura da cerveja para melhorar a sua consistência, a remoção de levedura residual e de complexos formados entre proteínas e taninos que conferem turvação à cerveja, a remoção de oxigénio e a carbonatação da cerveja através da ação da levedura residual.
5. **Filtração de cerveja** – A filtração de cerveja tem como objetivo a remoção de levedura, proteínas e compostos de menor dimensão, de modo a clarificar a cerveja [4].

O presente trabalho teve como foco de estudo as áreas de *Fermentação e Maturação de cerveja*, que se podem subdividir nas seguintes secções:

- Arrefecimento de mosto;
- Arejamento de mosto;
- Fermentação;
- Clarificação de cerveja;
- Maturação de cerveja;
- Recuperação de cerveja.

Cada secção é abordada seguidamente com base nas condições de fabricação da cerveja Sagres Branca, visto ser a receita com maior volume de produção na SCC.

Arrefecimento de mosto

Na fabricação de mosto ocorre a extração dos açúcares presentes nos cereais, a remoção de resíduos, a fervura e a lupulagem da mistura resultante (o empaste). Na fase final da fabricação de mosto, este necessita de ser arrefecido antes de ser fermentado. O objetivo do arrefecimento do mosto é reduzir a temperatura desde os 100°C até à temperatura desejável de início de fermentação, que varia entre 6°C e 20°C, consoante o tipo de cerveja em fabricação. No caso da Sagres Branca a temperatura inicial de fermentação ronda os — [6]. Para o efeito, são utilizados permutadores de calor de placas, tendo cada permutador três estágios de arrefecimento.² O fluido quente é o mosto e o fluido frio, dependendo do estágio de arrefecimento, é água (primeiro estágio), água etanolizada a 10% (segundo estágio) ou água etanolizada a 30% (terceiro estágio). Durante o arrefecimento os fluidos circulam em contracorrente atravessando as placas no interior do permutador de calor sem se misturarem (Figura 2.4). Na produção de Sagres Branca são utilizados apenas os dois primeiros estágios, sendo o terceiro utilizado apenas na fabricação de cerveja sem álcool visto que a temperatura final de arrefecimento desejada é 3°C (temperatura inferior às temperaturas requeridas na fabricação de cervejas com álcool) [6]. A Tabela 2.3 representa as condições de arrefecimento nos três estágios de arrefecimento [4].

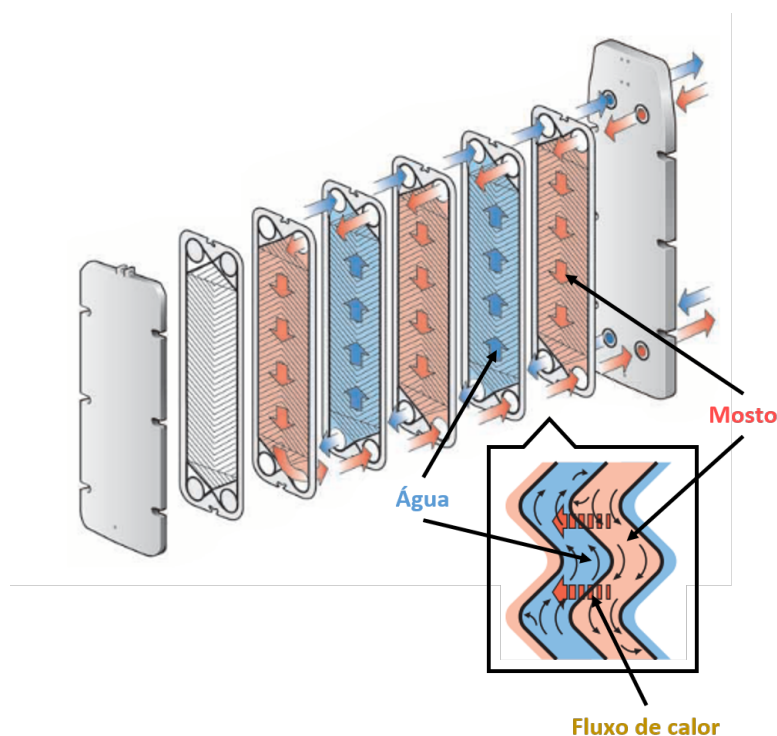


Figura 2.4 Esquema de funcionamento de um permutador de calor de placas utilizado no arrefecimento de mosto (figura adaptada) [7].

²A SCC possui duas Salas de Fabrico de mosto idênticas, existindo um permutador de calor de placas em cada uma para o arrefecimento do mosto.

Tabela 2.3 Estágios de arrefecimento de mosto da cerveja Sagres [6].

Estágio	Fluido de arrefecimento	Mosto		Fluido de arrefecimento	
		T _{entrada} (°C)	T _{saída} (°C)	T _{entrada} (°C)	T _{saída} (°C)
Primeiro	Água	100	20	14	80
Segundo	Água etanolizada (10%)	20	11	5,5	16
Terceiro	Água etanolizada (30%)	11	3	-1,7	0,5

A energia térmica removida ao mosto é significativa e não deve ser desperdiçada, portanto, após a permuta de calor a água de arrefecimento é reutilizada noutras secções do processo, tais como: na Fabricação de mosto, sendo adicionada às caldeiras de caldas e empastagem, minimizando a quantidade de água necessária para cada fabrico do mosto, e no filtro de placas, sendo utilizada como água de lavagem (recuperação de extrato) da *drêche*, um subproduto da fabricação do mosto; na Filtração de cerveja, sendo utilizada na esterilização dos filtros de *kieselguhr*; e ainda sendo utilizada na preparação de soluções quentes para CIP (*Cleaning In Place*).

Acrescenta-se ainda que o arrefecimento de mosto tem impacto no produto final do processo de fabricação de cerveja, visto que influencia o conteúdo proteico do mosto. A redução de temperatura do mosto induz a interação das proteínas com polifenóis, ocorrendo a sua precipitação durante o arrefecimento. Na totalidade, são removidas 17% a 35% das proteínas presentes no mosto [4].

Arejamento de mosto

Após o arrefecimento de mosto, este necessita de ser oxigenado com ar ou oxigénio puro antes de ser inoculado com levedura. O objetivo do arejamento é dissolver oxigénio suficiente no mosto para que a levedura se possa multiplicar durante a respiração celular à taxa de multiplicação desejável. Caso contrário, ocorrem vários problemas tais como: o pobre crescimento de levedura e a sua baixa viabilidade, impedindo a re-inoculação em fermentações seguintes; fermentações mais curtas e lentas, o que origina cervejas com pH final mais elevado, com elevada quantidade de extrato por consumir e com sabores alterados; e ainda a contaminação por bactérias por crescerem mais rápido do que a levedura, alterando as características finais da cerveja [4].

Os sistemas de arejamento de mosto podem ser de injeção de ar ou oxigénio puro, diretamente no fermentador ou em linha (na tubagem de mosto). O arejamento diretamente no fermentador tem desvantagens como a dificuldade de controlar a concentração de oxigénio dissolvido e a probabilidade elevada de contaminações provenientes da atmosfera. O arejamento em linha pode ser realizado a quente ou a frio. Quando é efetuado a quente,

o ar é esterilizado e é devidamente dissolvido quando atravessa o interior do permutador de calor devido à turbulência gerada. Apesar desta vantagem, a injeção a quente pode causar alterações de sabor e aumento da coloração do mosto devido a reações oxidativas. A injeção em linha e a frio não afeta a qualidade do mosto, o que é de extrema importância para a qualidade do produto final, mas exige um sistema de injeção de ar estéril com filtros apropriados, e exige um aumento da solubilidade do gás injetado pela injeção de pequenas bolhas ou assegurando uma mistura vigorosa com injeção a alta pressão [4].

Na SCC o arejamento de mosto é realizado com ar, em linha e a frio, de forma contínua por cada fabrico de mosto injetado no fermentador. Esta configuração não coloca em causa a qualidade do mosto, mas exige que o ar seja previamente esterilizado e injetado através de difusores de pequenas bolhas. Para o efeito, é utilizada a instalação representada na Figura 2.5.

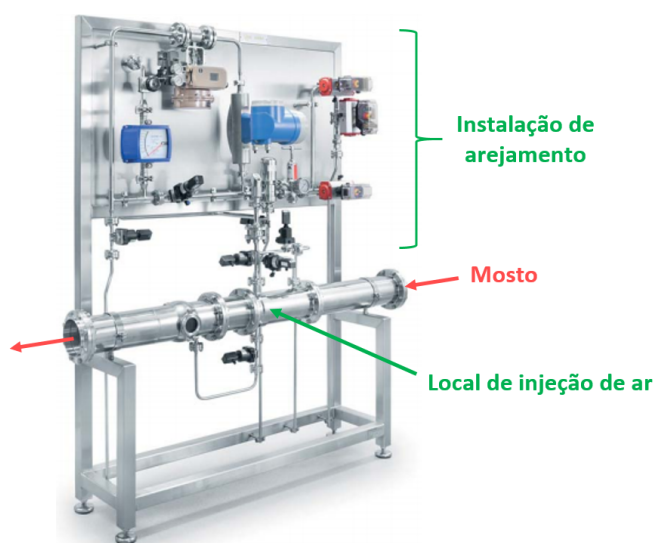


Figura 2.5 Sistema de arejamento de mosto (ESAU & HUEBER - Turbo Air) utilizado na SCC (figura adaptada) [8].

A variável principal a controlar é a concentração de oxigénio dissolvido no mosto, que é medida por um sensor de oxigénio dissolvido em linha após o local de injeção de ar. Dependendo da levedura utilizada e do extrato do mosto diferentes quantidades de oxigénio dissolvido são necessárias. O mosto injetado com ar contém entre 8-10 ppm de oxigénio dissolvido, enquanto que com oxigénio puro, contém cerca de 30 ppm [4]. Para aumentar a dissolução do gás no mosto, existem diversos fatores suscetíveis de otimização tais como: a temperatura e pressão do mosto, o tamanho das bolhas de gás e o nível de turbulência do escoamento do mosto na tubagem. A temperatura é uma variável que não deve ser alterada pois pretende-se que cumpra os requisitos de início de fermentação. De modo a aumentar a pressão do mosto, atualmente é exercida uma contrapressão de 4 bar. O caudal de ar injetado é definido com base no caudal de mosto e é ajustado automaticamente através de um sistema de válvulas. O percurso atual desde o sistema de arejamento de mosto até aos fermentadores é uma única tubagem³, gerando pouca turbulência no mosto.

³O comprimento da tubagem varia devido ao facto dos fermentadores estarem situados a distâncias diferentes do sistema de arejamento.

Fermentação de cerveja

Durante a secção de fermentação é quando ocorre a transformação de mosto em cerveja. Na prática, é quando a maior parte dos açúcares presentes no mosto são utilizados pela levedura para produzir álcool e dióxido de carbono durante a fase anaeróbia (com ausência de oxigénio). Antes da fase anaeróbia ocorre a fase aeróbia, ou seja, fase em que a levedura utiliza o oxigénio e alguns açúcares presentes no mosto para se multiplicar, produzindo CO_2 , água e energia, que se traduz em calor libertado com um conseqüente aumento de temperatura (Figura 2.6) [4].

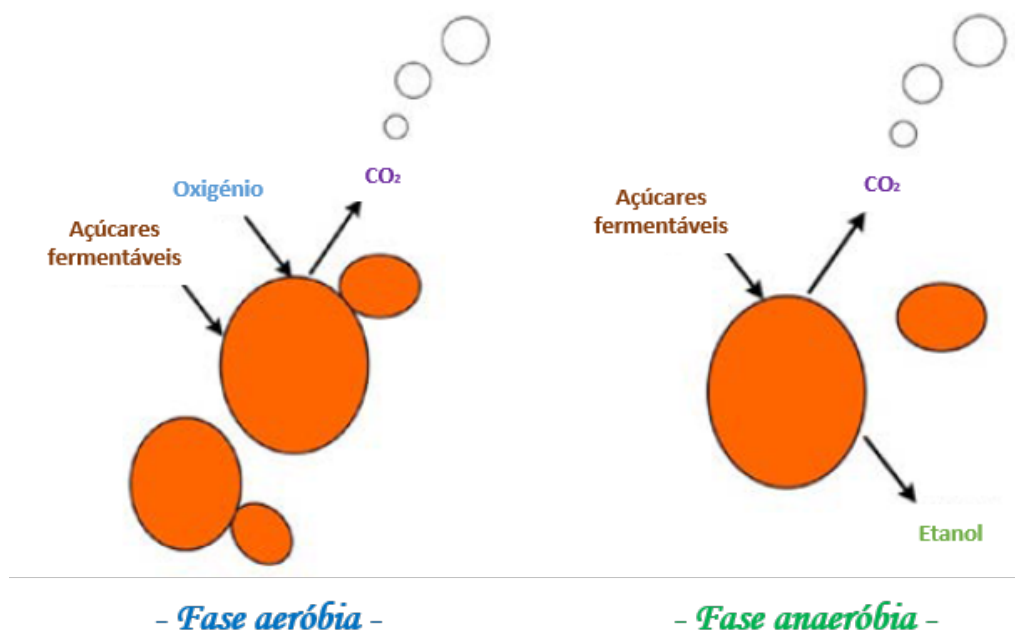


Figura 2.6 Esquema das fases de fermentação do mosto: Fase aeróbia – Crescimento de levedura; Fase anaeróbia – Produção de álcool (figura adaptada) [4].

A levedura utilizada na SCC é a *Saccharomyces pastorianus* ou levedura *Lager*, uma levedura de baixa fermentação. É tipicamente utilizada para produzir cervejas do tipo *Lager*. Existem algumas particularidades deste tipo de levedura, tais como:

- É adequada a fermentações lentas, com duração de cerca de 7 dias, e a baixas temperaturas, entre 10-17°C;
- Não consegue crescer acima dos 34°C;
- No final da fermentação deposita-se no fundo do fermentador;
- O sistema de recolha deste tipo de levedura não é seletivo, pois recolhe levedura viável e não viável na base do fermentador após a fermentação. Este ponto pode ser minimizado com purgas de levedura durante o processo [4].

Na SCC a fermentação é efetuada em dois tipos de fermentador: nos *Asahi Tanks* (OT) e nos Cilindro-Cónicos (CC). Na Tabela 2.4 são apresentadas algumas características dos dois tipos de fermentador. O esquema de um fermentador CC é apresentado na Figura 2.7.

Tabela 2.4 Principais características dos fermentadores Cilindro-Cônico (CC) e *Asahi-Tank* (OT).

	CC	OT
Estrutura geométrica	Cilindro-Cônica	Cilíndrica
Volume útil (hL)	3 600	3 600
Altura (m)	18	11
Fermentadores na SCC (n°)	14	20
Recolha de levedura	Automática	Manual
	Antes da recolha de cerveja	Após a recolha de cerveja
	Cerveja com menor tempo de contacto com levedura	Cerveja com maior tempo de contacto com levedura

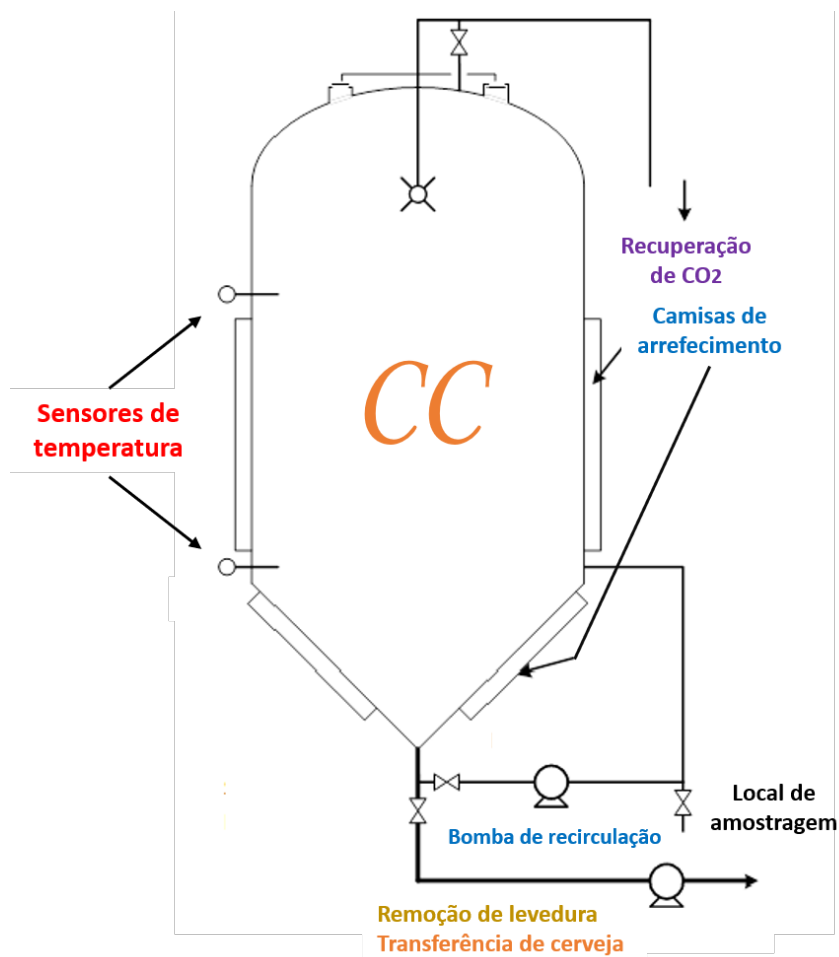


Figura 2.7 Esquema de um fermentador de estrutura Cilindro-Cônica (CC) (figura adaptada) [4].

Para cada receita de cerveja a fabricar, existe um perfil de temperaturas de fermentação específico a seguir. Na Figura 2.8 é apresentado o perfil de fermentação da cerveja Sagres Branca.



Figura 2.8 Perfil característico de fermentação para a produção de cerveja Sagres Branca.

Clarificação de cerveja

Após a redução drástica de temperatura no fermentador, a cerveja necessita de ser sujeita a três etapas antes de ser transferida para os tanques de guarda para maturação: a clarificação, de modo a remover o excesso de levedura; o arrefecimento (4°C para -1°C), de forma a remover o calor gerado na etapa de clarificação e de modo a aproximar a temperatura da cerveja à temperatura dos tanques de guarda; e a aditivação, para ajustar os aromas e sabores característicos da cerveja.

A clarificação da cerveja é uma etapa muito importante pois na sua ausência a maturação seria realizada com maior quantidade de levedura, o que aumenta a possibilidade de degradação da cerveja, afetando sabores e aromas característicos, devido ao número de células de levedura mortas e fragilizadas. A filtração final de cerveja também seria afetada, exigindo maiores quantidades de *kieselguhr* (terra de diatomáceas utilizada como agente filtrante), o que poderia afetar a eficiência e custos de separação, e a turvação do produto final. Portanto, atualmente a clarificação é realizada por centrifugação e pretende remover a maior parte da levedura suspensa (fase sólida) da cerveja verde (fase líquida). Esta operação unitária é esquematizada na Figura 2.9.

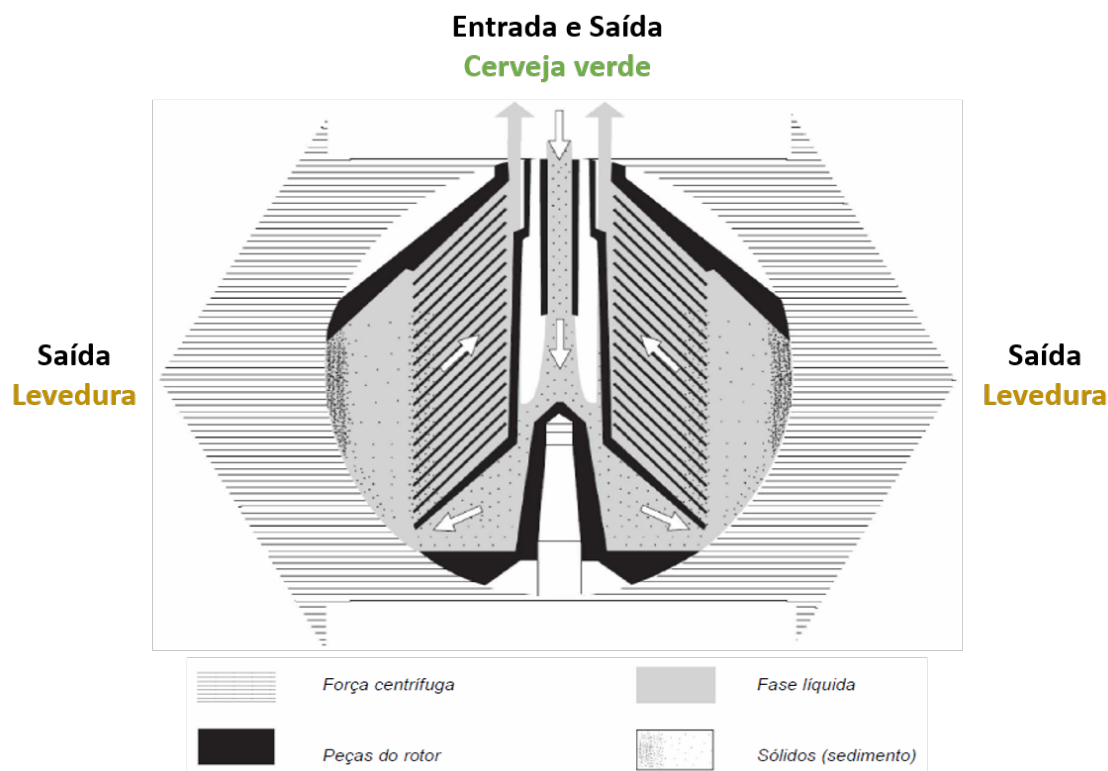


Figura 2.9 Esquema representativo da operação de clarificação de cerveja verde por centrifugação (figura adaptada) [9].

Na SCC são utilizados dois tipos de centrifugadoras, que designar-se-ão pelas respetivas marcas comerciais: *Westfalia* (2 unidades, instaladas em 1972) e *Alfa Laval* (1 unidade, instalada em 2006). A centrifugadora *Alfa Laval* é a centrifugadora mais utilizada durante o ano (em 2018, centrifugou aproximadamente 85% da cerveja fabricada [6]), enquanto que as centrifugadoras *Westfalia* apenas são utilizadas em momentos de paragem da *Alfa Laval* causados por avarias ou limpezas do equipamento. As duas centrifugadoras utilizadas encontram-se na Figura 2.10.



(a) Centrifugadora *Alfa Laval* (2006)



(b) Centrifugadora *Westfalia* (1972)

Figura 2.10 Centrifugadoras utilizadas na SCC para clarificação de cerveja.

Maturação de cerveja

Os mecanismos químicos e bioquímicos envolvidos nas alterações de sabor que ocorrem durante a maturação são complexos. A maturação de cervejas do tipo *Lager* é realizada a baixa temperatura, depende significativamente da duração do período de *lagering* (maturação), da quantidade de levedura em suspensão e da quantidade de açúcar fermentável na cerveja em maturação [4]. Esta secção tem como objetivos:

- Apurar sabores característicos da cerveja;
- Precipitar levedura em suspensão;
- Remover algumas biomoléculas, provenientes das matérias primas, que formam complexos que causam turvação na cerveja;
- Reduzir a concentração de oxigénio e aumentar a concentração de dióxido de carbono por ação da levedura presente;
- Armazenar *stock* em alturas de elevada procura;
- Misturar a cerveja e garantir um sabor uniforme [4].

Na SCC a maturação é efetuada em Salas de Guarda tal como a apresentada na Figura 2.11. A cerveja proveniente de cada fermentador (3 600 hL) permite perfazer quatro tanques de guarda (dois superiores e dois inferiores, tendo cada tanque 800 hL) e metade de um tanque seguinte, permanecendo em maturação, a 3°C, aproximadamente 2 semanas [6].



Figura 2.11 Sala de Guarda onde é realizada a maturação de cerveja. Na SCC existem 2 Salas de Guarda em funcionamento para maturação de cerveja Sagres Branca. Cada Sala tem 48 tanques, estando cada 2 tanques ligados internamente perfazendo estes uma capacidade de 1 600 hL.

Recuperação de cerveja

Durante a fermentação são produzidas elevadas quantidades de levedura. Apesar de indesejáveis no processo principal de fabricação de cerveja, podem e devem ser valorizadas economicamente. Na SCC, existem três possibilidades na gestão deste tipo de levedura (Figura 2.12).

1. A primeira abordagem é o tratamento da levedura em meio ácido em tanques específicos e posterior reinoculação nos fermentadores. Esta abordagem só é possível desde que a levedura se encontre dentro dos parâmetros adequados de viabilidade, consistência, geração e contaminação microbiológica.
2. Se a reinoculação não for possível, a levedura é transferida para um filtro prensa que permite a separação da levedura seca da cerveja residual (recuperada). A cerveja recuperada é reintroduzida no processo principal por adição controlada (constante e a baixo caudal) ao mosto previamente fabricado. A levedura seca é vendida como sub-produto para alimentação animal.
3. Em última hipótese, se não for possível a operação do filtro prensa pela quantidade reduzida de levedura a separar, esta é purgada diretamente para esgoto, constituindo uma perda.

Pelo diagrama da Figura 2.12 podem analisar-se os vários momentos de recolha de levedura, bem como o seu destino. São abordados de seguida tendo como exemplo a cerveja proveniente de um fermentador CC (Figura 2.8).

1. A primeira recolha de levedura é realizada um ou dois dias após o início do *Ruh*. São retiradas cerca de 11,5 toneladas de levedura por fermentador. Dependendo dos parâmetros revelados anteriormente decide-se pela recolha para os tanques de tratamento de levedura ou para o filtro prensa. Este passo também é realizado nos fermentadores OT, mas apenas após a transferência de cerveja para maturação devido à estrutura cilíndrica da base do fermentador que apenas permite retirar a levedura após a saída de cerveja. Estima-se que as quantidades de levedura recolhidas nos fermentadores OT sejam idênticas às recolhidas nos fermentadores CC.
2. No segundo momento de recolha, são transferidas cerca de 1,7 toneladas de levedura por fermentador para o filtro prensa entre o fim do "golpe de frio" e o mais próximo possível do início da transferência de cerveja para maturação. Um elevado tempo de espera antes da transferência causa a decantação de levedura que posteriormente é purgada para o esgoto causando desperdício de matéria com valor económico (terceiro momento de recolha de levedura).
3. Consoante o tempo de espera desde o segundo e o terceiro momento de recolha de levedura, podem ser necessárias purgas adicionais diretamente para o esgoto. Em 2018, cerca de 3% das CC sofreram uma purga adicional (1,1 ton/fermentador), 1% sofreram duas purgas adicionais (0,7 ton/fermentador) e 0,3% sofreram três purgas adicionais (0,4 ton/fermentador) [6].



Figura 2.12 Momentos de recolha e destino da levedura produzida em excesso na secção de Fermentação e Maturação de cerveja (figura adaptada) [6].

2.2 Sociedade Central de Cervejas

A Sociedade Central de Cervejas pertence ao Grupo Heineken, que é atualmente o segundo maior grupo cervejeiro mundial.

A Heineken surgiu em Amesterdão, na Holanda, em 1864, fundada por Gerard Heineken. Durante 155 anos, três gerações da família Heineken construíram e expandiram a marca pela Europa e pelo mundo [10]. Atualmente, o Grupo Heineken é detentor de mais de 300 marcas e conta com cerca de 85 mil colaboradores em mais de 70 países a operar 170 cervejeiras, malterias, fábricas de produção de sidra, entre outras instalações de produção. Em 2018, o Grupo Heineken produziu 233,8 milhões de hectolitros de cerveja consolidada, tendo gerado lucros operacionais de 3 868 milhões de euros [11].

A Sociedade Central de Cervejas (SCC) foi constituída em 1934 com o objetivo de comercializar as cervejas produzidas pelas antigas Companhia Produtora de Malte e Cerveja Portugália, Companhia de Cervejas Estrela, Companhia de Cervejas Coimbra e Companhia da Fábrica de Cerveja Jansen. Em 1977 a Sociedade Central de Cervejas, S.A.R.L. fundiu-se com a Cergal - Cervejas de Portugal, S.A.R.L., o que resultou na constituição da Centralcer - Central de Cervejas, E.P., e posteriormente em Centralcer - Central de Cervejas, S.A. Em 1990 o Grupo Centralcer foi totalmente privatizado. Em 2000 é vendido à VTR-SGPS, S.A., um grupo de investidores portugueses, tendo no mesmo ano cedido 49% do Grupo ao Grupo cervejeiro internacional Scottish & Newcastle. Em 2001 a Centralcer - Central de Cervejas, S.A. foi incorporada na Centralcontrol S.G.P.S., S.A. A empresa resultante alterou a sua denominação para SCC - Sociedade Central de Cervejas, S.A. bem como a sua sede para as atuais instalações fabris em Vialonga, no concelho de Vila Franca de Xira. Em 2003 a Scottish & Newcastle adquiriu na sua totalidade a Sociedade Central de Cervejas e a Sociedade Água de Luso. Como tal, a partir de 2004, a empresa passou a designar-se SCC - Sociedade Central de Cervejas e Bebidas, S.A. pois para além de cerveja a empresa passou a produzir e comercializar bebidas como água e refrigerantes. Em 2007 foi estabelecido um consórcio entre a Carlsberg e a Heineken, que mais tarde concretizou a compra do Grupo Scottish & Newcastle. Após a conclusão do processo de compra o consórcio desfez-se e a Heineken assumiu, em 2008, a gestão total da SCC - Sociedade Central de Cervejas e Bebidas, S.A. A Figura 2.13 representa a evolução histórica do logótipo da SCC desde a sua constituição [12].



Figura 2.13 Principais fases da evolução histórica do logótipo da Sociedade Central de Cervejas e Bebidas, S.A. [1].

Atualmente, a SCC tem como missão "ser um negócio de marcas e de pessoas para pessoas"; pretende "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"(Sagres, Bohemia, Imperial, Strongbow, Bandida do Pomar, Luso, Cruzeiro, Castello, entre outras); e "desenvolver as pessoas envolvidas numa cultura de segurança". É através da missão e dos valores corporativos, como o "orgulho nas suas marcas e produtos, a centralização no consumidor, o trabalho em equipa, a gestão eficiente e a liderança tendo em consideração a segurança, a sustentabilidade e a economia", que a SCC pretende alcançar a sua visão: "Juntos, fazemos as marcas que as pessoas preferem e adoram beber"[12].

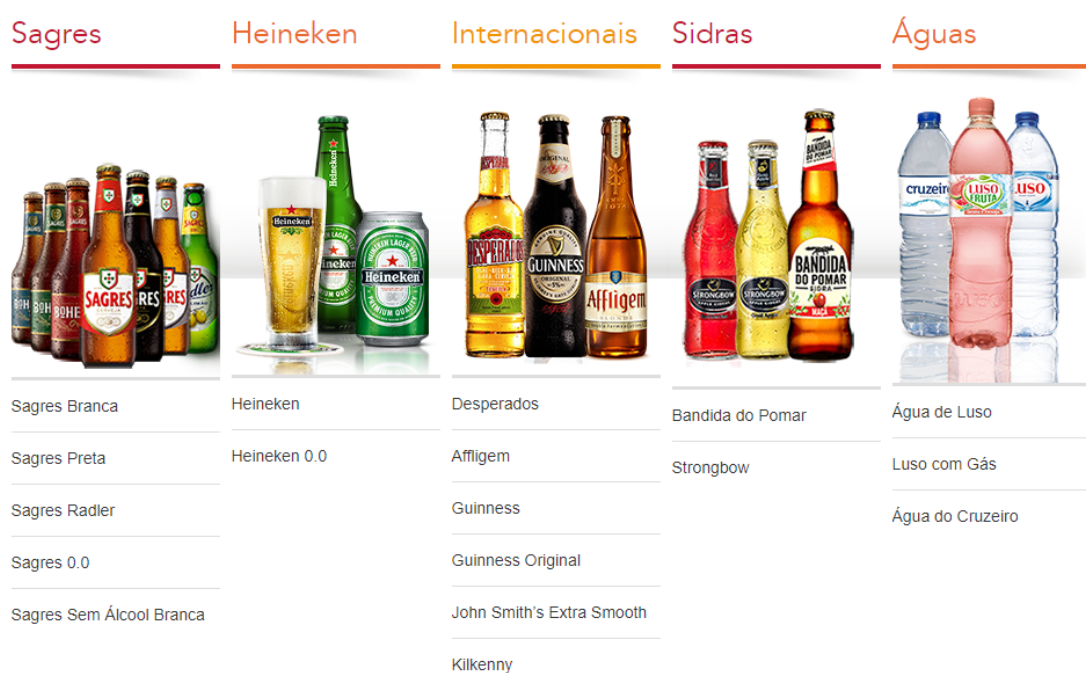


Figura 2.14 Marcas nacionais e internacionais de cervejas e bebidas comercializadas atualmente pela Sociedade Central de Cervejas e Bebidas, S.A [12].

2.2.1 Total Productive Management

Para o Grupo Heineken é de extrema importância a melhoria contínua dos processos e da forma como se trabalha. Isto é conseguido criando um ambiente de trabalho seguro, para garantir a qualidade dos produtos e minimizar os custos associados. Desta forma, a empresa continua a ser atrativa aos consumidores, o que permite aumentar a sua competitividade e sustentabilidade. Desde 2005, o *Total Productive Management* (TPM) tem sido o *modus operandi* do Grupo Heineken, que objetiva a melhoria contínua da *performance* da sua *Supply Chain*.

O TPM originou-se no Japão, em 1950, onde foi utilizado na indústria automóvel depois da Segunda Guerra Mundial de modo a gerir eficientemente os recursos então limitados. A ideia base consistiu em trabalhar de acordo com padrões previamente definidos e organizar o trabalho mais proativamente, levando à prevenção de perdas e perturbações [13].

No ano de implementação na Heineken mais de 160 fábricas aderiram ao TPM. Em 2009, o programa TPM foi expandido de modo a incluir os serviços ao cliente e a logística, o que permitiu incluir fornecedores e clientes no programa TPM. Em 2018, foi criada a maior otimização e orientação para o negócio, o programa TPM Next. Uma excelente forma de entender a estrutura do TPM Next é através da Figura 2.15 [14].

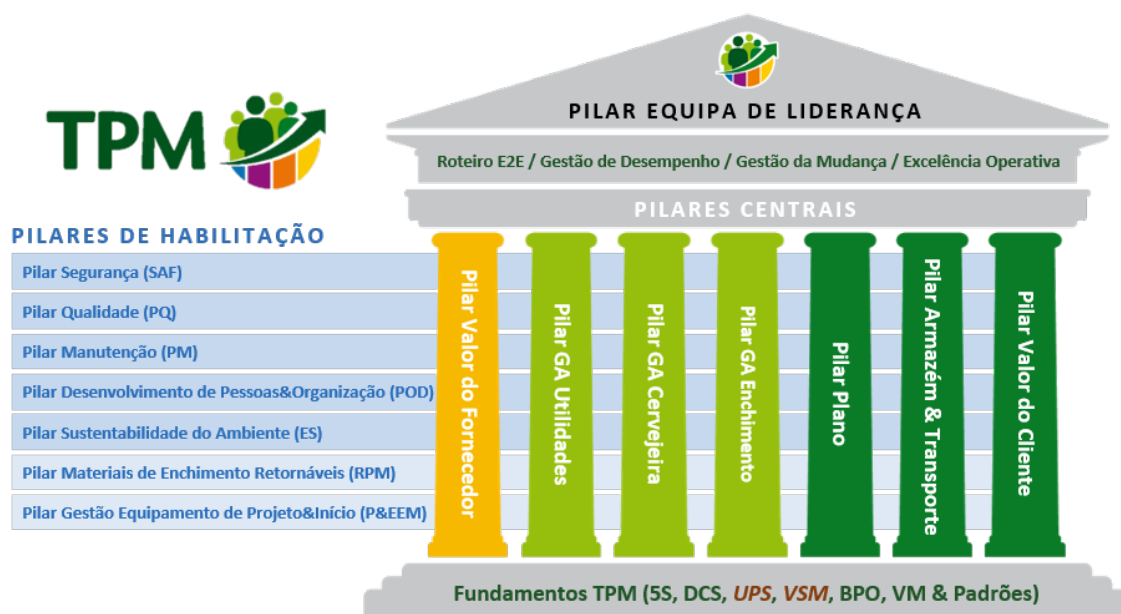


Figura 2.15 Estrutura do programa TPM Next (figura adaptada) [15].

A estrutura do programa TPM Next pode ser comparada a uma casa com pilares constituída da seguinte forma:

- **Pilar Equipa de Liderança (telhado):** Responsável por fornecer o contexto e a direção, impulsionar o desempenho e dar suporte à gestão de mudanças em todo o programa, com foco na excelência.
- **Pilares Nucleares (colunas):** Focados na excelente execução de padrões, executando os princípios básicos.
- **Pilares de Habilitação (linhas):** Participam na visão externa capaz de ser responsável pelo desenvolvimento e manutenção de padrões, inteligência da perda, gestão de equipas e formação.
- **Fundamentos do TPM Next (base):** O conjunto de ferramentas utilizadas no programa TPM Next que suportam os seus pilares. Tem-se como exemplo as metodologias *Value Stream Mapping* (VSM) e *Unified Problem Solving* (UPS) [15].

Value Stream Mapping

O *Value Stream Mapping* (VSM) é uma metodologia que tem como objetivo eliminar atividades e desperdícios que não têm valor para a empresa. Define-se uma área de estudo, que pode ser um equipamento, uma secção do processo, a totalidade do processo, a totalidade da fábrica ou mesmo toda a cadeia de valor. Os fluxos de matéria e de informação que convertem os recursos provenientes do fornecedor em produtos ou serviços para o cliente, são analisados e mapeados, designando-se por *Value Stream Map* o mapa resultante da aplicação desta metodologia (Figura 2.16) [16, 17].

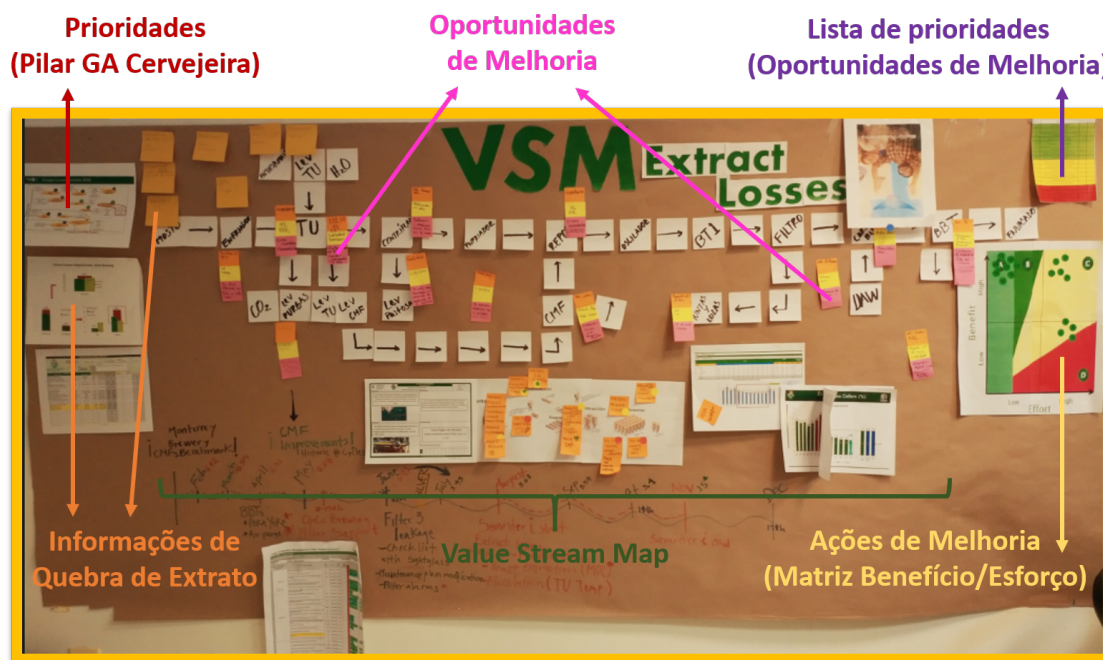


Figura 2.16 *Value Stream Map* para redução da Quebra de extrato ————— (figura adaptada) [6].

Após o mapeamento, as oportunidades de melhoria são identificadas, priorizadas e convertidas em ações de melhoria que permitam colmatar as perdas ou desperdícios identificados. As ações de melhoria são introduzidas numa matriz benefício/esforço que permite priorizar as ações para a fase de implementação.

Unified Problem Solving

O *Unified Problem Solving* (UPS) é uma metodologia que se foca na resolução de problemas e pode ser utilizada como complemento ao VSM na conversão de oportunidades de melhoria em ações de melhoria. Na referida conversão podem ser utilizadas diversas ferramentas de suporte como as Equipas Kaizen, as Análises *Route Cause Failure Analysis* (RCFA) ou as Rotas de Equipas de Melhoria [18].

A Análise RCFA ou também abordada como "Análise de 5 Porquês" é uma ferramenta de trabalho bastante utilizada na SCC que permite encontrar a causa raiz de um problema de forma rápida e eficaz. Para o efeito, são utilizadas folhas específicas denominadas Folhas de Análise de 5 Porquês (Figura 2.17).

Descrição do problema (Modo de falha)		Causas Potenciais					5M	Plano de Ação			
		1º Porquê	2º Porquê	3º Porquê	4º Porquê	5º Porquê		Ações corretivas	Quem	Data	Ações preventivas
Oportunidade de Melhoria		Descrição e verificação dos 5 Porquês					Identificação de um dos 5M (Máquina, Material, Método, Medição e Mão-de-obra)	Procura de Ações de Melhoria			

Figura 2.17 Folha de Análise de 5 Porquês (figura adaptada) [6].

2.2.2 Objetivos 2019

O programa TPM Next estabelece objetivos a atingir anualmente em cada pilar. Os objetivos anuais do Pilar de Gestão Autónoma da Cervejeira de Vialonga (Pilar GA Cervejeira da Figura 2.15) são definidos a partir da priorização de determinados indicadores com base na sua importância estratégica para a empresa e na diferença entre os valores obtidos no ano anterior e os valores objetivo para o ano seguinte. O indicador de maior prioridade para a SCC é a Frequência de Acidentes de Trabalho, que se pretende que seja nula devido à preocupação da empresa com a saúde humana. Logo após a frequência de acidentes estão presentes quatro indicadores de primeira prioridade (Prioridade 1 na Figura 2.18), onde se inclui o indicador *Quebra de Extrato* (QE), o que demonstra a relevância elevada deste trabalho para a empresa [19].

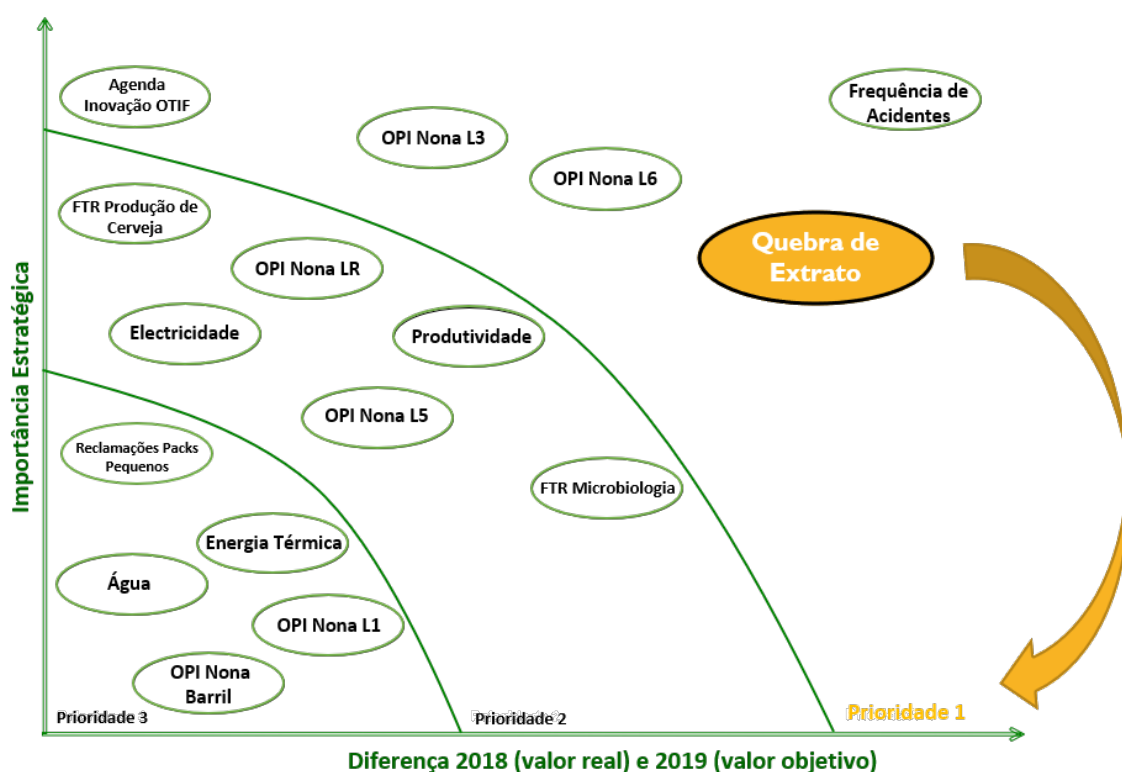


Figura 2.18 Priorização dos indicadores da cervejeira de Vialonga em 2019 (figura adaptada) [19].

2.2.3 Quebra de extrato

O termo extrato é um termo cervejeiro que corresponde à quantidade de matéria solúvel equivalente à quantidade de açúcares solúveis em água com gravidade específica idêntica, a 20°C. Pelo extrato consegue-se quantificar a densidade do mosto e ter uma noção do potencial da cerveja. À quantidade total de extrato presente no mosto é denominado extrato primitivo ou extrato original. Ao extrato residual presente na cerveja após a fermentação é designado extrato real (medido em graus *Plato*), composto apenas por açúcares solúveis, ou extrato aparente (medido em graus *Balling*), composto por toda a matéria solúvel.

A *Quebra de Extrato* traduz-se no extrato perdido em determinado processo ou sistema. Na Figura 2.19 apresenta-se simbolicamente a quebra de extrato na área de estudo, Fermentação e Maturação de cerveja, incluída no processo global de fabricação de cerveja. A quebra de extrato pode ser calculada pela Equação 2.1 [3, 20].

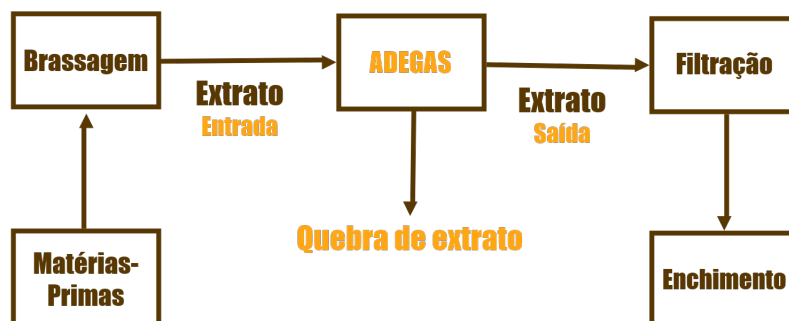


Figura 2.19 Quebra de extrato na área de estudo (Fermentação e Maturação de cerveja).

$$Quebra\ de\ extrato = \frac{Extrato\ Entrada - Extrato\ Saída}{Extrato\ Saída} \quad (2.1)$$

Limite técnico, limite tecnológico e quebra de extrato evitável

O nível mínimo de quebra de extrato possível de obter utilizando o equipamento e processos existentes, tendo estes sido otimizados para a quebra de extrato, é denominado *limite técnico*. Quando para além do equipamento e processos se utilizam normas e receitas básicas, o nível mínimo de quebra de extrato designa-se *limite tecnológico*, correspondendo à quebra de extrato inevitável. A diferença entre a quebra de extrato atual e o limite tecnológico de determinado processo, constitui a *Quebra de extrato evitável*. O descrito encontra-se na Figura 2.20 [20].

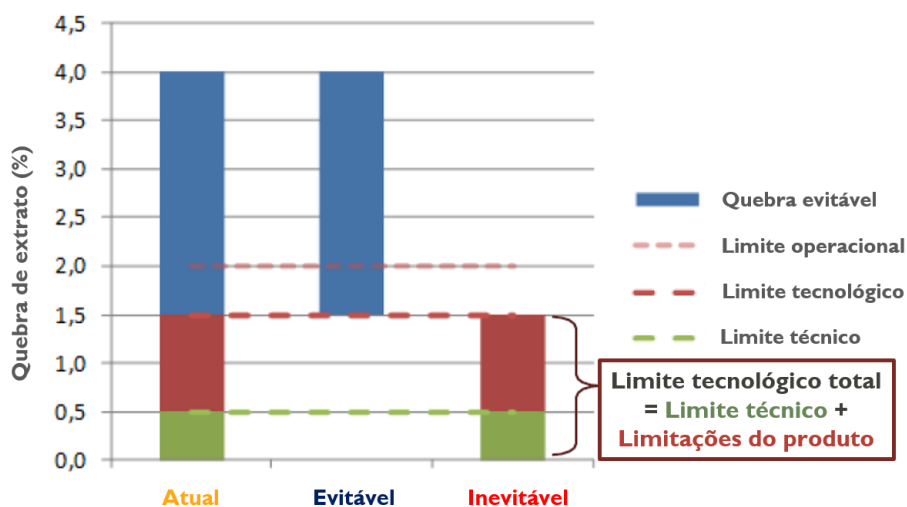


Figura 2.20 Limite técnico, limite tecnológico (quebra de extrato inevitável) e quebra de extrato evitável [20].

Desde 2013, a quebra de extrato do processo de fabricação de cerveja da SCC tem oscilado, atingindo um valor máximo de — em 2015 e 2016 e tendo permanecido alguns anos acima do valor objetivo. Em 2018 a quebra de extrato real foi de — , ainda longe do valor objetivo de — . Pretende-se que nos próximos anos a tendência seja decrescente. A evolução da quebra de extrato nos últimos anos representa-se na Figura 2.21 [21].



Figura 2.21 Evolução anual da quebra de extrato e objetivos para os próximos anos [21].

Estima-se que — de quebra de extrato no processo de fabricação de cerveja da SCC corresponde a uma perda de aproximadamente — para a empresa, o que se traduz, em 2018, numa perda de — [6].

Para a redução da quebra de extrato a empresa investe não apenas em iniciativas próprias, mas também em trabalhos externos à empresa como o caso da presente tese de mestrado, que visa a identificação e quantificação de pontos de quebra de extrato e a procura de ações de melhoria que permitam minimizar este indicador.



Materiais e Métodos




As metodologias utilizadas neste trabalho dividem-se em *metodologias táticas* e *metodologias operacionais*. As metodologias táticas servem para o planeamento do trabalho a longo prazo, devendo ser utilizadas de forma periódica em equipa (semanalmente) e com base em alguns dos fundamentos do TPM Next. As metodologias operacionais são utilizadas com foco nos estudos desenvolvidos, sendo necessário criar planos de amostragem e sequências de cálculo específicas.

3.1 Metodologias Táticas

3.1.1 Desenvolvimento semanal do trabalho

Durante a semana o trabalho desenvolve-se diariamente, de segunda a sexta-feira, em fábrica e em *open space*. Cerca de 70% do trabalho é realizado em fábrica, junto do processo e em parceria com os operadores, o que permite o contacto direto com equipamentos e com produtos do processo, a recolha de dados do *software* de controlo Brewmaxx (BMX) e a discussão direta de assuntos relevantes com os operadores. Os restantes 30% do trabalho são realizados em *open space*, na revisão do trabalho desenvolvido e no planeamento e estabelecimento de objetivos a atingir posteriormente. É também necessário reunir semanalmente com equipas de trabalho específicas consoante o tema de trabalho a desenvolver. Na SCC foram realizadas duas reuniões por semana: a primeira com foco em todos os assuntos referentes à quebra de extrato e a segunda assente na aplicação das metodologias que suportaram o trabalho experimental (Fundamentos do TPM Next). Foi ainda realizada uma reunião por semana no ISEL que teve como objetivo o acompanhamento do trabalho efetuado na SCC. Mais informações acerca das reuniões semanais estão presentes na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 Reuniões semanais efetuadas na SCC e no ISEL.

Tema	Dia	Duração	Local	Pessoal		Agenda
				Nome	Função	
Quebra de extrato	Terça-feira	1 hora		Pedro Vicente João Mendes Dulce Silva Francisco Santos João Gonçalves	<i>Gestor de Projetos de I&D</i> <i>Gestor de Produção de Malte&Cerveja</i> <i>Gestora de Qualidade</i> <i>Estagiário</i> <i>Estagiário</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Apresentação e discussão do trabalho desenvolvido na semana anterior. 2. Planeamento dos objetivos para a semana seguinte.
Fundamentos do TPM Next	Quinta-feira	2 horas		João Mendes Catarina Rocha Francisco Santos João Gonçalves	<i>Gestor de Produção de Malte&Cerveja</i> <i>Gestora de TPM</i> <i>Estagiário</i> <i>Estagiário</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Apresentação e discussão do trabalho desenvolvido na semana anterior. 2. Desenvolvimento das metodologias VSM e UPS.
Orientação académica	Sexta-feira	1,5 horas		Teodoro Trindade Francisco Santos	<i>Professor</i> <i>Aluno</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Apresentação e discussão do trabalho desenvolvido. 2. Orientação na estruturação do trabalho.

3.1.2 Fundamentos do TPM Next

As várias etapas dos Fundamentos do TPM Next utilizados neste trabalho (VSM e UPS) foram adaptadas de acordo com os objetivos do trabalho.

Value Stream Mapping

A metodologia *Value Stream Mapping* (VSM) é aplicada em 3 etapas (Figura 3.1).



Figura 3.1 Etapas de aplicação da metodologia *Value Stream Mapping* [16].

1. **Seleção do Processo:** O processo em análise (Fermentação e Maturação de cerveja) é identificado previamente pelos colaboradores da SCC como uma área de elevado interesse na redução da quebra de extrato, devido aos resultados obtidos em anos anteriores.
2. **Compreensão do Estado Atual:** Recolhe-se toda a informação relevante do processo, através de referências bibliográficas e cibergráficas, do *know-how* dos colaboradores da SCC, e ainda diretamente do processo de fabricação. Segue-se fisicamente o percurso da cerveja no sentido inverso ao do processo principal de fabricação, ou seja, desde o *cliente* (Filtração), que recebe o produto final, até ao *fornecedor* (Brasagem), que envia o produto a transformar (rever Figura 2.19). Tem-se ainda em consideração os fluxos de informação importantes na análise e controlo da quebra de extrato na área de estudo. Finalmente, constrói-se um mapa de processo (*Value Stream Map*).
3. **Identificação das Oportunidades de Melhoria:** À medida que o processo de fabricação de cerveja é analisado fisicamente em fábrica, são identificados e anotados os eventuais desperdícios de mosto e/ou cerveja, que se designam por Pontos de Quebra de Extrato (PQE).

Unified Problem Solving

A metodologia *Unified Problem Solving* (UPS) é aplicada em 6 etapas (Figura 3.2).

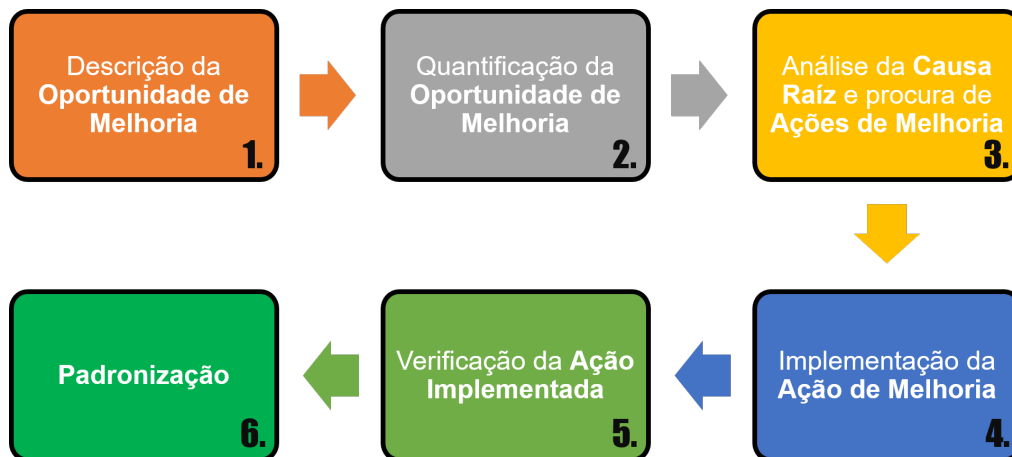


Figura 3.2 Etapas de aplicação da metodologia *Unified Problem Solving* [18].

- 1. Descrição da Oportunidade de Melhoria:** Cada PQE identificado por VSM é uma Oportunidade de Melhoria (OM). A informação relevante em cada OM é recolhida e tratada, nomeadamente a localização processual onde ocorre a quebra de extrato e o respetivo modo de falha.
- 2. Quantificação da Oportunidade de Melhoria:** Cada OM é quantificada em termos de quantidade de extrato perdido por ano [ton/ano] e respetivo custo [€/ano], assim como em termos de impacto percentual da referida perda na quebra de extrato global da empresa.
- 3. Análise da Causa Raíz e procura de Ações de Melhoria:** De acordo com a quantificação dos PQE, priorizam-se as OM e efetuam-se Análises de 5 Porquês (Figura 2.17) aos PQE mais relevantes. Analisam-se as Causas Raíz dos PQE e procuram-se Ações de Melhoria (AM) que as reduzam ou eliminem.
- 4. Implementação da Ação de Melhoria:** Com base num balanço benefício-esforço de implementação das AM, são sugeridas as Ações de Melhoria a Implementar (AMI). A implementação das AMI depende da decisão da estrutura dirigente e estratégia empresarial da SCC, bem como dos planos a médio e a longo prazo já estabelecidos pela empresa.
- 5. Verificação da Ação Implementada:** De forma a fechar o ciclo de melhoria contínua, após a implementação de cada AMI deve verificar-se o grau de sucesso da implementação em termos de estabilidade do processo após a alteração, impacto na qualidade dos produtos e contaminação microbiológica.
- 6. Padronização:** Após o sucesso na implementação, cada AMI é padronizada de modo a ser aplicada também em outras receitas e/ou procedimentos.

3.2 Metodologias Operacionais

3.2.1 Quebra de extrato e custo associado

Sabe-se que a totalidade da cerveja produzida em 2018 corresponde a — de extrato vendido. Sabe-se ainda que cada tonelada de extrato perdido tem um custo de — [6]. Portanto, para se quantificar o custo associado a cada PQE é necessário quantificar primeiramente a massa de extrato perdido em cada PQE, em ton/ano. Procede-se da seguinte forma:

1. Obtêm-se os valores de extrato em °P (E_o) e de volume em L (V_L) da mistura perdida (mosto, cerveja, levedura ou água). Os valores de E_o são recolhidos diretamente no BMX ou obtidos por amostragem direta no processo e consequente análise laboratorial no *Alcolyzer*.
2. A partir dos valores de E_o e de V_L obtêm-se a massa de extrato perdido em kg (E_{kg}), segundo a Equação 3.1. Os valores de E_{kg} são normalmente apresentados por fabrico de mosto ou por fermentador.

$$E_{kg} = \frac{E_o}{100} \times V_L \times [1 + (0,004 \times E_o)] \quad (3.1)$$

O termo $[1 + (0,004 \times E_o)]$ representa a densidade específica (SG) da mistura, expressa em kg/L.

3. Conhecendo os valores de E_{kg} e a periodicidade da perda ao longo do ano, calcula-se a quantidade anual de extrato perdido, em ton/ano.
4. Conhecendo a quantidade de extrato perdido anualmente e sabendo o custo de cada tonelada de extrato perdido — , obtêm-se o custo anual, em €/ano.
5. O impacto de cada PQE na quebra de extrato global do processo, em percentagem, é calculado com base na massa de extrato perdida e na massa de extrato produzida anualmente (— à saída do enchimento, em 2018 [6]). Para o efeito, utiliza-se a Equação 3.2.

$$QE\% = \frac{E_{\text{anual perdido no PQE}}}{E_{\text{saída do enchimento em 2018}}} \times 100 \quad (3.2)$$

3.2.2 Planos de Amostragem

Na quantificação de cada PQE é necessário recolher amostras e/ou informação em zonas específicas do processo. Portanto, é necessário criarem-se planos de amostragem específicos para cada PQE analisado. Têm-se como exemplo os planos de amostragem dos PQE identificados nas secções de Arrefecimento de mosto, Clarificação de cerveja e Recuperação de cerveja [22].

Arrefecimento de mosto

Na secção de Arrefecimento de mosto pretende-se quantificar o extrato perdido pela purga de água efetuada entre o arrefecimento de fabricos de mosto consecutivos. Seguidamente descreve-se o plano de amostragem realizado [22]:

1. **Objetivo:** Avaliar a quebra de extrato causada pela purga de água efetuada entre o arrefecimento de fabricos de mosto consecutivos.
2. **Analitos:** Pretendem-se quantificar os teores em açúcares solubilizados na amostra com densidade específica idêntica, a 20°C, a partir da variável extrato (E_o e E_{kg}).
3. **Método de análise:** Integração das áreas das curvas de variação de E_o durante o tempo de purga (zonas A e B da curva verde da Figura 3.3), obtidas pelo BMX.
4. **Local de amostragem:** A informação é recolhida pelo *software* de controlo de processo - Brewmaxx.
5. **Método de amostragem:** Utilizam-se os gráficos do BMX para se recolher informação da variação de E_o ao longo dos tempos de purga.

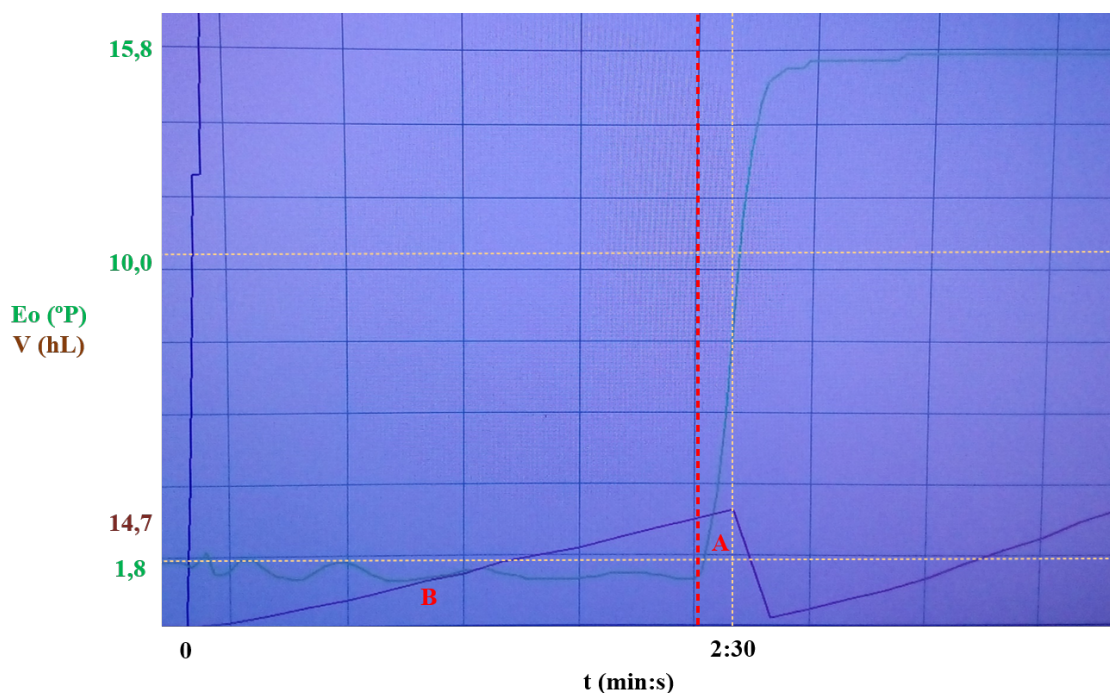


Figura 3.3 Variação de extrato, em °P (verde), e de volume acumulado, em hL (castanho), durante o tempo de purga (A - Zona da curva com reduzido volume purgado e com elevado extrato; B - Zona da curva com elevado volume purgado e com reduzido extrato) (figura adaptada) [23].

6. **Protocolo:** Segue-se um exemplo para se quantificar a quebra de extrato em questão. Neste caso, é analisada a Purga 1 efetuada antes do arrefecimento do fabrico de mosto n°6 de Sagres Branca, na Sala 2, tendo como destino o fermentador CC4. Este estudo foi realizado no dia 20/02/2019.

- (a) Obtêm-se os valores de E_o ao longo do tempo de purga na zona A da curva (baixo volume, mas elevado teor em extrato).
- (b) Cada E_o recolhido pelo BMX é corrigido por subtração de $1,16^\circ\text{P}$ (diferença média entre os valores de E_o do BMX e experimentalmente pelo *Alcolyzer*, como demonstrado no Apêndice A). Os resultados obtidos apresentam-se na Tabela 3.2.
- (c) A equação da curva de tendência obtida com os valores da Tabela 3.2, no intervalo de tempo de purga, encontra-se na Figura 3.4. Integra-se a curva de tendência e obtêm-se a área de integração, que neste caso corresponde a $26,2^\circ\text{P s}$.

Tabela 3.2 Valores corrigidos de E_o ao longo do tempo durante a Purga 1, correspondente ao arrefecimento do fabrico de mosto n°6 no dia 20/02/2019 [23].

t (s)	0	2	4	6	8
E_o (°P)	0,536	1,299	3,365	5,877	8,504

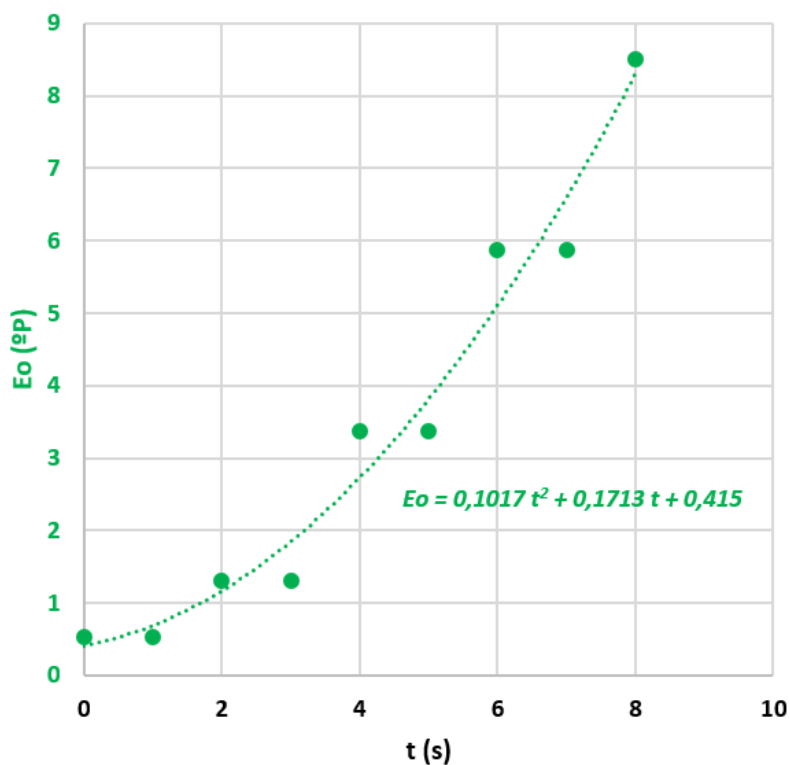


Figura 3.4 Valores de E_o ao longo do tempo de purga e respetiva curva de tendência com um desvio percentual médio de 18,2% (fabrico n°6) e de 22,7% (6 fabricos) (Apêndice A) [23].

- (d) Divide-se a área de integração pelo intervalo de tempo de integração e obtém-se o E_o perdido na purga em análise. Pelo E_o obtém-se a SG da mistura purgada.
- (e) A partir do caudal e do tempo de purga (valores recolhidos no BMX), calcula-se o volume purgado.
- (f) Seguindo a sequência de cálculo descrita na secção 3.2.1, obtém-se E_{kg} , ou seja, a massa de extrato perdida no fabrico de mosto n°6, em kg (Tabela 3.3).

Procede-se de forma idêntica para os restantes fabricos de mosto (n°1 a n°5) da Sala 2 e para todos os fabricos de mosto (n°1 a n°6) da Sala 1.

Tabela 3.3 Extrato perdido na purga do fabrico de mosto n°6 do dia 20/02/2019. Dados referentes apenas à zona A da curva da Figura 3.3.

Q_{mosto frio} (hL/h)	398
V_{purga} (hL)	0,9
A_{r_{integ}} (°P.s)	26,2
t_{purga} (s)	8
E_o (°P)	3,3
SG (g/mL)	1,013
E_{kg} (kg)	2,93

Clarificação de cerveja

Na secção de Clarificação de cerveja pretende-se quantificar o extrato perdido na purga efetuada imediatamente antes da operação de centrifugação (no início da transferência de cerveja entre o fermentador e os tanques de guarda), e nas descargas de levedura na centrifugadora *Alfa Laval*. Seguidamente descrevem-se os planos de amostragem realizados [22]:

Purga de levedura pré-centrifugação

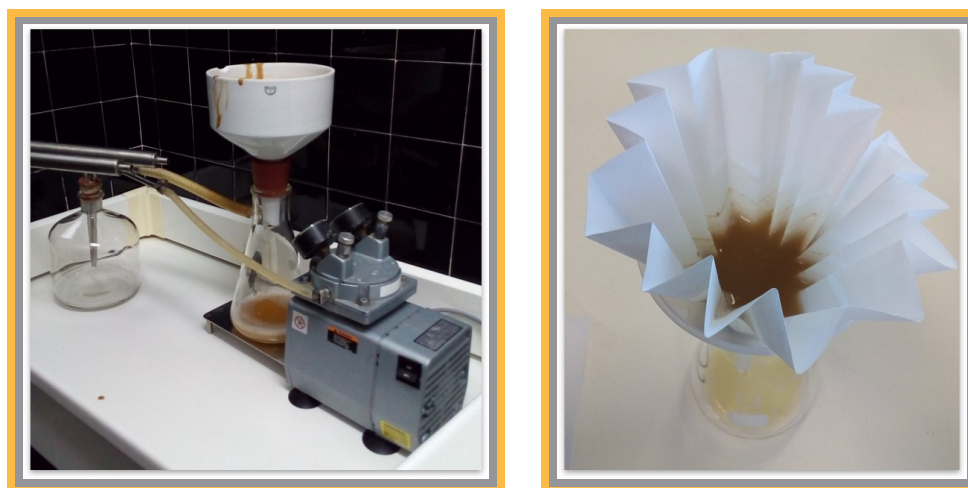
1. **Objetivo:** Avaliar a quebra de extrato causada pela purga pré-centrifugação.
2. **Analitos:** Pretendem-se quantificar os teores em açúcares solubilizados na amostra com densidade específica idêntica, a 20°C, a partir da variável extrato (E_o e E_{kg}).
3. **Método de análise:** Leitura do extrato original de cada amostra de cerveja des-carbonatada e clarificada no *Alcolyzer*.
4. **Local de amostragem:** Recolhem-se as amostras na purga para o esgoto perto do tanque tampão de armazenamento de cerveja para guarda (Figura 3.5).



Figura 3.5 Local onde é efetuada a purga pré-centrifugação pelo operador.

5. **Método de amostragem:** Recolhe-se uma amostra por cada purga efetuada e, consequentemente, por cada 3 600 hL de cerveja transferida do fermentador.
6. **Armazenamento das amostras:** As amostras são armazenadas em câmara frigorífica a 0°C até à sua análise no *Alcolyzer*.
7. **Protocolo:** Segue-se o seguinte protocolo para cada amostra recolhida.
 - (a) Aguarda-se o início da transferência de cerveja do fermentador (no BMX observa-se o início de funcionamento da bomba da tubagem de saída do fermentador).
 - (b) Regista-se em vídeo o visor do turbidímetro próximo do sensor de turvação da centrifugadora *Alfa Laval*, de forma a estimar-se um valor médio de turvação.
 - (c) Regista-se em vídeo o visor do caudalímetro próximo ao permutador de calor antes do tanque tampão, de forma a estimar-se um valor médio de caudal.
 - (d) Estima-se o tempo de purga desde o momento em que a levedura surge no local de observação até ao momento em que o operador manipula as válvulas a partir do painel (Figura 3.5). Este último passo determina o fim da purga e a transferência de cerveja para a centrifugadora.
 - (e) A partir do caudal médio e do tempo de purga determina-se o volume de pasta de levedura (levedura + cerveja) purgada.

- (f) No laboratório, as amostras são tratadas separadamente poucas horas após o armazenamento a 0°C. São descarboxatadas durante 10 min por agitação constante, filtradas sob vácuo e filtradas com *kieselguhr*¹. (Figura 3.6).
- (g) Cada amostra de cerveja é introduzida num *vial* específico para ser analisada no *Alcolyzer* (Figura 3.7). Um exemplo de um *vial* cheio adequadamente apresenta-se na Figura 3.8.
- (h) Depois de obtidos os valores de E_o pelo *Alcolyzer*, segue-se a sequência de cálculo descrita na secção 3.2.1.



(a) Filtração sob vácuo.

(b) Filtração com *kieselguhr*.

Figura 3.6 Filtrações sucessivas de levedura para obter cerveja clarificada.

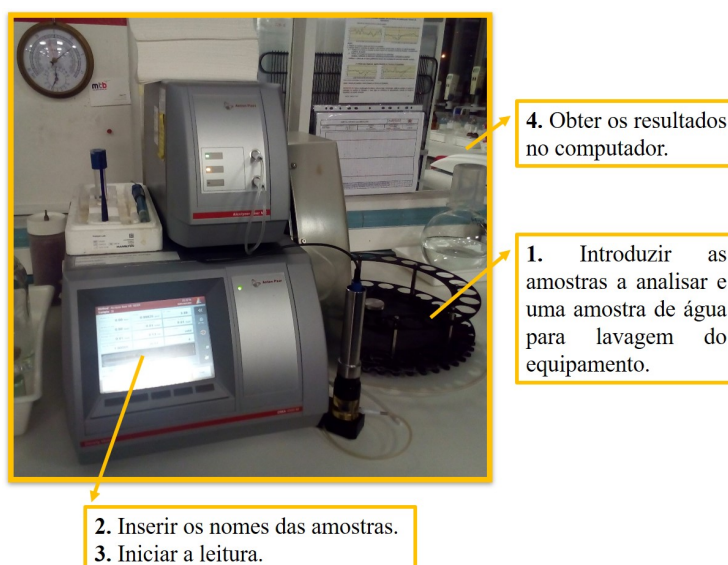


Figura 3.7 *Alcolyzer* e procedimento de leitura do extrato original das amostras de cerveja.

¹As filtrações sob vácuo e com *kieselguhr* são realizadas de modo a separar a cerveja da levedura. O *kieselguhr* é o agente filtrante responsável por remover leveduras e proteínas suspensas na cerveja.



Figura 3.8 Vial com cerveja para análise no *Alcolyzer*.

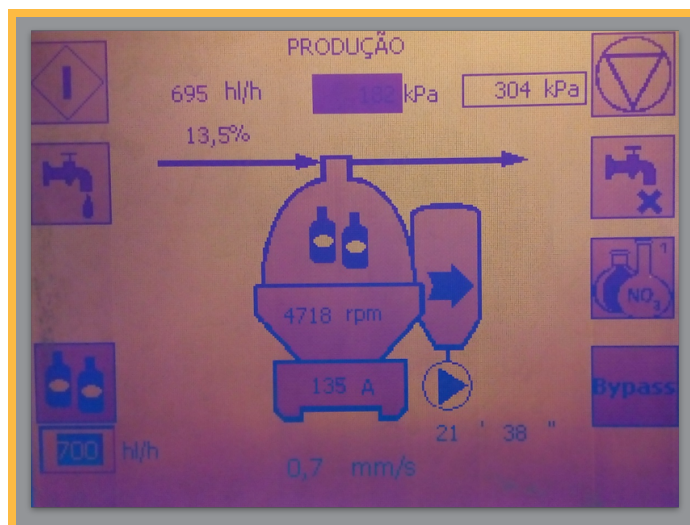
Descargas de levedura pela centrifugadora *Alfa Laval*

1. **Objetivo:** Avaliar a quebra de extrato causada pelas descargas de levedura da centrifugadora *Alfa Laval*.
2. **Analitos:** Pretendem-se quantificar os teores em açúcares solubilizados na amostra com densidade específica idêntica, a 20°C, a partir da variável extrato (E_o e E_{kg}).
3. **Método de análise:** Leitura do extrato original de cada amostra de cerveja descarbonatada e clarificada no *Alcolyzer*.
4. **Local de amostragem:** Recolhem-se as amostras no local de saída do ciclone da centrifugadora *Alfa Laval* (Figura 3.9).

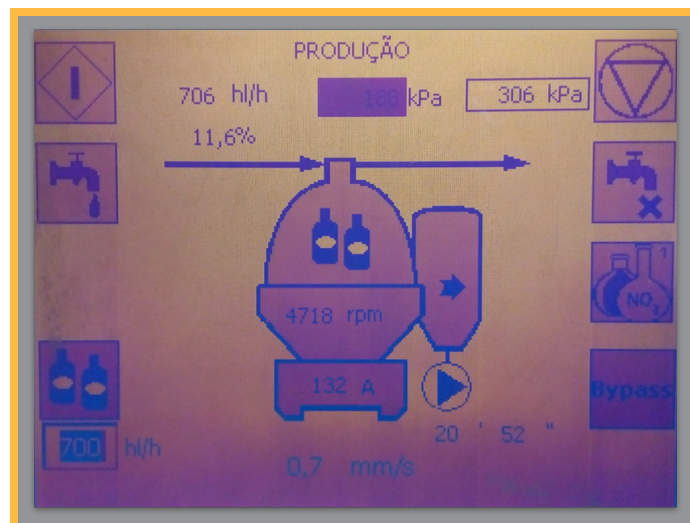


Figura 3.9 Local de amostragem das descargas de levedura na centrifugadora *Alfa Laval*.

5. **Método de amostragem:** Recolhem-se amostras a intervalos de 1 h durante o tempo de centrifugação.
6. **Armazenamento das amostras:** As amostras são armazenadas em câmara frigorífica a 0°C até à sua análise no *Alcolyzer*.
7. **Protocolo:** Segue-se o seguinte protocolo para cada amostra recolhida.
 - (a) Aguarda-se a estabilidade do sistema de produção da centrífugadora *Alfa Laval*.
 - (b) Observa-se o painel da centrífugadora até que indique o momento da descarga de levedura, tal como indicado na Figura 3.10.



(a) Descarga grande.



(b) Descarga pequena.

Figura 3.10 Painel da centrífugadora *Alfa Laval* em dois momentos de descarga de levedura. Indicação do caudal e da turvação da cerveja à entrada da centrífugadora.

- (c) Fotografa-se o painel da centrífugadora de forma a obter os valores de caudal e turvação da cerveja à entrada da centrífugadora, e de pressão e rotação do sistema, no momento da descarga.
- (d) Logo após coloca-se um recipiente (de dimensão e peso adequados à pressão de saída da descarga de levedura) no local de amostragem (Figura 3.9) e recolhe-se a amostra². As amostras são classificadas em amostras grandes (25 L/30 L) e amostras pequenas (13 L/14 L).
- (e) Verifica-se o volume da descarga em recipientes de 12 L e classifica-se como descarga grande ou pequena.
- (f) Finalmente, recolhe-se 1 L da amostra para análise posterior em laboratório.
- (g) No laboratório, segue-se o protocolo de análise de amostras de pasta de levedura (ponto 7 do plano de amostragem "Purga de levedura pré-centrifugação").

Recuperação de cerveja

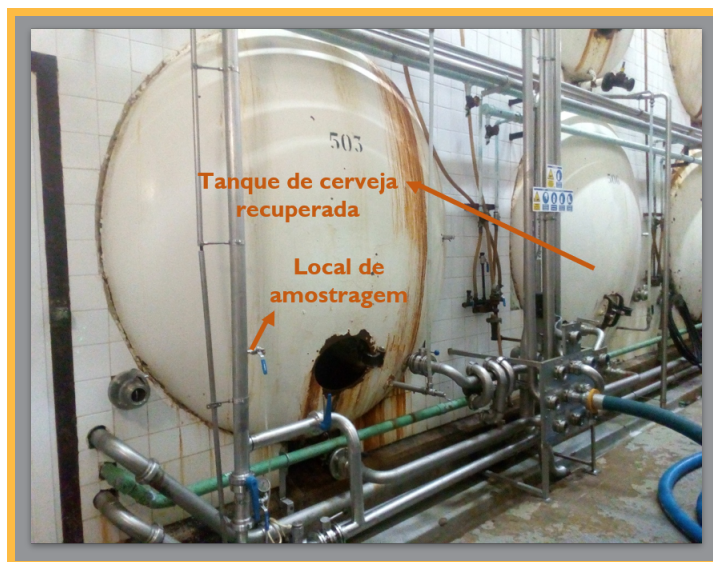
Na secção de Recuperação de cerveja pretende-se quantificar o extrato perdido durante a adição de cerveja recuperada ao mosto quente, à saída do *Whirlpool*. Seguidamente descreve-se o plano de amostragem realizado [22]:

1. **Objetivo:** Avaliar a quebra de extrato causada pela perda de álcool durante a adição de cerveja recuperada ao mosto quente.
2. **Analitos:** Pretende-se quantificar o teor em álcool, em volume de álcool por volume de amostra ($A_{\%v/v}$).
3. **Método de análise:** Leitura do teor em álcool de cada amostra de mosto, de cerveja recuperada e de mosto com cerveja recuperada no *Alcolyzer*.
4. **Local de amostragem:** As amostras de mosto com e sem cerveja recuperada são recolhidas no local de amostragem situado logo após os permutadores de calor de arrefecimento de mosto. As amostras de cerveja recuperada são recolhidas no tanque de cerveja recuperada na Adega 5 (Figura 3.11).

²Para recolher a amostra é necessário retirar os parafusos à saída do ciclone e mover a tubagem para o lado, afastando-a da centrífugadora.



(a) Mosto com e sem cerveja recuperada.



(b) Cerveja recuperada.

Figura 3.11 Locais de amostragem de mosto com e sem cerveja recuperada e de cerveja recuperada.

5. **Método de amostragem:** Efetuam-se dois ensaios à perda de álcool de cerveja recuperada proveniente de cada Filtro (Prensa e *Kieselguhr*). Cada ensaio envolve a recolha de duas amostras de cada tipo: mosto, cerveja recuperada, e mosto com cerveja recuperada.
6. **Procedimento:** Em cada ensaio segue-se o procedimento seguinte.
 - (a) Recolhem-se as amostras de mosto, cerveja recuperada e mosto com cerveja recuperada nos respetivos locais de amostragem.
 - (b) As amostras são analisadas no *Alcolyzer* de forma a obterem-se $A_{\%v/v}$ (volume de álcool por volume de amostra), E_{Or} (extrato original) e E_R (extrato real).

- (c) Diretamente em linha, obtêm-se os caudais e temperaturas praticados nos momentos de amostragem de mosto, de cerveja recuperada e de mosto com cerveja recuperada.
- (d) É calculado o volume de álcool teórico por volume de amostra ($A_{teórico}$), ou seja, $A_{\%v/v}$ previsto pelo balanço mássico representado na Equação 3.3.

$$A_{teórico} = \frac{Q_{cer\ rec} \times A_{cer\ rec}}{Q_{mosto\ com\ cer\ rec}} \quad (3.3)$$

Sendo $Q_{cer\ rec}$ o caudal de cerveja recuperada, $A_{cer\ rec}$ a $\%v/v$ de álcool na amostra de cerveja recuperada, e $Q_{mosto\ com\ cer\ rec}$, o caudal de mosto com cerveja recuperada.

- (e) Comparam-se os valores de $A_{\%v/v}$ e de $A_{teórico}$, e obtêm-se os valores de $\%v/v$ de álcool perdido ($A_{perdido}$).
- (f) Subtraem-se os valores de E_{Or} e E_R das amostras de cerveja recuperada de modo a obter-se o extrato convertido em álcool.
- (g) Consoante os valores de $A_{perdido}$, e dado que são proporcionais à percentagem de extrato perdido, calcula-se o extrato perdido após a mistura.
- (h) Com E_{Or} e o volume de cerveja recuperada durante o ano de 2018, obtêm-se a quantidade de extrato incorporada na totalidade durante o ano, em kg/ano.
- (i) Com a quantidade de extrato perdido e o volume de cerveja recuperada durante o ano de 2018, obtêm-se a quantidade de extrato perdida durante esse ano, em kg/ano. Para os pontos 6h e 6i utiliza-se a sequência de cálculo descrita na secção 3.2.1).
- (j) Efetua-se a média dos valores anteriores nos ensaios realizados e calculam-se os seguintes valores: a quantidade de extrato perdido e recuperado ao longo do ano de 2018, em ton/ano; os custos e benefícios associados, em €/ano; e o impacto da perda na quebra de extrato global do processo, em %.



Resultados e Discussão

4.1 Seleção e Estado Atual do Processo

O *Value Stream Map* da área de Fermentação e Maturação de cerveja da Sociedade Central de Cervejas (SCC), bem como a simbologia utilizada, são apresentados na Figura 4.1.

A simbologia contém alguns ícones pertencentes à metodologia VSM e outros adaptados ao trabalho. O código visual de cores e ícones apresenta-se seguidamente [16]:

1. **Processo:** Etapa em que ocorre transformação físico-química considerável da matéria (mosto, cerveja ou levedura).
2. **Inventário:** Etapa em que não ocorre transformação físico-química considerável da matéria, ocorrendo apenas armazenamento.
3. **Fornecedor/Cliente:** Identifica a origem e destino do fluxo de matéria, limitando a área de aplicação do VSM.
4. **Transporte de Matéria:** Indica a direção e sentido do fluxo de matéria entre processos e/ou inventários.
5. **Fluxo de Informação Manual:** Representa a direção e sentido do fluxo de informação gerado por pessoas.
6. **Fluxo de Informação Informático:** Representa a direção e sentido do fluxo de informação gerado por sistemas informáticos.
7. **Origem/Destino de Informação:** Representa a origem e destino do fluxo de informação manual e/ou informático.
8. **Oportunidade de Melhoria:** Identifica um Ponto de Quebra de Extrato identificado em determinada etapa do processo.
9. **Informação:** Consiste em toda a informação que a equipa de trabalho considere relevante para a redução ou eliminação do desperdício provocado por determinado PQE.
10. **Ponto de controlo de extrato (SCC):** Indica um local onde o extrato é monitorizado pelo laboratório da SCC.



Figura 4.1 Value Stream Map da área de Fermentação e Maturação de cerveja de SCC, e respetiva simbologia.

4.2 Identificação das Oportunidades de Melhoria

Com base no *Value Stream Map* da Figura 4.1 e de modo a clarificá-lo, realizou-se o diagrama apresentado na Figura 4.2.

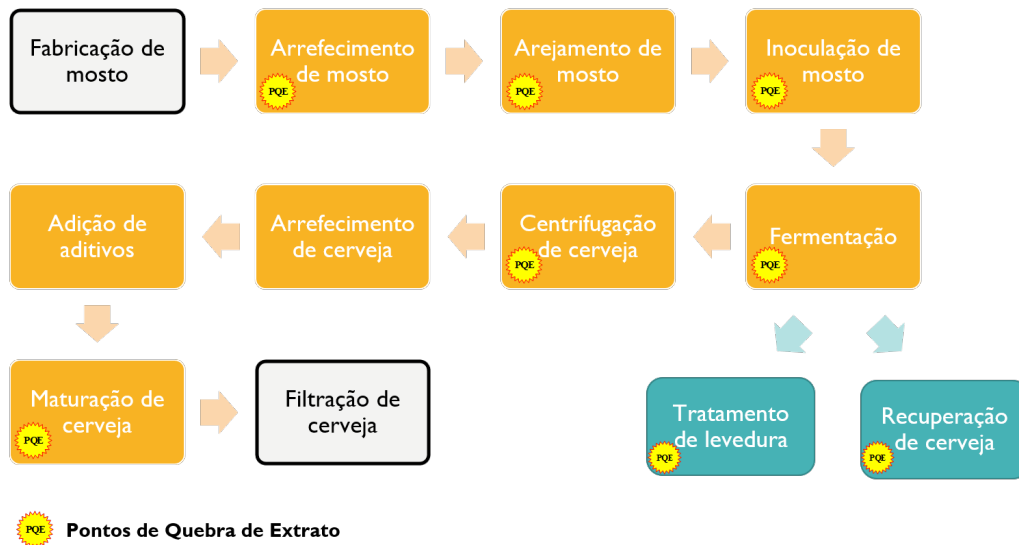


Figura 4.2 *Value Stream Map* da área de Fermentação e Maturação de cerveja da SCC, e secções de processo onde foram identificados um ou mais Pontos de Quebra de Extrato.

A **laranja** estão representadas todas as secções de processo da área de Fermentação e Maturação de cerveja (área de estudo). A **verde** encontram-se duas secções auxiliares, de tratamento de levedura e recuperação de cerveja provenientes da secção de fermentação. A **cinzento** representam-se outras áreas do processo de fabricação de cerveja, que neste estudo contribuem como *forneedor* (Fabricação de mosto) e *cliente* (Filtração de cerveja). Em cada secção de processo foram identificados um ou mais Pontos de Quebra de Extrato, à exceção das secções de Arrefecimento de cerveja e de Adição de aditivos.

Neste trabalho considerou-se que cada Ponto de Quebra de Extrato (PQE) corresponde a uma Oportunidade de Melhoria (OM) identificada na área de estudo. As 17 OM identificadas encontram-se listadas e descritas, por secção de processo, na Tabela 4.1.

Como se observa na listagem da Tabela 4.1, cada secção da área de estudo apresenta entre uma e três OM, à exceção da secção de Maturação de cerveja em que este número é muito superior, apresentando seis OM. Reparou-se ainda que treze OM devem-se a desperdícios de cerveja (OM n.º 4 a n.º 17, à exceção da OM n.º 15 que se deve apenas ao desperdício de álcool). Apenas uma OM deve-se ao desperdício de mosto (OM n.º 1) e apenas duas OM ao consumo desnecessário de extrato durante a fermentação (OM n.º 2 e n.º 3).

Tabela 4.1 Oportunidades de Melhoria identificadas por secção de processo.

Secção de Processo	Oportunidade de Melhoria (OM)
Arrefecimento de mosto	1. Perda de extrato pelas purgas de água entre o arrefecimento de mosto de fabricos diferentes
Arejamento de mosto	2. Consumo desnecessário de extrato para crescimento de levedura causado pelo sobre-arejamento de mosto
Inoculação de mosto	3. Consumo desnecessário de extrato para crescimento de levedura causado pela sobre-inoculação de mosto
Fermentação	4. Perda de cerveja residual das mangueiras de enchimento e vazamento dos fermentadores
	5. Perda de cerveja pela espumagem pela parte superior dos fermentadores
Centrifugação de cerveja	6. Perda de cerveja pela purga de levedura pré-centrifugação
	7. Perda de cerveja pelas descargas de levedura das centrifugadoras
Maturação de cerveja	8. Perda de cerveja pelo controlo manual do nível de enchimento dos tanques de guarda
	9. Perda de cerveja residual das mangueiras de enchimento dos tanques de guarda
	10. Perda de cerveja pela CIP realizada à cerveja residual no fundo dos tanques após a guarda
	11. Perda de cerveja pela rejeição, pelo laboratório, do tanque de cerveja recuperada de guarda
	12. Perda de cerveja pelas fugas pelos vedantes das portas dos tanques de guarda
	13. Perda de cerveja pelas fugas devido à corrosão dos tanques ou de uniões/junções
Tratamento de levedura	14. Perda de cerveja pela CIP realizada à cerveja residual no fundo dos tanques da Sala de Leveduras, após o tratamento de levedura
Recuperação de cerveja	15. Perda de álcool após injeção de cerveja recuperada em mosto quente
	16. Perda de cerveja através da levedura vendida provenientes do filtro prensa
	17. Perda de cerveja pela rejeição, pelo laboratório, do tanque de cerveja recuperada do filtro prensa

4.3 Descrição e Quantificação de Oportunidades de Melhoria

Apesar da relevância de todas as Oportunidades de Melhoria (OM) para a redução da quebra de extrato global do processo, apenas algumas delas foram estudadas, o que se deveu aos seguintes fatores:

1. A preferência pelas OM com maior *impacto na quebra de extrato global do processo*, avaliado em estudos anteriores efetuados na SCC.
2. Os *projetos a implementar atual e futuramente na SCC*, de modo a manter a concordância do presente trabalho com as estratégias e objetivos da empresa.
3. A *descontinuidade do processo de fabricação e o limite temporal de execução do trabalho*, que limitaram o desenvolvimento dos estudos devido a elevados tempos de espera na recolha de amostras e/ou dados.

Como tal, foram estudadas as *OM n° 1, n° 6, n° 7 e n° 15*. De seguida, cada OM estudada é descrita pormenorizadamente e quantificada em termos de quebra de extrato e custo associado. As OM foram separadas por secção de processo: Arrefecimento de mosto, Clarificação de cerveja e Recuperação de cerveja.

4.3.1 Arrefecimento de mosto

Na secção de Arrefecimento de mosto, a Oportunidade de Melhoria identificada e estudada foi a seguinte (Tabela 4.1):

OM n° 1

Perda de extrato pelas purgas de água entre o arrefecimento de mosto de fabricos diferentes.

Descrição da Oportunidade de Melhoria

O diagrama de processo apresentado na Figura 4.3 descreve pormenorizadamente o arrefecimento de mosto e o sistema de purgas realizado entre fabricos de mosto sucessivos.

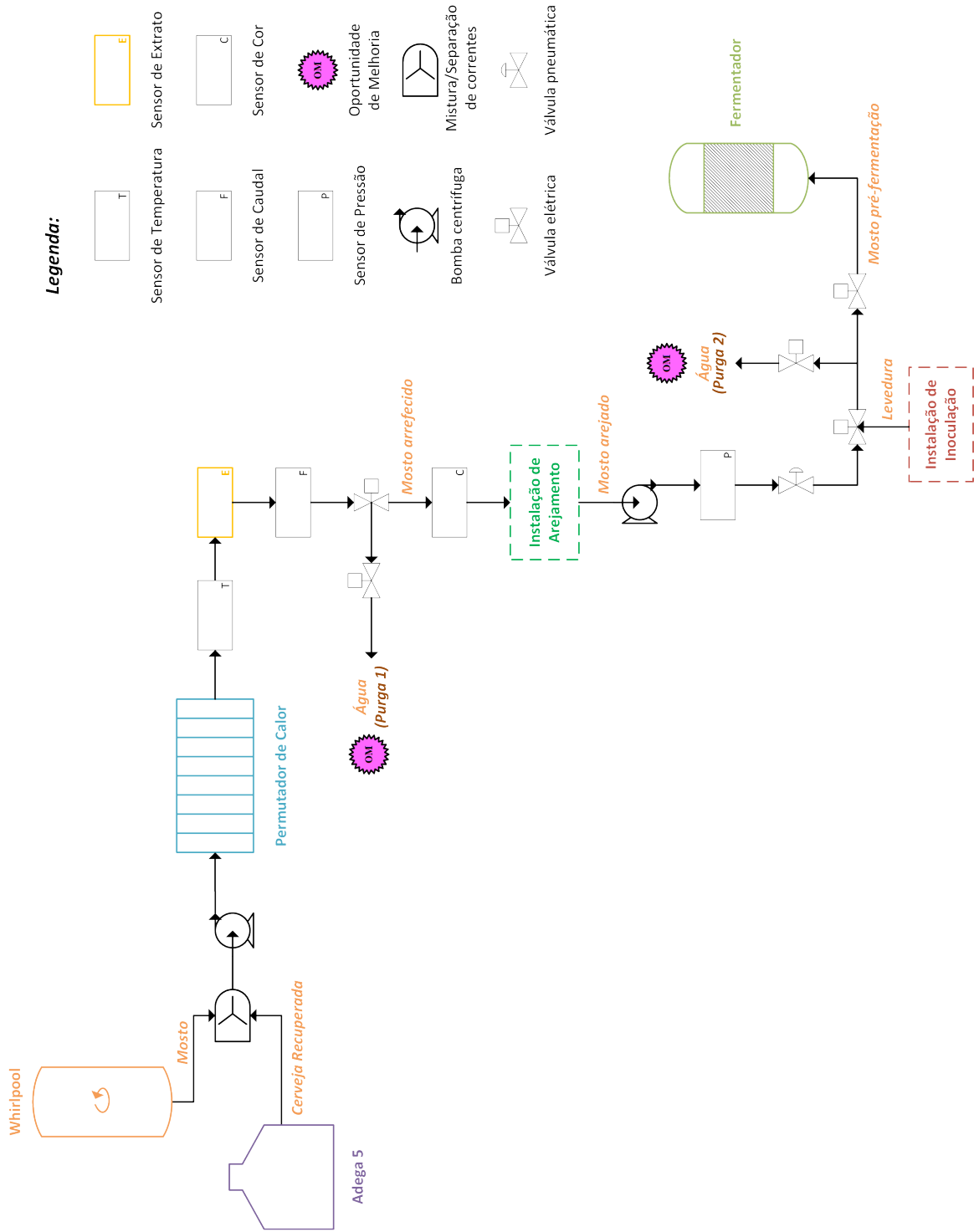


Figura 4.3 Diagrama simplificado de processo da secção de Arrefecimento de mosto e identificação da Oportunidade de Melhoria nº1. O diagrama foi construído por observação direta do processo nas instalações fabris da SCC [24].

Após a clarificação no *Whirlpool*, o mosto encontra-se a cerca de 100°C. A cerveja recuperada do Filtro Prensa ou do Filtro de *Kieselguhr* é injetada no mosto e a mistura é arrefecida de 100°C para 11°C, no caso da cerveja Sagres Branca. Na tubagem de saída de mosto do permutador de calor existem sensores de temperatura, de extrato e de caudal, que permitem a monitorização do mosto arrefecido. Antes do arrefecimento de cada fabrico de mosto é necessário purgar a água existente no interior das tubagens. Para o efeito, entre o permutador de calor e o fermentador existem dois locais de purga: a Purga 1 e a Purga 2 (Figura 4.3). Um esquema do fluxo da água e dos 6 fabricos de mosto nas tubagens ao longo do tempo é apresentado na Figura 4.4. As características de cada purga são representadas na Tabela 4.2.¹ Nesta zona do processo existem ainda duas instalações de extrema relevância na preparação do mosto pré-fermentação: a Instalação de Arejamento, onde é injetado ar para o crescimento de levedura (realizado em todos os fabricos de mosto), e a Instalação de Inoculação, onde é adicionada a levedura para a fermentação (apenas no fabrico de mosto n°1).

O modo de operação do sistema foi analisado em modo de gravação de vídeo no *software* de controlo de processo Brewmaxx (BMX), encontrando-se esquematizado no Apêndice A.1. Atualmente, todos os momentos de purga são realizados desde o arranque do sistema² até o sensor de extrato medir 10°P, ou seja, momento em que o sistema identifica a interface água/mosto, fecha as válvulas de purga de água e abre as válvulas de injeção de mosto no fermentador. Daqui nasceu a *OM n°1*, pois no intervalo 0-10°P existe extrato que é purgado juntamente com a água.

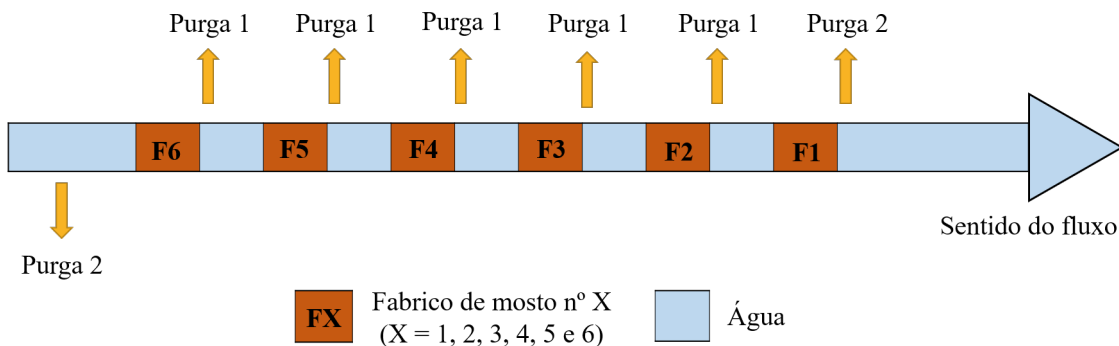


Figura 4.4 Fluxo da água e dos 6 fabricos de mosto ao longo do tempo nas tubagens.

¹A água é introduzida nas tubagens para permitir que o mosto arrefecido seja introduzido totalmente dentro do fermentador e para impedir que ocorram oxidações e contaminações indesejáveis no interior das tubagens. As Purgas 1 e 2 são de extrema relevância pois sem elas o mosto seria excessivamente diluído, o que teria um impacto indesejado na *performance* das secções posteriores do processo.

²No caso da Purga 1 após 7 minutos de repouso do mosto no *Whirlpool*, e no caso da Purga 2 cerca de 44 segundos após a lavagem das tubagens com água quente (ver Apêndice A.1).

Tabela 4.2 Características das Purgas 1 e 2: Distância em metros (m) de tubagem desde a purga até ao permutador de calor, e Fabricos de mosto (n°1 a n°6) arrefecidos após cada tipo de purga.

Purga	Distância (m)	Fabricos de mosto (n°)
1	2,5	2 a 6
2	45,5	1

Quantificação da Oportunidade de Melhoria

De forma a quantificar-se a quebra de extrato da OM n°1, seguiu-se o plano de amostragem da secção de Arrefecimento de mosto e a sequência de cálculo descrita na secção 3.2.1. Realizaram-se estudos idênticos nas Salas 1 e 2 no dia 20/02/2019 (Tabela 4.3).

Tabela 4.3 Quebra de extrato (QE) e custo monetário (CM) referentes à OM n°1. Estudo efetuado ao Arrefecimento de mosto de Sagres Branca efetuado nas Salas 1 e 2 no dia 20/02/2019.



A Sala 2 tem maior impacto na quebra de extrato global do processo devido ao facto de ser a Sala mais utilizada³ e por apresentar maior quebra de extrato por fabrico de mosto. Em média, o impacto da OM n°1 na quebra de extrato global da empresa é de — e tem um custo monetário total de —.

³Em 2018, a Sala 2 foi utilizada em 14% mais fabricos de mosto do que a Sala 1.

4.3.2 Centrifugação de cerveja

Na secção de Centrifugação de cerveja, as Oportunidades de Melhoria identificadas e estudadas foram as seguintes (Tabela 4.1):

OM n°6

Perda de cerveja pela purga de levedura pré-centrifugação.

OM n°7

Perda de cerveja pelas descargas de levedura das centrifugadoras.

Descrição das Oportunidades de Melhoria

O diagrama de processo apresentado na Figura 4.5 descreve pormenorizadamente como a levedura depositada na base do fermentador é purgada e como a cerveja é clarificada, arrefecida, aditivada e armazenada.

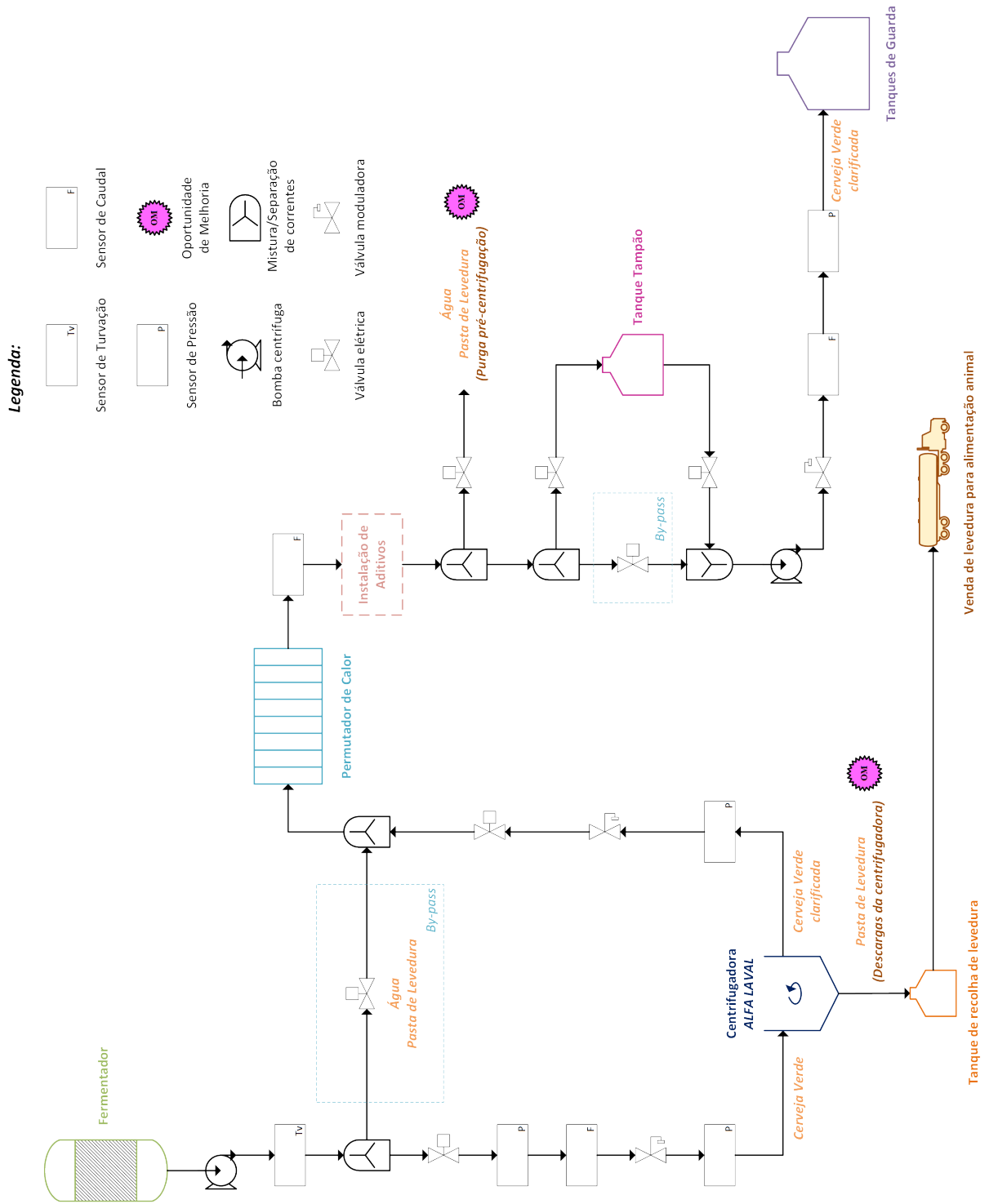


Figura 4.5 Diagrama simplificado de processo da secção de Centrifugação de cerveja e identificação das Oportunidades de Melhoria n°6 e n°7. O diagrama foi construído por observação direta do processo nas instalações fabris da SCC [24].

Após o golpe de frio no fermentador não é desejável recolher imediatamente a cerveja, pois existe levedura não viável ainda em suspensão e que necessita de decantar para posteriormente ser removida. Além disso, existe apenas uma linha de processo para transferência de cerveja do fermentador para os tanques de guarda, causando por vezes tempos de espera desde o golpe de frio até à recolha de cerveja ainda maiores do que os tempos desejáveis. Isto provoca um aumento do número de purgas de levedura decantada na base do fermentador, o que leva muitas vezes ao arraste de cerveja e à perda de extrato. No início da transferência de cerveja para os tanques de guarda, é necessário realizar mais uma purga (purga de levedura pré-centrifugação, representada na Figura 2.12 como momento de purga 3) com o mesmo objetivo das purgas anteriores, remover levedura da base do fermentador, e devido ao facto da centrífugadora *Alfa Laval* não suportar percentagens de turvação superiores a 40% (por motivos mecânicos). Desta última purga nasceu a *OM n°6* pois é efetuada sempre que a cerveja está preparada para ser recolhida de um fermentador. Cerca de 55% do volume purgado é cerveja. Neste momento de purga também é enviada para o esgoto toda a água existente nas tubagens, imediatamente antes do envio da levedura. Após a purga pré-centrifugação, a cerveja é recolhida do fermentador e transferida para a centrífugadora *Alfa Laval*. Por cada 3 800 hL de cerveja centrifugada (por cada fermentador), a centrífugadora efetua cerca de 100 descargas de pasta de levedura. Cada descarga contém aproximadamente 16%v/v de cerveja. Apesar das descargas serem recolhidas para tanques apropriados e serem vendidas para alimentação animal, o extrato presente na cerveja sai do fluxo principal do processo e é desvalorizado. Daqui nasceu a *OM n°7*. Após a centrifugação, a cerveja é arrefecida, são adicionados dois aditivos e é transferida para um tanque tampão onde é armazenada até ser transferida para os tanques de guarda. Na Figura 4.6 encontra-se representado um esquema resumo do diagrama de processo apresentado na Figura 4.5.

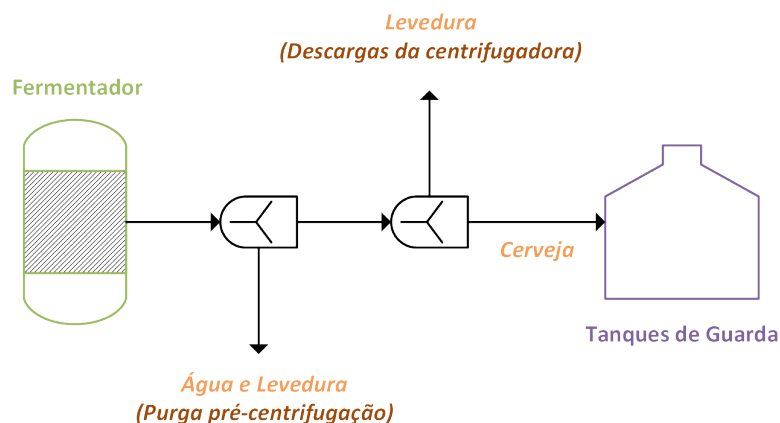


Figura 4.6 Esquema resumo da transferência de cerveja do fermentador para os tanques de guarda, incluindo a purga de água e levedura pré-centrifugação e as descargas de levedura pela centrífugadora.

Quantificação das Oportunidades de Melhoria

De forma a quantificar-se a quebra de extrato das OM n°6 e n°7, seguiram-se os planos de amostragem da secção de Centrifugação de cerveja e a sequência de cálculo descrita na secção 3.2.1.

No estudo da OM n°6, foram estudadas as purgas pré-centrifugação realizadas antes da recolha de cerveja dos fermentadores CC6, CC4 e CC5 nos dias 25/03/2019, 06/05/2019 e 14/05/2019, e dos fermentadores OT7 e OT11 nos dias 27/03/2019 e 29/04/2019, respetivamente (Tabela 4.4).

Tabela 4.4 Quebra de extrato (QE) e custo monetário (CM) referentes à OM n°6. Estudos efetuados às purgas pré-centrifugação realizadas antes da recolha de cerveja dos fermentadores CC6, CC4 e CC5 nos dias 25/03/2019, 06/05/2019 e 14/05/2019, e dos fermentadores OT7 e OT11 nos dias 27/03/2019 e 29/04/2019, respetivamente⁴.



⁴Os valores das colunas CC e OT foram obtidos pela média dos valores dos estudos efetuados em cada tipo de fermentador. Os valores da coluna Fermentador foram obtidos pela média ponderada entre os valores das colunas CC e OT, no caso das variáveis QE(kg/fermentador) e QE(%), e pelo somatório das mesmas colunas, no caso das variáveis QE(ton/ano) e CM(€/ano).

No estudo da OM n°7, foram estudadas as descargas de levedura efetuadas pela centrífugadora *Alfa Laval* durante a transferência de cerveja dos fermentadores OT7 e CC9 para os tanques de guarda nos dias 11/02/2019 e 18/02/2019, respetivamente. Os resultados apresentam-se na Tabela 4.5.

Tabela 4.5 Quebra de extrato (QE) e custo monetário (CM) referentes à OM n°7. Estudos efetuados às descargas de levedura efetuadas pela centrífugadora *Alfa Laval* durante a transferência de cerveja dos fermentadores CC9 e OT7 para os tanques de guarda nos dias 18/02/2019 e 11/02/2019, respetivamente⁵.



⁵Os valores da coluna Fermentador foram obtidos pela média ponderada entre os valores das colunas CC9 e OT7, no caso das variáveis QE(kg/fermentador) e QE(%), e pelo somatório das mesmas colunas, no caso das variáveis QE(ton/ano) e CM(€/ano).

4.3.3 Recuperação de cerveja

Na secção de Recuperação de cerveja, a Oportunidade de Melhoria identificada e estudada foi a seguinte (Tabela 4.1):

OM n.º 15

Perda de álcool após injeção de cerveja recuperada em mosto quente.

Descrição da Oportunidade de Melhoria

O diagrama de processo apresentado na Figura 4.7 descreve pormenorizadamente como a cerveja é recuperada da pasta de levedura que é recolhida do fermentador e como é injetada no mosto quente que provém do *Whirlpool*.

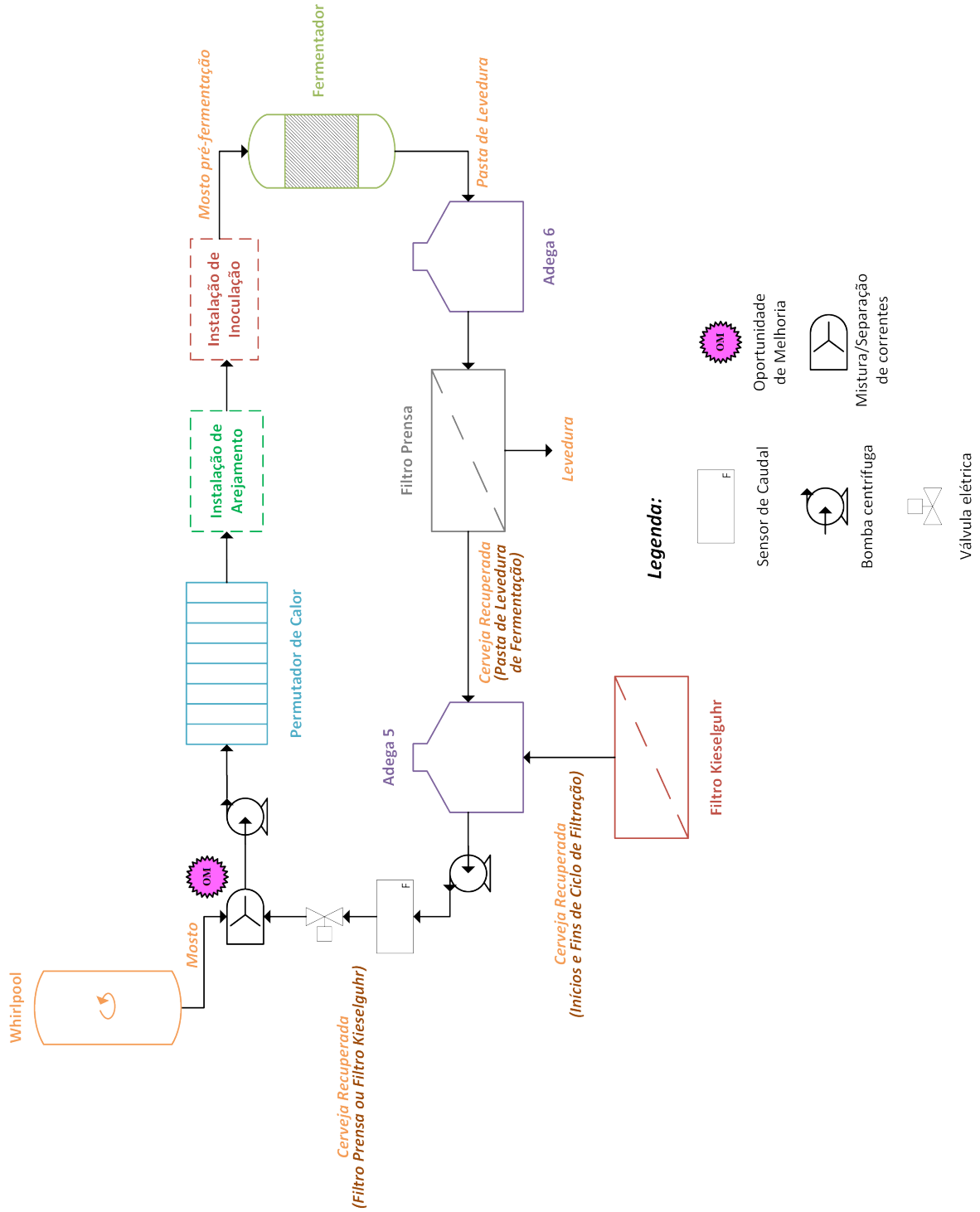


Figura 4.7 Diagrama simplificado de processo da secção de Recuperação de cerveja e identificação da Oportunidade de Melhoria n.º 15. O diagrama foi construído por observação direta do processo nas instalações fabris da SCC [24].

Quando a pasta de levedura é recolhida do fermentador e não preenche os requisitos de consistência, viabilidade e geração da levedura para reinoculação num dos fermentadores a operar seguidamente, é armazenada num dos tanques da Adega 6. De forma a não se desperdiçar o potencial em extrato da cerveja incluída na pasta de levedura, utiliza-se um Filtro Prensa responsável por comprimir a pasta de levedura, separando a levedura da cerveja. Após a separação, a levedura é vendida para alimentação animal e a cerveja recuperada é armazenada num dos tanques da Adega 5. Além da cerveja recuperada pelo Filtro Prensa, a Adega 5 também recebe cerveja proveniente dos inícios e fins de ciclo dos Filtros de *Kieselguhr* (situados a jusante no processo, na secção de Filtração de cerveja). A cerveja proveniente dos Filtros de *Kieselguhr* contém um grau de diluição elevado, o que a impede de ser enviada para os tanques de cerveja filtrada de modo a não comprometer as especificações do produto final. A cerveja recuperada pelo Filtro Prensa e pelo Filtro de *Kieselguhr* não é misturada nos tanques da Adega 5. A cerveja recuperada é reciclada por injeção constante de 20 hL/h de cerveja recuperada a 625 hL/h de mosto quente, em todos os fabricos de mosto, desde que exista cerveja recuperada num dos tanques da Adega 5. Neste sistema deve garantir-se que o reciclo é economicamente viável e que não afeta a qualidade do mosto ao qual é adicionada. Dado que o álcool presente na cerveja recuperada provém de determinada quantidade de extrato original do mosto que lhe deu origem, averiguou-se se todo o álcool presente na cerveja recuperada é realmente injetado no mosto quente ou se existe alguma perda de álcool que se traduz em perda de extrato. Desta forma, surgiu a *OM n° 15*.

Em 2018, foram recuperados 26 177 hL de cerveja proveniente dos dois Filtros em proporções idênticas, com 52% do Filtro Prensa e 48% do Filtro de *Kieselguhr* (Figura 4.8).

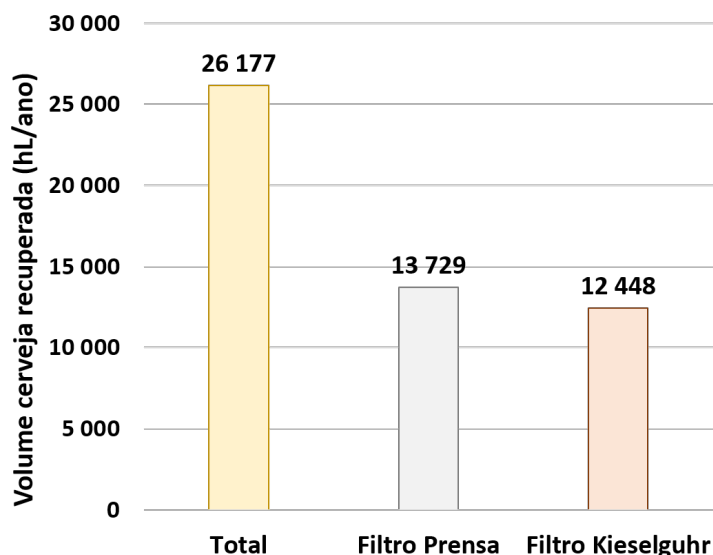


Figura 4.8 Volumes de cerveja recuperada em 2018 nos Filtro Prensa e Filtro de *Kieselguhr* [6].

Quantificação da Oportunidade de Melhoria

De forma a quantificar-se a quebra de extrato da OM n°15, seguiram-se os planos de amostragem da secção de Recuperação de cerveja e a sequência de cálculo descrita na secção 3.2.1.

Os resultados das percentagens de álcool e de extrato perdidos nos dois ensaios efetuados (Filtro Prensa e Filtro de *Kieselguhr*) encontram-se na Figura 4.9.



(a) Cerveja recuperada pelo Filtro Prensa.



(b) Cerveja recuperada pelo Filtro de *Kieselguhr*.

Figura 4.9 Caracterização do sistema de injeção de cerveja recuperada proveniente do Filtro Prensa ou do Filtro de *Kieselguhr*, em mosto quente proveniente do *Whirlpool*.

Pelos resultados dos ensaios pode concluir-se o seguinte: —————

As quantidades de extrato recuperadas e perdidas, os benefícios e custos associados, e o impacto na quebra de extrato global do processo, encontram-se quantificados na Figura 4.10.



(a) Extrato.



(b) Valor monetário.



(c) Quebra de extrato global.

Figura 4.10 Extrato, Valor monetário e Quebra de extrato global recuperados e perdidos, em 2018, pela recuperação de cerveja proveniente do Filtro Prensa e do Filtro de *Kieselguhr*.

4.3.4 Resumo da Quantificação das Oportunidades de Melhoria

Na Tabela 4.6 encontra-se um resumo da quantificação das Oportunidades de Melhoria abordadas anteriormente.

Tabela 4.6 Resumo da quantificação das Oportunidades de Melhoria estudadas em termos de impacto na quebra de extrato global do processo (QE) e custo monetário (CM).



4.4 Análise da Causa-Raiz e Procura das Ações de Melhoria

A Análise da Causa-Raiz ou Análise de 5 Porquês foi a ferramenta utilizada para a conversão das Oportunidades de Melhoria em Ações de Melhoria. Para o efeito, foi necessário encontrar a Causa-Raiz de cada problema. De seguida, apresentam-se as Análises de 5 Porquês de cada Oportunidade de Melhoria quantificada anteriormente.

Arrefecimento de mosto

A Análise de 5 Porquês efetuada para a OM n°1 da secção de Arrefecimento de mosto, encontra-se na Figura [4.11](#).

Centrifugação de cerveja

As Análises de 5 Porquês efetuadas para as OM n°6 e n°7 da secção de Centrifugação de cerveja, encontram-se nas Figuras [4.12](#) e [4.13](#).

Recuperação de cerveja

A Análise de 5 Porquês efetuada para a OM n°15 da secção de Recuperação de cerveja, encontra-se na Figura [4.14](#).

Descrição do problema (Modo de falha)		Causas Potenciais						5M	Plano de Ação					
		1º Porquê	2º Porquê	3º Porquê	4º Porquê	5º Porquê	Verificado		Ações corretivas	Quem	Data	Ações preventivas	Quem	Data
Perda de extrato pelas purgas de água entre o arrefecimento de mosto de fabricos diferentes.		É necessário purgar a água presente nas tubagens entre fabricos de mosto sucessivos.	A água não deve ser totalmente adicionada ao fermentador para não diluir significativamente o mosto.	Em termos de especificação, o mosto injetado no fermentador deve ter entre 15,4 °P e 16,0 °P.										
		Ocorre perda de mosto diluído pela interface água/mosto na fase final do momento de purga.	O <i>set-point</i> de extrato ao qual o sistema de controlo determina o fecho das válvulas de purga e a abertura das válvulas de injeção de mosto no fermentador, é elevado.											
								Material						
								Método						



Folha de Análise 5 Porquês



Figura 4.11 Análise de 5 Porquês da OM n.º 1. Procura da Causa-Raiz do problema e de Ações de Melhoria.



 Folha de Análise 5 Porquês 		Causas Potenciais					SM	Plano de Ação			
		1º Porquê	2º Porquê	3º Porquê	4º Porquê	5º Porquê		Ações corretivas	Data	Ações preventivas	Quem
Descrição do problema (Modo de falha)	Verificado	A presença da levedura depositada em contacto com a cerveja é um risco à qualidade da cerveja, podendo afetar a sua espuma e sabor.	A levedura depositada encontra-se maioritariamente autolizada.	Existem vários fermentadores em espera para se transferir a cerveja dos tanques de guarda.	Existe apenas numa linha de processo de transferência de cerveja dos fermentadores para os tanques de guarda.	Material	Purgar a levedura depositada para um tanque e vender para alimentação animal.				
	S	É necessário purgar a levedura depositada na base do fermentador.	O tempo desde a última recolha de levedura (do fermentador para a Sala de Leveduras ou para o Filtro Prensa) até à transferência para os tanques de guarda, permite a decantação da levedura.	S	S	Máquina	Aumentar o número de linhas de processo de transferência de cerveja dos fermentadores para os tanques de guarda.				
	S	A mistura não é homogénea dentro do fermentador.	O sistema de controlo não está automatizado.	S	S	Método	Automatizar o sistema de controlo de turvação no início da transferência de cerveja dos fermentadores para os tanques de guarda.				
	S	O controlo é realizado visualmente pelo operador.	Não existe sistema de armazenamento e reciclo de levedura.	S	S	Método	Criar um sistema de armazenamento e retificação de levedura.				

Figura 4.12 Análise de 5 Porquês da OM n.º 6. Procura da Causa-Raiz do problema e de Ações de Melhoria.

Central Cervejas e Bebidas		Folha de Análise 5 Porquês					TPM						
Descrição do problema (Modo de falha)	Causas Potenciais						Plano de Ação						
	1º Porquê	2º Porquê	3º Porquê	4º Porquê	5º Porquê	Verificado	5M	Ações corretivas	Quem	Data	Ações preventivas	Quem	Data
Perda de cerveja pelas descargas de levedura da centrífugadora Alfa Laval.	A pasta de levedura descarregada ainda contém 16% (v/v) de cerveja.	Verificado	N										
		S	A eficiência da centrífugadora não está otimizada.										
		N	A centrífugadora não opera com uma eficiência de separação superior à atual.										

Figura 4.13 Análise de 5 Porquês da OM n°7. Procura da Causa-Raiz do problema e de Ações de Melhoria.

Tabela 4.7 Ações de Melhoria que permitem reduzir ou eliminar o efeito de cada Oportunidade de Melhoria. Vantagens e desvantagens na implementação de cada Ação de Melhoria.

Oportunidade de Melhoria (OM)	Ação de Melhoria (AM)	Vantagens	Desvantagens
1. Perda de extrato pelas purgas de água entre o arrefecimento de mosto de fabricos diferentes	1.1 Alterar os valores de especificação e remover o sistema de purga	Desnecessidade de purgar a água entre fabricos de mosto sucessivos, removendo totalmente a perda de extrato neste ponto.	Implica uma diluição excessiva do mosto a injetar no fermentador, levando a alterações significativas na fermentação e em etapas posteriores no processo.
	1.2 Reduzir o set-point de extrato do sistema de controlo da purga	Reduz a quantidade de extrato purgado, reduzindo a perda de extrato.	(Não definido)
6. Perda de cerveja pela purga de levedura pré-centrifugação	6.1 Purgar a levedura depositada para um tanque e vender para alimentação animal	Permite o aumento de lucro pela venda de levedura que atualmente é purgada para o esgoto. O processo de armazenamento e venda de levedura já é efetuado na recolha e venda da pasta de levedura descarregada das centrifugadoras.	Custos de instalação de um sistema de recolha de levedura (tubagens, válvulas, automatização e mão-de-obra).
	6.2 Aumentar o número de linhas de processo de transferência de cerveja dos fermentadores para os tanques de guarda	Reduz o número de fermentadores em espera após o golpe de frio, reduzindo a quantidade de levedura depositada na base do fermentador.	Implica investimento muito elevado. Além disso, tempos de espera menores causam maior quantidade de levedura em suspensão, o que pode ter impactos negativos em secções posteriores do processo como na Clarificação de cerveja (maior turvação da corrente de alimentação às centrifugadoras, aumentando o desgaste e reduzindo a eficiência do equipamento), na Maturação de cerveja (aumentando a quantidade de levedura decantada na base dos tanques, podendo afetar a QE nesta secção) e na Filtração de cerveja (aumentando os consumos de kieselguhr e reduzindo a eficiência de filtração).
	6.3 Automatizar o sistema de controlo de turvação no início da transferência de cerveja dos fermentadores para os tanques de guarda	Permite remover os erros humanos associados ao controlo de turvação pelo operador no visor ocular perto da purga pré-centrifugação. O sensor de turvação a utilizar pode ser o da centrifugadora Alfa Laval.	Custos dos ajustes na automatização do sistema no início da transferência de cerveja.
	6.4 Criar um sistema de armazenamento e reinjeção de levedura	Permite reaproveitar a levedura purgada para o esgoto.	Exige investimento em equipamento para armazenar e reinjetar a levedura (tubagens, válvulas e tanque). Apesar do grau de diluição elevado na injeção de 15 L de levedura em 3 800 hL de cerveja, existe o risco da levedura injetada alterar a qualidade da cerveja.
15. Perda de álcool após injeção de cerveja recuperada em mosto quente	15.1 Substituir o Filtro Prensa	Aumenta a eficiência de separação levedura/cerveja e garante a qualidade microbiológica da cerveja recuperada, reduzindo significativamente ou eliminando a OM nº 15 (a OM quantificada com maior impacto na QE Global do processo (0,43%)).	Necessita de elevado investimento em equipamento novo.
	15.2 Reduzir o ângulo formado entre a tubagem de injeção de cerveja recuperada e a tubagem de mosto à saída do Whirlpool	Diminui a turbulência da mistura durante a injeção de cerveja recuperada causando uma menor disponibilidade para a perda de álcool.	Exige custos de material e mão-de-obra envolvidos na alteração da tubagem de injeção de cerveja recuperada.
8. a 13. Perdas de cerveja na secção de Maturação de cerveja	I. Comprar novos Fermentadores CC, efetuar a maturação de cerveja nos Fermentadores OT e inutilizar as Salas de Tanques de Guarda	Permite eliminar todas as OM identificadas na secção de Maturação de cerveja.	Necessita de investimento muito elevado e de alteração do fluxo principal do processo de fabricação de cerveja.
6. a 13. Perdas de extrato nas secções de Fermentação, Clarificação e Maturação de cerveja	II. Efetuar a fermentação, clarificação, arrefecimento e maturação de cerveja no mesmo equipamento	Permite eliminar todas as OM identificadas nas secções de Fermentação, Clarificação e Maturação de cerveja. Permite a simplificação do processo de fabricação de cerveja.	Necessita de alteração do fluxo principal do processo de fabricação de cerveja. Exige várias purgas de levedura ao longo do tempo de residência, que devem ser devidamente reaproveitadas.

4.5 Ações de Melhoria

As Ações de Melhoria (AM) obtidas pelas Análises de 5 Porquês efetuadas a cada Oportunidade de Melhoria, bem como as vantagens e desvantagens perspetivando a sua implementação, encontram-se na Tabela 4.7.

Em equipa e com base nas vantagens e desvantagens associadas à implementação de cada Ação de Melhoria, decidiram-se estudar apenas as AM nº 1.2, nº 6.1, nº 6.3 e nº 15.1.

4.5.1 Arrefecimento de mosto

Na secção de Arrefecimento de mosto, a Ação de Melhoria estudada foi a seguinte (Tabela 4.7):

AM nº 1.2

Reduzir o set-point de extrato do sistema de controlo da purga.

O desafio desta AM foi definir o novo valor de *set-point* de extrato do sistema de controlo da purga. À medida que se reduziu o valor de *set-point* de extrato, a quebra de extrato diminuiu, mas a quantidade de água adicionada ao fermentador aumentou. Portanto, gerou-se uma contradição que necessitou de um compromisso entre as duas variáveis anteriores. Para avaliar o impacto da redução do *set-point* no volume adicionado ao fermentador, na quebra de extrato e nos custos e benefícios envolvidos, seguiu-se o plano de amostragem da secção de Arrefecimento de mosto, tendo como única alteração a substituição do *set-point* de extrato de 10°P para cada um dos novos valores de *set-point* (9°P a 1°P). Os resultados encontram-se nos gráficos da Figura 4.15.

Existe uma grande diferença entre a escolha do E_{sp} acima de 2°P e abaixo de 2°P. Acima de 2°P, introduz-se cerca de 1 hL de água no fermentador, enquanto que para valores inferiores a 2°P arrisca-se a introduzir os restantes 14 hL no fermentador, o que seria drástico em termos de diluição do mosto. A Figura 4.16, baseada na Figura 3.3, pretende ilustrar as duas fases das curvas de extrato e os valores aproximados de Volume e Extrato da água purgada.



(a) Volume de purga adicionado (V).



(b) Quebra de Extrato (QE).



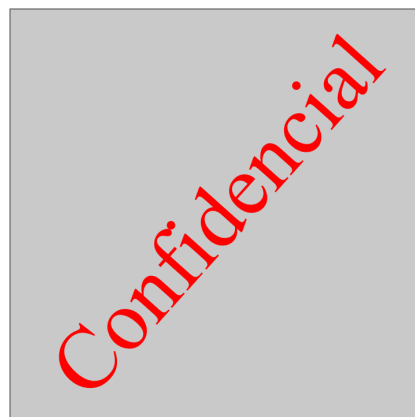
(c) Quebra de Extrato (QE).



(d) Quebra de Extrato (QE) global.



(e) Custo Monetário (CM).



(f) Benefício Monetário (BM).

Figura 4.15 Impacto da redução do *Set-point* de Extrato (E_{sp}) no (a) Volume de purga adicionado ao fermentador, (b) Quebra de Extrato por fabrico de mosto, (c) Quebra de Extrato por ano, (d) Quebra de Extrato global do processo, (e) Custo Monetário e (f) Benefício Monetário. Equações das retas de tendência para as Salas de Fabrico 1 e 2.

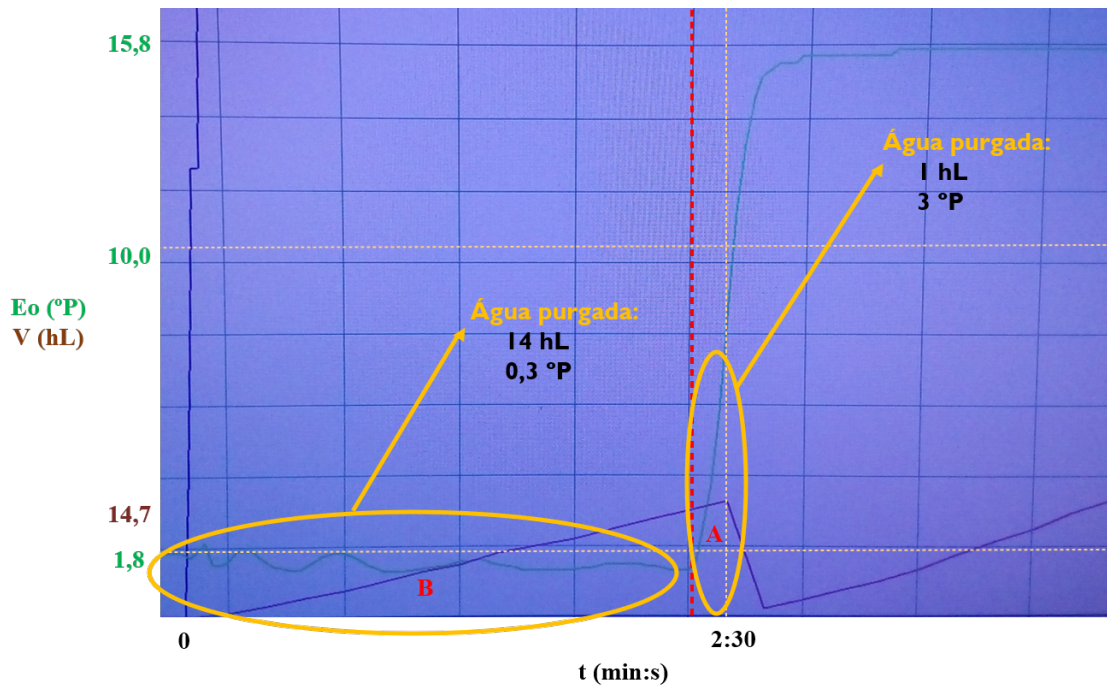


Figura 4.16 Volume (hL) e Extrato ($^{\circ}P$) aproximados da água purgada, nas zonas A e B da curva de extrato (figura adaptada) [23].

Portanto, surgiram duas hipóteses: a redução de E_{sp} de $10^{\circ}P$ para $1^{\circ}P$ ou para $3^{\circ}P$. Na primeira hipótese, todo o volume purgado seria introduzido no fermentador, enquanto que na segunda hipótese, apenas seria introduzido aproximadamente 1 hL. Dado que existe benefício na alteração e o seu custo é praticamente nulo, decidiu-se alterar E_{sp} de $10^{\circ}P$ para $3^{\circ}P$, visto que é o valor de extrato onde se obtém maior benefício sem o risco de E_{sp} ser baixo ao ponto do sensor de caudal reconhecer a mistura a purgar como mosto logo no início da parte B da curva e incorporar os restantes 14 hL no fermentador. O ganho obtido com a alteração encontra-se na Tabela 4.8.

Tabela 4.8 Ganho com a alteração de E_{sp} de 10°P para 3°P nas Salas 1 e 2.

Concluindo, após a alteração obteve-se um ganho total de — e um benefício monetário de —, o que correspondeu à recuperação de — do custo monetário da OM n°1. Em março de 2019 a AM n°1.2 foi implementada, verificada e padronizada em todas as receitas de cerveja.

4.5.2 Centrifugação de cerveja

Na secção de Centrifugação de cerveja, as Ações de Melhoria estudadas foram as seguintes (Tabela 4.7:

AM n°6.1

Purgar a levedura depositada para um tanque e vender para alimentação animal.

AM n°6.3

Automatizar o sistema de controlo de turvação no início da transferência de cerveja dos fermentadores para os tanques de guarda.

De modo a tratar o sistema de transferência de cerveja dos fermentadores para os tanques de guarda de forma integrada, favorecendo a sua automatização e impedindo erros de leitura por parte dos operadores, decidiu-se fundir as AM n°6.1 e n°6.3 de onde surgiu a AM n°6.1/6.3:

AM n°6.1/6.3

Automatizar o sistema de controlo de turvação no início da transferência de cerveja e purgar a levedura diretamente para o tanque de recolha de levedura.

Nesta ideia pretende-se substituir a observação do operador pelo sensor de turvação da centrifugadora *Alfa Laval*. Cria-se uma nova malha de controlo que tem como objetivo, com base no valor de turvação medido ao longo do tempo, controlar automaticamente o destino da água, pasta de levedura e cerveja. Pretende-se que a água seja purgada na Purga pré-centrifugação como atualmente, mas que a pasta de levedura proveniente da base do fermentador seja encaminhada para o mesmo tanque de recolha das descargas de levedura. Desta forma, poderá converter-se a levedura que atualmente é desperdiçada para o esgoto em dinheiro. Para o efeito, é necessário introduzir uma nova tubagem para ligar a tubagem de entrada na centrifugadora ao tanque de receção de levedura. A cerveja seguirá o seu percurso tal como atualmente. O novo diagrama de processo da secção de Centrifugação de cerveja, após a implementação da AM n°6.1/6.3, encontra-se na Figura 4.17.

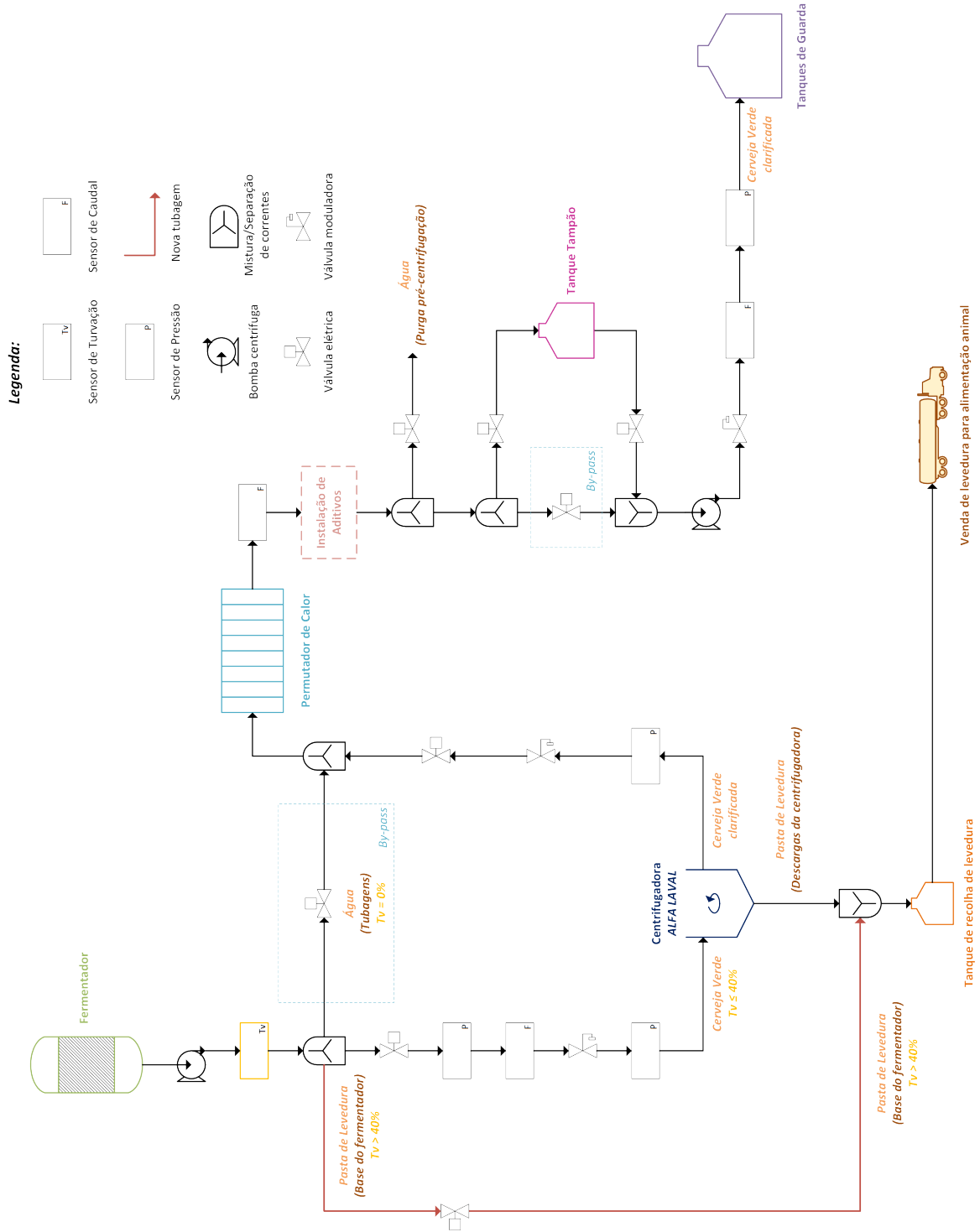


Figura 4.17 Novo diagrama de processo da secção de Centrifugação de cerveja após a implementação da AM n.º 6.1/6.3. Introdução da nova tubagem e valores expectáveis de turvação admitindo que o valor definido de *set-point* de turvação é 40% (imagem adaptada da Figura 4.5 [24]).

Admitindo que a solução é implementada, verificam-se 3 momentos desde o início do funcionamento da bomba à saída do fermentador até à transferência de cerveja para os tanques de guarda:

1. No início do funcionamento da bomba à saída do fermentador a água existente nas tubagens é identificada pelo sensor de turvação, que mede aproximadamente 0%, e é aberta a válvula da Purga pré-centrifugação encaminhando a água diretamente para o esgoto.
2. De seguida, quando o sensor de turvação deteta a pasta de levedura proveniente da base do fermentador, medindo um valor superior a 40%⁶, fecha-se a válvula da Purga pré-centrifugação e abre-se a válvula da nova tubagem com o objetivo de encaminhar a pasta de levedura para o tanque de recolha das descargas de levedura da centrifugadora *Alfa Laval*.
3. Finalmente, quando o sensor de turvação deteta uma série de valores de turvação inferiores e/ou iguais a 40%, já não existe pasta de levedura a remover do fermentador. Portanto, fecha-se a válvula da nova tubagem e abre-se a válvula de entrada de cerveja na centrifugadora *Alfa Laval* e todas as restantes válvulas do percurso de cerveja até aos tanques de guarda, passando pelo tanque tampão. Durante a transferência de cerveja para guarda, se a turvação voltar a exceder os 40%, o sistema deve garantir a continuidade do processo de transferência, não sendo desejáveis novas descargas para o tanque de recolha de levedura.

4.5.3 Recuperação de cerveja

Na secção de Recuperação de cerveja, a Ação de Melhoria estudada foi a seguinte (Tabela 4.7):

AM n°15.1

Substituir o Filtro Prensa.

Pesquisaram-se as tecnologias de recuperação de cerveja disponíveis no mercado e adequadas à substituição do Filtro Prensa (Figura 4.18).

⁶Admitindo que 40% é o valor de *set-point* de turvação que define o limite de separação entre a cerveja ($\leq 40\%$) e a levedura ($> 40\%$).

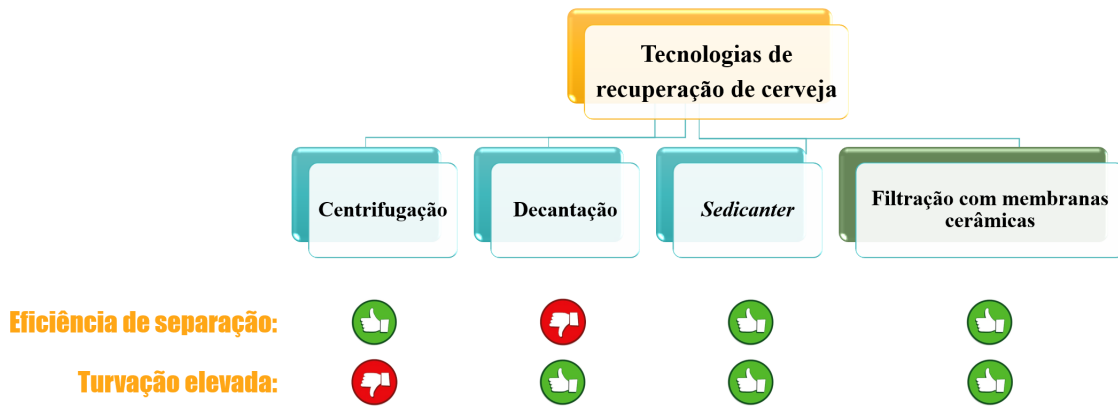


Figura 4.18 Tecnologias de recuperação de cerveja disponíveis no mercado para substituição do Filtro Prensa.

As tecnologias Centrifugação e Decantação são mais antigas, tendo a primeira melhor eficiência de separação e a segunda maior capacidade de processamento de matéria com grau de turvação mais elevado. As tecnologias *Sedicanter* e Filtração com membranas cerâmicas são tecnologias mais recentes, onde já é possível encontrar um compromisso entre a eficiência elevada de separação e o grau de turvação elevado da matéria processada [25]. As empresas *BUCHER unipektin*, *GEA*, *PALL* e *Centec* comercializam soluções tecnológicas de Filtração com membranas cerâmicas adequadas à substituição do Filtro Prensa, enquanto que a empresa *Flottweg* comercializa a tecnologia *Sedicanter*. As empresas e tecnologias referidas encontram-se na Figura 4.19 [25].

Apesar dos equipamentos de Filtração com membranas cerâmicas exigirem maiores custos de operação e requererem mais espaço para instalação, devido ao facto de necessitarem de uma instalação própria de CIP (*Cleaning In Place*), permitem processar melhor misturas de levedura provenientes de várias secções do processo e exigem menores custos de manutenção, comparativamente à tecnologia *Sedicanter*. De modo a escolher-se a melhor solução para a substituição do Filtro Prensa, deve ser realizado um estudo pormenorizado com detalhe de todas as características do sistema de separação. Deve garantir-se um *pay-back time* reduzido, custos de operação e manutenção reduzidos, eficiências de separação elevadas e flexibilidade no grau de turvação da matéria a processar, garantindo sempre a qualidade da cerveja e da levedura processadas [26, 27, 28, 29, 30].



Figura 4.19 Empresas que comercializam as tecnologias de recuperação de cerveja mais recentes: Filtração com membranas cerâmicas e *Sedicanter*. Vantagens associadas a cada tecnologia.

4.5.4 Outras Ações de Melhoria

Ao longo do tempo de estágio foram identificados alguns pontos paralelos ao trabalho que influenciam direta ou indiretamente a quebra de extrato. Como tal, as Ações de Melhoria sugeridas para a redução ou eliminação desses mesmos pontos encontram-se de seguida:

1. *Automatização do controlo de nível do tanque de recolha das descargas de levedura.*

Durante o estágio notou-se que o nível do tanque de recolha das descargas de levedura é controlado visualmente pelos operadores. Dado que não existe visibilidade da sala de controlo diretamente para o tanque, muitas vezes a capacidade do tanque é excedida e a pasta de levedura transborda (Figura 4.20). Isto pode levar ao aumento do número de acidentes de trabalho e ao desperdício de extrato. Portanto, sugeriu-se que se automatizasse completamente o controlo de nível do tanque. Para o efeito, é necessário ligar uma das bombas, abrir a respetiva válvula de saída de pasta de levedura e adicionar uma pequena quantidade de água de forma a diluir ligeiramente a pasta de levedura. Todo o equipamento descrito, à exceção do sensor de nível, encontra-se em boas condições de funcionamento no local. Resta apenas procurar um sensor de nível adequado ao sistema.



Figura 4.20 Resultado da falta de controlo do nível de pasta de levedura no tanque de recolha das descargas das centrifugadoras.

2. Avaliação da possibilidade de injeção de O_2 puro no mosto ao invés de ar.

O sistema de Arejamento de mosto foi analisado globalmente e surgiu a ideia de se alterar o gás injetado de ar para O_2 puro. Atualmente, a injeção de ar exige o seu tratamento com filtros apropriados, acarreta problemas como o excesso de N_2 injetado, podendo levar à maior espumabilidade da cerveja, e torna a concentração de O_2 no mosto mais difícil de controlar. A solução que inclui O_2 puro torna mais exata a injeção no mosto, sendo necessária apenas a quantidade que se deseja dissolver, evitando a presença de outros gases. A análise da alteração para este tipo de sistema deve ser muito cuidadosa, pois a presença de oxigénio pressupõe procedimentos e materiais anti-explosivos muito específicos.

3. Avaliação da possibilidade de injeção do gás (ar ou O_2 puro) no interior do permutador de calor.

Uma das variáveis que devem ser exploradas para garantir uma melhor dissolução de oxigénio é a turbulência do mosto. Esta solução pretende injetar o gás (ar ou O_2 puro) no interior do permutador de calor, antes do último estágio de arrefecimento, para aproveitar o percurso no interior do permutador de calor. Isto gera melhor dissolução de oxigénio pela maior turbulência do mosto.

4.5.5 Ações de Melhoria a Implementar

Após o estudo das Ações de Melhoria foi possível obter Ações de Melhoria mais concretas e possíveis de implementar na SCC, às quais denominámos Ações de Melhoria a Implementar (AMI). Cada AMI pode ser definida como *Corretiva*, AMI que pretende contribuir para o decréscimo da QE em determinada OM, através da redução de desperdícios anteriormente efetuados; ou *Preventiva*, AMI que permite eliminar totalmente a QE em determinada OM, através da prevenção de desperdícios anteriormente efetuados. Através do *know-how* da equipa de trabalho foi possível estimar o investimento aproximado de cada AMI. A descrição das AMI, o seu tipo e o investimento aproximado encontram-se na Tabela 4.9.

De modo a concluir-se acerca da sua implementação, as AMI foram inseridas numa *matriz Benefício/Esforço* e foram comparadas entre si (Figura 4.21). O *Benefício* está relacionado ao impacto que a implementação da AMI provoca na redução da quebra de extrato global do processo. O *Esforço* prende-se com o investimento total necessário para a implementação de cada AMI.

Tabela 4.9 Ações de Melhoria a Implementar na SCC.

Oportunidade de Melhoria (OM)	Ação de Melhoria (AM)	Ação de Melhoria a Implementar (AMI)		
		Descrição	Tipo	Investimento (aprox.)
1. Perda de extrato pelas purgas de água entre o arrefecimento de mosto de fabricos diferentes	1.2 Reduzir o set-point de extrato do sistema de controlo da purga	1.2.1 Reduzir o set-point de extrato do sistema de controlo da purga de 10 °P para 3 °P	Corretiva	0 €
6. Perda de cerveja pela purga de levedura pré-centrifugação	6.1 Purgar a levedura depositada para um tanque e vender para alimentação animal	6.1/6.3 Automatizar o sistema de controlo de turvação no início da transferência de cerveja e purgar a levedura para a tanqueta	Corretiva	25 000 €
	6.3 Automatizar o sistema de controlo de turvação no início da transferência de cerveja dos fermentadores para os tanques de guarda			
15. Perda de álcool após injeção de cerveja recuperada em mosto quente	15.1 Substituir o Filtro Prensa	15.1.1 Substituir o Filtro Prensa por um Sedicanter	Preventiva	300 000 €
		15.1.2 Substituir o Filtro Prensa por um Filtro com Membranas Cerâmicas	Preventiva	500 000 €
8. a 13. Perdas de cerveja na secção de Maturação de cerveja	I. Comprar novos Fermentadores CC, efetuar a maturação de cerveja nos Fermentadores OT e inutilizar as Salas de Tanques de Guarda	I.I Implementar o Projeto de Novos Fermentadores	Preventiva	3 000 000 €
6. a 13. Perdas de extrato nas secções de Fermentação, Clarificação e Maturação de cerveja	II. Efetuar a fermentação, clarificação, arrefecimento e maturação de cerveja no mesmo equipamento	II.I Implementar o Projeto Uni-Processo	Preventiva	3 000 000 €

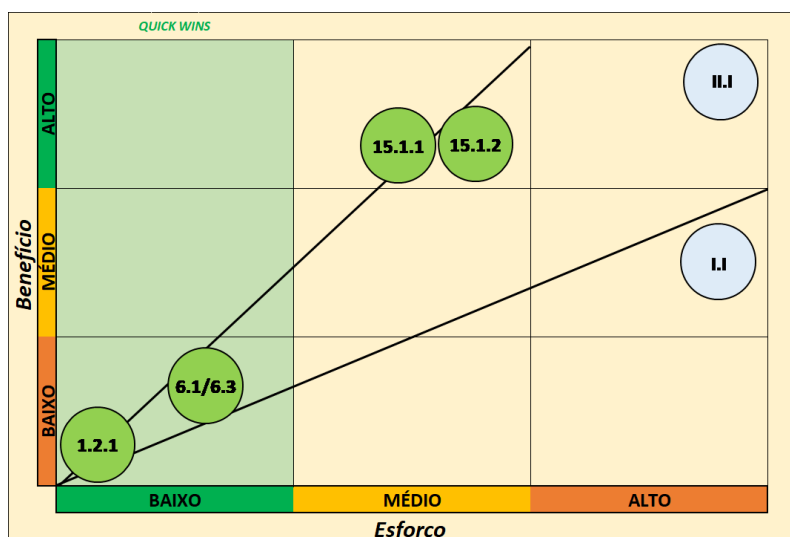


Figura 4.21 Matriz Benefício/Esforço das Ações de Melhoria a Implementar na SCC.

As AMI nº1.2.1 e nº6.1/6.3 são as que devem ser implementadas em primeiro lugar, pois foram consideradas *Quick Wins*, ou seja, aquelas que com baixo esforço permitem obter benefício. As AMI nº15.1.1/15.1.2 envolvem mais esforço, pois é necessário investimento em equipamento completamente novo e tecnologicamente recente, mas permitem eliminar 0,43% da QE Global do processo e ganhar 49 000 €/ano perdidos atualmente. As AMI nºI.I e nºII.I envolvem um elevado investimento, pois serão necessários vários fermentadores novos, exigindo alterações significativas no processo de fabricação. A AMI nºI.I pretende colmatar as OM nº8 a nº13, enquanto que a AMI nºII.I vai mais além e colmata as OM nº6 a nº13. Após discussão em equipa acerca da altura de implementação de cada AMI, construiu-se a Figura 4.22.

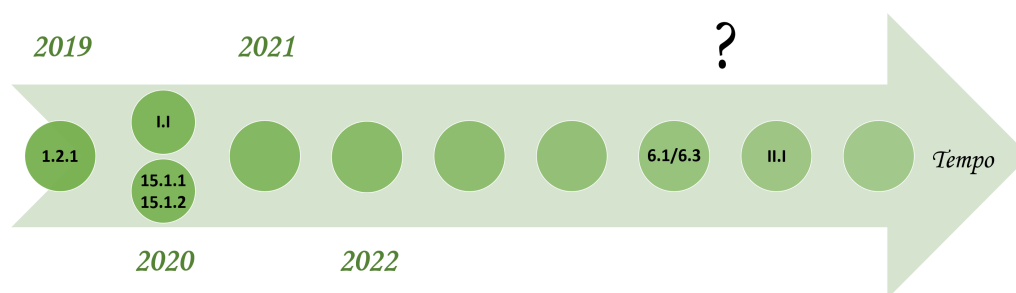


Figura 4.22 Momentos de implementação das AMI: AMI nº1.2.1 implementada em março de 2019; AMI nºI.I e nº15.1.1/15.1.2 com previsão de implementação em 2020; e AMI nº6.1/6.3 e nºII.I sem previsão de implementação.

Finalmente, o presente trabalho permitiu a implementação da AMI nº1.2.1 em março de 2019 e a antecipação, em 2 anos, da implementação da AMI nº15.1.1/15.1.2, tendo sido decidido no dia 09/10/2019 a sua inserção no CAPEX⁷ de 2020.



⁷O CAPEX (*Capital Expenditure*) refere-se à lista do plano de investimentos anual da SCC.

Conclusões e Perspetivas Futuras

O programa de gestão que define o *modus operandi* da Sociedade Central de Cervejas (SCC) e de todo o grupo Heineken, o *Total Productive Management*, fornece ferramentas versáteis, tais como o *Value Stream Mapping* (VSM) e o *Unified Problem Solving* (UPS), para o planeamento, organização, direção e controlo do trabalho desenvolvido, que teve por objetivo a redução da Quebra de Extrato (QE) global da empresa. A utilização do VSM é versátil no mapeamento dos processos da área de estudo (secção de Fermentação e Maturação de cerveja), na identificação de Oportunidades de Melhoria e na obtenção de informação relevante para cada Oportunidade de Melhoria. A versatilidade na aplicação do UPS é verificada na forma rápida e direta como são descobertas as causas-raiz dos problemas e pela forma como estas são convertidas em Ações de Melhoria, através das folhas de Análise de 5 Porquês utilizadas diariamente na SCC.

No decurso do trabalho foram identificadas 17 Oportunidades de Melhoria (OM) (Tabela 4.1), das quais 4 (OM n.º1, n.º6, n.º7 e n.º15) foram investigadas em pormenor e quantificadas (Tabela 4.6) em termos de impacto na Quebra de Extrato global do processo e custo envolvido na perda. A OM com maior impacto na QE Global do processo é a OM n.º15 (Perda de álcool após injeção de cerveja recuperada em mosto quente), identificada na secção de Recuperação de cerveja), com um impacto na QE global de —, correspondente a um custo monetário aproximado de —. Na secção de Centrifugação de cerveja foram quantificadas as OM n.º6 (Perda de cerveja pela purga de levedura pré-centrifugação) e OM n.º7 (Perda de cerveja pelas descargas de levedura da centrifugadora *Alfa Laval*), com impactos na QE Global de — aos quais correspondem custos monetários de —, respetivamente. A OM quantificada com menor impacto foi a OM n.º1 (Perda de extrato pelas purgas de água entre o arrefecimento de mosto de fabricos diferentes), identificada na secção de Arrefecimento de mosto, com um impacto na QE Global do processo de —, equivalente a um custo monetário de —.

A causa-raiz da OM n.º1 está relacionada com o *set-point* de extrato do sistema de controlo da purga efetuada entre o arrefecimento de mosto de fabricos diferentes. Como Ação de Melhoria sugeriu alterar-se o *set-point* de 10°P para 3°P (AMI n.º1.2.1), o que permitirá reduzir aproximadamente — na QE, traduzindo-se num ganho de —, correspondendo à diminuição de 89% do custo monetário da perda.

A causa-raiz da OM n.º6 está relacionada com o controlo manual da purga pré-centrifugação, pois é avaliada pelo operador através da leitura da turvação durante a purga, o que causa desperdícios de extrato diretamente para o esgoto. Como tal, sugeriu-se automatizar o início da transferência de cerveja do fermentador para os tanques de guarda e encaminhar

a matéria anteriormente purgada para o esgoto, para o tanque de recolha de descargas de levedura (AMI n.º6.1/6.3). A implementação desta AMI apresenta como mais valia a substituição do "olho humano" pelo sensor de turvação da centrífugadora *Alfa Laval*, sendo posteriormente necessária a definição do valor de *set-point* de turvação ideal que permite separar a matéria considerada como levedura e aquela considerada como cerveja.

A causa-raiz da OM n.º7 não foi encontrada devido à dificuldade no contacto com a empresa responsável pela assistência técnica à centrífugadora.

Em relação à OM n.º15 verificou-se que a causa-raiz do problema se detinha com o facto do Filtro Prensa não garantir a qualidade microbiológica da cerveja pela sua antiguidade, o que levou à necessidade de se injetar a cerveja recuperada em mosto quente. Desta forma, sugeriu-se a sua substituição por um equipamento completamente novo e com tecnologia recente. Pela pesquisa efetuada em termos de oferta no mercado, as tecnologias mais atrativas são a tecnologia *Sedicanter* ou a Filtração com membranas cerâmicas. A escolha da tecnologia a utilizar, bem como do equipamento em específico, deve ser efetuada após um estudo detalhado do sistema de recuperação de cerveja. Pela Matriz Benefício/Esforço foi possível priorizar a implementação das AMI. As AMI n.º1.2.1 e n.º6.1/6.3 foram consideradas *Quick Wins*, ou seja, AMI que trazem benefício à empresa e necessitam de pouco esforço. Foram ainda inseridos na Matriz dois projetos que se encontram atualmente nos planos da SCC (AMI n.ºI.I e n.ºII.I), que permitirão eliminar um conjunto de OM identificadas neste trabalho, pois requerem alterações significativas no processo de fabrico. Em termos de implementação, a AMI n.º1.2.1 foi implementada em março de 2019 a todas as receitas de cerveja, a AMI n.ºI.I tem previsão de implementação em 2020 e as AMI n.º15.1.1 e n.º15.1.2 têm previsão de implementação em 2022. Caso sejam implementadas todas as AMI sugeridas neste trabalho, conseguindo-se uma eliminação completa da quebra de extrato em cada ponto, obter-se-ia uma redução de aproximadamente 20% da quebra de extrato global evitável do processo verificada em 2018.

Em conclusão, realça-se a importância técnica e económica deste tipo de trabalhos visto que a Quebra de Extrato é um indicador relevante na indústria cervejeira. Prevê-se que futuros trabalhos com objetivos e estrutura idênticos introduzam valor acrescentado à SCC, descobrindo novas OM, investigando em pormenor as OM identificadas mas não quantificadas e propondo novas AM, corretivas ou preventivas, desde que sustentáveis e economicamente viáveis. Desta forma, juntos somos capazes de tornar nula a Quebra de Extrato evitável da SCC!

Durante o período de desenvolvimento do trabalho, o tema foi divulgado na SCC, em duas apresentações intercalares efetuadas à Direção Executiva e às equipas que compõem os vários Pilares da empresa, e no ISEL, numa apresentação intercalar efetuada à Comissão Coordenadora do Mestrado em Engenharia Química e Biológica. O tema foi ainda divulgado no "Fórum de Engenharia Química e Biológica 2019", através da apresentação de um póster científico, e no "ISEL ALIVE 2019", pela exposição do tema junto de jovens do ensino secundário (Apêndice B).



Referências

- [1] Sociedade Central de Cervejas e Bebidas. Apresentação de formação de colaboradores - Módulo de Fabricação de Cerveja e Malte - Academia da Cerveja. Vialonga, 2018.
- [2] Sociedade Central de Cervejas e Bebidas. Brochura de formação de colaboradores - Módulo de Qualidade - Academia da Cerveja. Vialonga, 2018.
- [3] Sociedade Central de Cervejas e Bebidas. Brochura de formação de colaboradores - Módulo de Fabricação de Cerveja e Malte - Academia da Cerveja. Vialonga, 2018.
- [4] Institute of Brewing and Distilling. The General Certificate in Brewing (GCB). Reino Unido, 2016.
- [5] Novozymes.
- [6] Sociedade Central de Cervejas e Bebidas. Documentos técnicos de operação. 2018.
- [7] Alfa Laval. Manual de Instruções - Permutador de Calor de Placas - FRONTLINE, BASELINE, M-LINE, CLIPLINE, TS6-MFMC.
- [8] ESAU&HUEBER. Turbo Family - World-wide established system to dissolve gases effectively in liquid. 2016.
- [9] Alfa Laval. Manual do Operador - Separadora de Alta Velocidade - BRPX 717SFV-31CGL. 2006.
- [10] Heineken. The history of Heineken. Holanda.
- [11] Heineken. Relatório anual 2018 - Heineken. Technical report, Holanda, 2018.
- [12] Sociedade Central de Cervejas e Bebidas. Sítio da Internet - Sociedade Central de Cervejas, Consultado em 10/01/2019, pelas 11h30min.
- [13] Seiichi Nakajima. Introduction to TPM: Total Productive Maintenance. 1988.
- [14] Heineken. TPM Introduction Video, 2018.
- [15] Heineken. One2share, 2019.
- [16] Heineken. Value Stream Mapping (VSM). Holanda, 2016.
- [17] Jennifer King Peter King. Value Stream Mapping for the Process Industries: Creating a Roadmap for Lean Transformation. 2015.
- [18] Heineken. Unified Problem Solving (UPS). Holanda, 2015.
- [19] Sociedade Central de Cervejas e Bebidas. Objetivos da cervejeira de Vialonga para 2019. 2018.

- [20] Heineken. ———. 2017.
- [21] Heineken. ———, 2018.
- [22] Neil Crosby. *General Principles of Good Sampling Practice*. 1995.
- [23] Sociedade Central de Cervejas e Bebidas. *Software de controlo de processo - Brewmaxx*, 2018.
- [24] Sociedade Central de Cervejas e Bebidas. *Diagramas de Instrumentação e Tubagens (P&ID's) da área de Fermentação e Maturação de cerveja*. 2018.
- [25] W. D. Herberg. *Recovery of beer from surplus yeast - System comparison of the separation technology used*. 2015.
- [26] Bucher unipektin. *CERINOX BR - Cross-flow filtration plant with ceramic membranes*.
- [27] GEA. *Beneficial system for beer recovery*.
- [28] Pall. *Keraflux - TFF System for yeast management*. 2015.
- [29] Centec. *Recovery of Beer from Yeast*.
- [30] Flottweg. *Flottweg Sedicanter - Discover New Potentials for Processing Fine and Pasty Products*. 2016.

Apêndice A

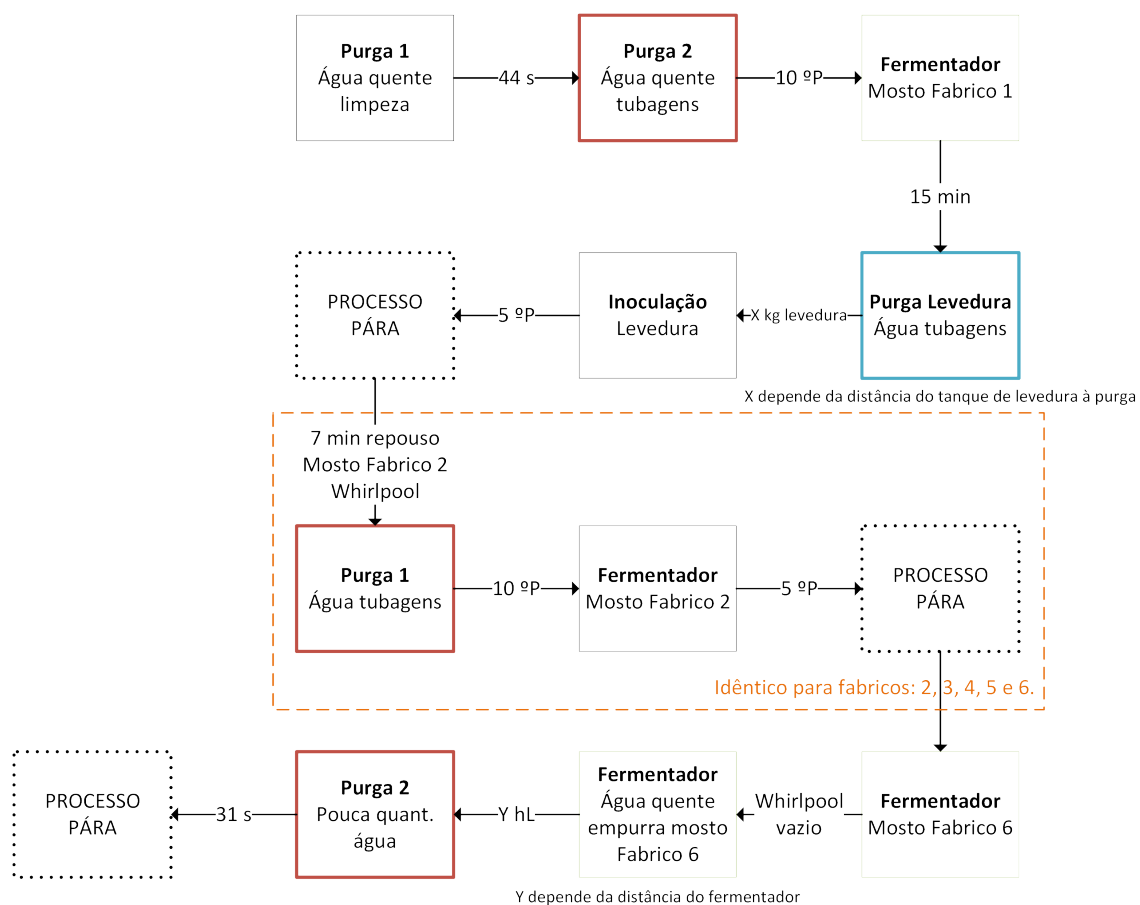
Arrefecimento de Mosto

A.1 Modo de Operação do Sistema de Purga

O modo de operação do sistema de purga foi obtido pelas gravações de vídeo do BMX. Um esquema do modo de operação encontra-se na Figura A.1.

De uma forma simplificada, a Purga 2 é utilizada unicamente para purgar a água presente nas tubagens antes do arrefecimento de mosto do fabrico nº1, e uma pequena quantidade de água no final do processo de arrefecimento dos 6 fabricos de mosto. A restante água do interior das tubagens é purgada antes do arrefecimento de mosto dos fabricos nº2 a nº5 [23].

Figura A.1 Modo de operação do sistema de purga na secção de Arrefecimento de mosto. Análise da gravação de vídeo por BMX no dia 4/12/2018 entre as 4 h:20 min e as 19 h:7 min [23].



A.2 Diferença entre as Leituras de Extrato obtidas pelo BMX e pelo Alcoalyzer

De modo a determinar-se a diferença média de E_o entre as leituras obtidas pelo BMX e pelo Alcoalyzer, no dia 04/12/2018, recolheram-se amostras da mistura purgada ao longo do tempo, na Sala 2, durante o arrefecimento de 6 fabricos de mosto de Sagres Branca. Todos os valores de E_o foram medidos e registados em tempos respetivos. Efetuou-se a diferença entre os valores obtidos pelo BMX e pelo Alcoalyzer e obteve-se uma diferença média de 1,16°P. Os dados obtidos encontram-se na Tabela A.1.

Tabela A.1 Diferença entre os valores de E_o obtidos pelo BMX e pelo Alcoalyzer.

t (min:s)	E_o Alcoalyzer (°P)	E_o BMX (°P)	Diferença E_o
00:30	0,11	1,34	1,23
01:00	0,11	1,31	1,20
01:30	0,05	1,30	1,25
02:00	0,43	1,47	1,04
02:30	14,05	15,13	1,08
		<i>Média</i>	<i>1,16</i>

A.3 Desvio da Curva de Tendência relativamente aos Valores Experimentais de E_o

Os valores experimentais de E_o compreendem os valores obtidos pelo Alcoalyzer e pelo BMX devidamente corrigidos. Os valores experimentais, os valores ajustados (curva de tendência) e os respetivos desvios percentuais, para cada fabrico de mosto, encontram-se nas Tabelas A.2 a A.7. O desvio percentual médio dos 6 fabricos foi 22,7%.

Tabela A.2 Desvio percentual médio de E_o entre os valores experimentais e os valores ajustados pela curva de tendência, correspondentes ao arrefecimento do fabrico de mosto n°1 de Sagres Branca na Sala 2.

t (s)	E_o experimental (°P)	E_o ajustado (°P)	Desvio (%)
0	0,536	0,344	35,8
1	1,36	1,48	9,2
2	1,36	2,52	85,9
3	4,85	3,46	28,5
4	4,85	4,31	11,1
5	4,63	5,05	9,2
6	4,63	5,70	23,2
7	6,92	6,25	9,7
		<i>Média</i>	<i>26,6</i>

Tabela A.3 Desvio percentual médio de E_o entre os valores experimentais e os valores ajustados pela curva de tendência, correspondentes ao arrefecimento do fabrico de mosto n°2 de Sagres Branca na Sala 2.

t (s)	E_o experimental (°P)	E_o ajustado (°P)	Desvio (%)
0	0,310	0,561	81,0
1	0,825	0,518	37,3
2	0,825	0,750	9,0
3	1,44	1,26	12,4
4	1,44	2,04	42,2
5	3,77	3,11	17,5
6	3,77	4,44	18,0
7	6,37	6,06	4,9
<i>Média</i>			27,8

Tabela A.4 Desvio percentual médio de E_o entre os valores experimentais e os valores ajustados pela curva de tendência, correspondentes ao arrefecimento do fabrico de mosto n°3 de Sagres Branca na Sala 2.

t (s)	E_o experimental (°P)	E_o ajustado (°P)	Desvio (%)
0	0,310	0,244	21,3
1	0,524	0,452	13,8
2	0,524	0,772	47,3
3	1,40	1,20	13,8
4	1,40	1,75	25,2
5	2,75	2,41	12,3
6	2,75	3,18	15,8
7	4,77	4,06	14,8
8	4,77	5,06	6,1
9	6,12	6,17	0,8
<i>Média</i>			17,1

Tabela A.5 Desvio percentual médio de E_o entre os valores experimentais e os valores ajustados pela curva de tendência, correspondentes ao arrefecimento do fabrico de mosto n°4 de Sagres Branca na Sala 2.

t (s)	E_o experimental (°P)	E_o ajustado (°P)	Desvio (%)
0	0,403	0,684	69,7
1	1,25	0,909	27,5
2	1,25	1,37	9,6
3	2,69	2,08	22,7
4	2,69	3,02	12,4
5	3,49	4,21	20,4
6	6,13	5,63	8,1
		<i>Média</i>	<i>24,3</i>

Tabela A.6 Desvio percentual médio de E_o entre os valores experimentais e os valores ajustados pela curva de tendência, correspondentes ao arrefecimento do fabrico de mosto n°5 de Sagres Branca na Sala 2.

t (s)	E_o experimental (°P)	E_o ajustado (°P)	Desvio (%)
0	0,316	0,262	17,1
1	0,698	0,622	10,9
2	0,70	1,23	75,9
3	2,69	2,08	22,8
4	2,69	3,18	18,0
5	5,33	4,52	15,1
6	5,33	6,11	14,8
7	8,21	7,95	3,1
		<i>Média</i>	<i>22,2</i>

Tabela A.7 Desvio percentual médio de E_o entre os valores experimentais e os valores ajustados pela curva de tendência, correspondentes ao arrefecimento do fabrico de mosto n°6 de Sagres Branca na Sala 2.

t (s)	E_o experimental (°P)	E_o ajustado (°P)	Desvio (%)
0	0,536	0,415	22,6
1	0,536	0,688	28,4
2	1,30	1,16	10,4
3	1,30	1,84	42,0
4	3,37	2,73	18,9
5	3,37	3,81	13,3
6	5,88	5,10	13,2
7	5,88	6,60	12,3
8	8,50	8,29	2,5
		<i>Média</i>	<i>18,2</i>



Apêndice B

Divulgação do Trabalho

O presente trabalho decorreu entre outubro de 2018 e outubro de 2019. Durante este período, o tema do trabalho foi divulgado nas seguintes vertentes na Sociedade Central de Cervejas (SCC) e no Instituto Superior de Engenharia de Lisboa (ISEL).

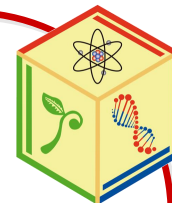
- **B.1: Formação de Colaboradores – SCC** (15/10/2018 a 26/10/2018)
- **B.2: Fórum de Engenharia Química e Biológica 2019 – ISEL** (07/05/2019 a 09/05/2019)
- **B.3: ISEL ALIVE 2019** (03/07/2019)
- **B.4: Apresentações Intercalares – ISEL e SCC** (12/04/2019, 23/04/2019 e 24/07/2019)

B.1 Formação de Colaboradores – SCC

No início do estágio na Sociedade Central de Cervejas tive a oportunidade de ser inserido numa formação inicial de cerca de 20 colaboradores da área de Enchimento de cerveja, entre os dias 15/10/2018 e 26/10/2018. Os capítulos abordados na formação encontram-se de seguida: **1)** Fabricação de cerveja; **2)** Produção de utilidades; **3)** Qualidade; **4)** Inovação e Desenvolvimento da embalagem; **5)** Segurança e Ambiente e **6)** Enchimento de cerveja.

B.2 Fórum de Engenharia Química e Biológica 2019 – ISEL

O "Fórum de Engenharia Química e Biológica" é um evento organizado anualmente pelos alunos de Engenharia Química e Biológica do ISEL, com o intuito de divulgar projetos recentes na área da Engenharia Química e Biológica de empresas externas, bem como dos projetos de Investigação e Desenvolvimento realizados no ISEL. Para o efeito, foi realizado o seguinte póster científico de forma a divulgar o presente trabalho no "Fórum de Engenharia Química e Biológica 2019".



1. Resumo

Nos processos cervejeiros, o extrato corresponde à quantidade de açúcares extraídos dos cereais (matérias-primas) durante a etapa de fabricação de mosto. A contabilização do extrato é a forma mais objetiva de se quantificar o mosto ou a cerveja a processar. A quebra de extrato corresponde ao extrato perdido em determinado processo ou sistema. A redução da quebra de extrato é um objetivo de elevada prioridade para a Sociedade Central de Cervejas, logo após a abolição dos acidentes de trabalho, o objetivo de primeira prioridade, pois cada unidade percentual da quebra de extrato global traduz-se numa perda de milhares de euros para a empresa. O trabalho tem como objetivo principal a redução da quebra de extrato na área de Fermentação e Maturação de cerveja.

2. Enquadramento e Estado-de-arte

A Heineken é o segundo maior grupo cervejeiro do mundo, detentor de cerca de 170 cervejeiras, malterias, fábricas de produção de sidra, entre outras instalações de produção, de modo a gerir mais de 300 marcas[1]. A Sociedade Central de Cervejas (SCC), em Vialonga, é a única cervejeira do Grupo Heineken em Portugal. Atualmente, são várias as cervejas comercializadas pela SCC, como a Sagres Branca, que corresponde à grande maioria das vendas da SCC.

O objetivo de maior prioridade para a SCC é abolir os acidentes de trabalho, estando logo de seguida a redução da quebra de extrato nos processos de fabricação, pois cada unidade percentual de quebra de extrato equivale a uma perda de milhares de euros. A quebra de extrato não pode ser nula devido aos limites impostos pela tecnologia e receitas aplicadas. A quebra de extrato mínima é denominada por limite tecnológico, sendo este calculado a partir do *Extract Loss Benchmark Model* (EBM)[2], um modelo desenvolvido pela Heineken. A quebra de extrato evitável atualmente na SCC corresponde a 33% do total, face ao limite tecnológico.

O trabalho decorrente tem como objetivo a redução da quebra de extrato global do processo de fabricação de cerveja da SCC, tendo como foco exclusivamente a área de Fermentação e Maturação de cerveja.

3. Materiais e Métodos

O plano de trabalho é descrito em 5 etapas sequenciais (Figura 1).



Figura 1 Plano de trabalho.

1. Estado-de-Arte Atual – A primeira etapa inclui a compreensão e adaptação dos objetivos e metodologias do trabalho ao estado de arte da SCC e do negócio cervejeiro.

2. Processo de Fabricação – Segue-se o estudo aprofundado do processo de fabricação de cerveja, tendo em consideração as particularidades do processo utilizado na SCC.

3. Fermentação e Maturação – Definida a área de estudo (Fermentação e Maturação de cerveja), recorre-se à metodologia *Value Stream Mapping* (VSM)[3] de forma a mapear o processo segundo simbologia própria, por contacto direto da equipa com produtos e equipamentos.

4. Oportunidades de Melhoria – A equipa de trabalho percorre o percurso inverso ao do fluxo de matéria e identifica os pontos no processo onde ocorre perda significativa de mosto, cerveja, levedura ou ainda água com extrato residual, aos quais são denominados Pontos de Quebra de Extrato, ou seguindo a metodologia VSM, Oportunidades de Melhoria (OM). As Oportunidades de Melhoria são listadas, priorizadas e posteriormente quantificadas. A quantificação é realizada com base na massa de extrato perdida, no custo associado à perda e no impacto de cada OM na quebra de extrato global do processo de fabricação.

5. Ações de Melhoria – Cada OM é convertida em uma ou mais Ações de Melhoria (AM), através de Análises RCFA (*Root Cause Failure Analysis*), ou comumente designadas Análises de 5 Porquês. Esta ferramenta foi utilizada dentro da metodologia *Unified Problem Solving* (UPS)[4].

4. Resultados e Discussão

Na Figura 2 encontram-se representadas as secções onde foram identificados um ou mais PQE (ou OM).

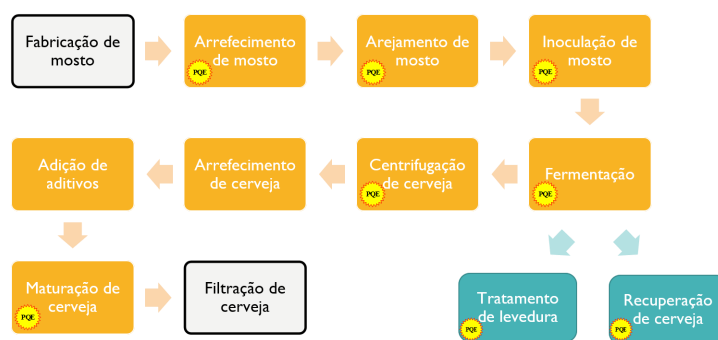


Figura 2 Value Stream Map e secções de processo onde foram identificados um ou mais Pontos de Quebra de Extrato.

Na totalidade foram identificadas 17 OM, das quais apenas 4 foram quantificadas. Para cada OM quantificada obtiveram-se várias AM, que posteriormente foram analisadas. Daqui surgiram as Ações de Melhoria a Implementar (AMI), ou seja, as AM que reuniram as condições necessárias para serem implementadas na SCC. As AMI foram introduzidas numa matriz benefício-esforço de modo a concluir-se acerca da sua implementação.

5. Conclusões e Perspetivas futuras

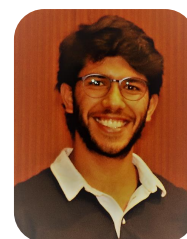
Finalmente, foram sugeridas 3 AMI, cada uma para aplicação nas seguintes secções de processo: Arrefecimento de mosto, Clarificação de cerveja e Recuperação de cerveja.

A implementação da AMI sugerida para a secção de Arrefecimento de mosto foi realizada em março de 2019, e implicou um ganho de 2 400 €/ano, correspondentes a um impacto em 0,1% na QE global do processo. A AMI sugerida para a secção de Recuperação de cerveja foi antecipada em 2 anos no Plano de Investimentos da SCC, por implicar um ganho de 49 000 €/ano, correspondentes a um impacto em 0,43% na QE global do processo.

Prevê-se que futuros trabalhos com objetivos e estrutura idênticos ao presente trabalho tenham enorme valor acrescentado à SCC, pois é necessário investigar em pormenor as OM identificadas e não quantificadas, descobrirem-se novas OM e proporem-se novas AM, corretivas ou preventivas, desde que sustentáveis.

6. Referências

- [1] *Relatório Anual*, Heineken, 2018
- [2] *Extract Loss Benchmarking Model*, Centro de Excelência de Quebra de Extrato, Heineken
- [3] *Value Stream Mapping – Introduction and overview*, Heineken, 2016
- [4] *Unified Problem Solving – Approach*, Heineken, 2015



Francisco João Noronha dos Santos
Mestrando de Engenharia Química e Biológica
Instituto Superior de Engenharia de Lisboa
fjs95@gmail.com

B.3 ISEL ALIVE 2019

O "ISEL ALIVE" é um curso de verão destinado aos jovens do ensino secundário. No decorrer do curso, no dia 03/07/2019, ocorreu a sessão "Os trabalhos que cá se fazem!", na qual foi divulgado o tema "Quebra de extrato na fabricação de cerveja". Foi realizada uma atividade informal com o objetivo de demonstrar os conhecimentos que um aluno finalista adquire no final do curso. No final do evento pediu-se aos alunos que respondessem à pergunta:

"O que é a Quebra de Extrato?".

Destacaram-se as seguintes respostas:

- *"Quebra de Extrato são os açúcares que se perdem no processo produtivo."*
- *"A Quebra de Extrato é a perda dos açúcares extraídos dos cereais."*
- *"A Quebra de Extrato corresponde à perda de açúcares durante o processo de criação de cerveja, mais precisamente, durante o processo anterior à levedura. Representa uma grande perda a nível económico."*
- *"A Quebra de Extrato é a perda de açúcares que por sua vez origina perda de álcool e CO₂, perdendo reutilização na produção."*

Algumas fotografias do evento encontram-se nas Figuras B.1 e B.2.



Figura B.1 Apresentação do trabalho aos estudantes do ensino secundário, na sessão "Os trabalhos que cá se fazem!" do curso de verão "ISEL ALIVE 2019", no dia 03/07/2019.



Figura B.2 Participantes na sessão "Os trabalhos que cá se fazem!" do curso de verão "ISEL ALIVE 2019", no dia 03/07/2019.

B.4 Apresentações Intercalares – ISEL e SCC

Ao longo do ano foram realizadas três apresentações intercálres do trabalho: uma apresentação à Comissão Coordenadora do Mestrado em Engenharia Química e Biológica do ISEL, no dia 12/04/2019, e duas apresentações à Direção Executiva da Sociedade Central de Cervejas, nos dias 23/04/2019 e 24/07/2019. Nas Figuras B.3 e B.4 estão representados os elementos que assistiram às apresentações na SCC. Nas secções posteriores encontram-se os ficheiros apresentados.



Figura B.3 Participantes na 1ª apresentação intercalar do trabalho, na Sociedade Central de Cervejas, no dia 23/04/2019.



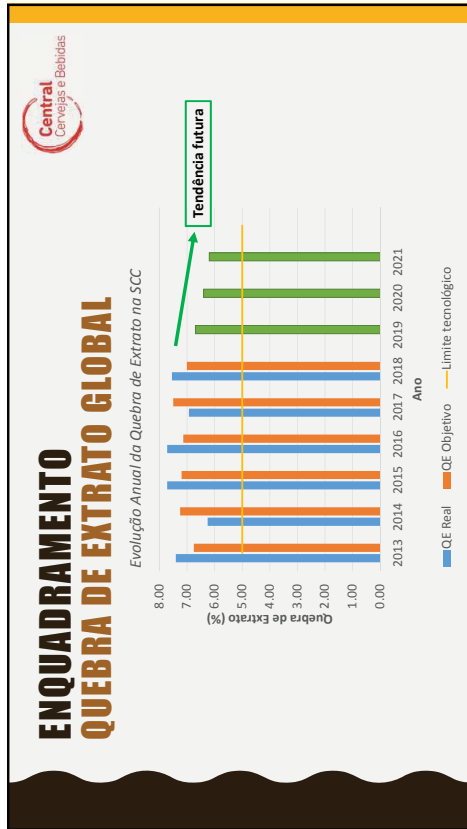
Figura B.4 Participantes na 2ª apresentação intercalar do trabalho, na Sociedade Central de Cervejas, no dia 24/07/2019.



-6-



-8-



-5-



-7-

DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO
PONTOS DE QUEBRA DE EXTRATO
IDENTIFICAÇÃO POR VALUE STREAM MAPPING (VSM)

Central Cervejas e Bebidas

-9-

DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO
ADEGAS
QUANTIFICAÇÃO DOS PONTOS DE QUEBRA DE EXTRATO

Central Cervejas e Bebidas

Legenda:
 ● Quebra de extrato
 ● Custo anual
 ● Benefício ganho
 ● Ponto de Quebra de Extrato

-10-

ISEL
 INSTITUTO DE GESTÃO E INOVAÇÃO EM SISTEMAS DE GESTÃO

OBRIGADO!

Central Cervejas e Bebidas

FRANCISCO NORONHA DOS SANTOS

-11-

23 ABRIL 2019

ISEL
INSTITUTO SUPERIOR DE
ENGENHARIA DE LISBOA

Central
Cervejas e Bebidas

QUEBRA DE EXTRATO
FABRICAÇÃO DE CERVEJA

FRANCISCO NORONHA DOS SANTOS
APRESENTAÇÃO INTERCALAR

Com orientação de:
Petro Vicente
Teodoro Trindade

-1-

APRESENTAÇÃO PESSOAL

24 anos

Belas

Francisco Noronha dos Santos

Engenharia Química e Biológica

Tese de Mestrado

ISEL

-2-

AGENDA

- Enquadramento
- Tema e Plano de Trabalho
- Desenvolvimento do Trabalho
- Contributo para a Empresa e para o Negócio
- Contribuição da Empresa



-3-

ENQUADRAMENTO OBJETIVOS DA CERVEJEIRA PARA 2019

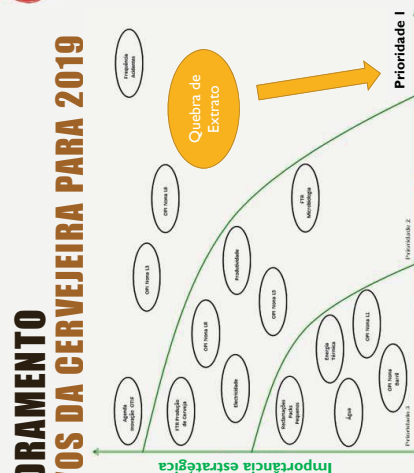
Quebra de Extrato

Importância estratégica

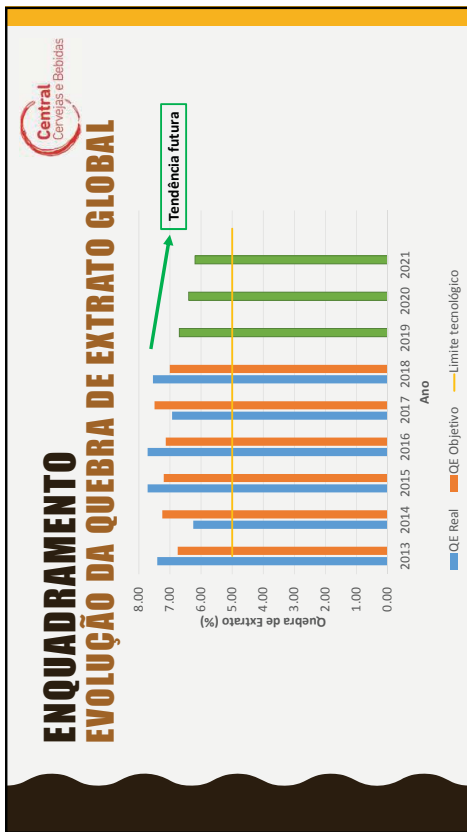
Prioridade I

Prioridade II

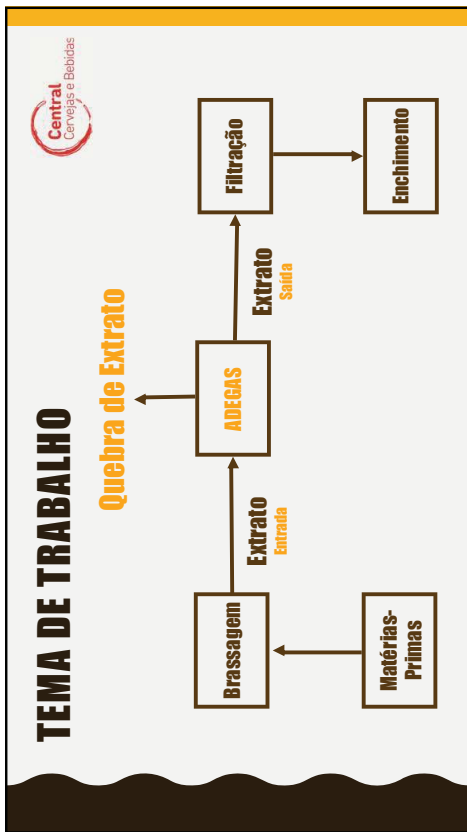
Diferença 2018 (valor real) e 2019 (valor objetivo)



-4-



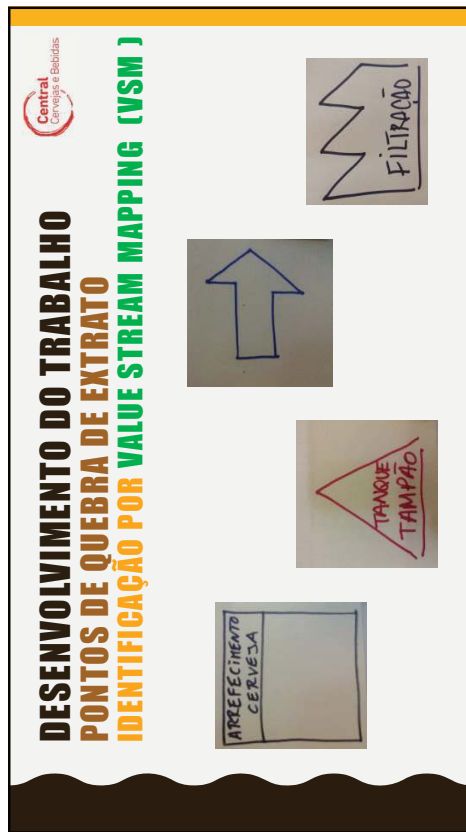
-5-



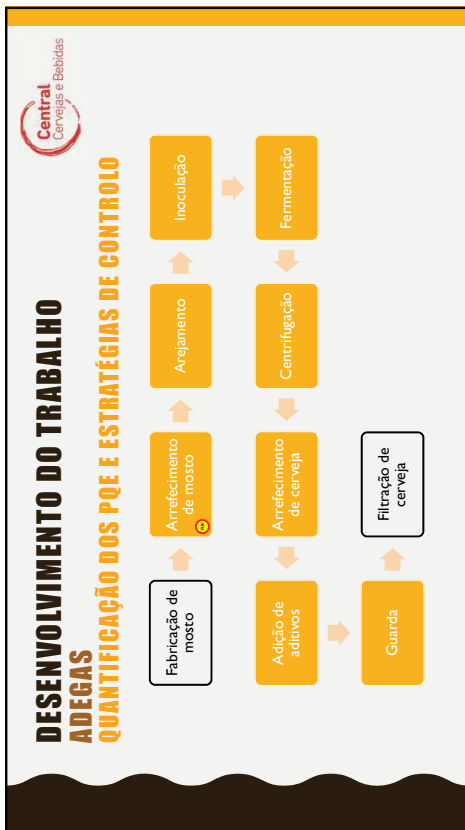
-6-



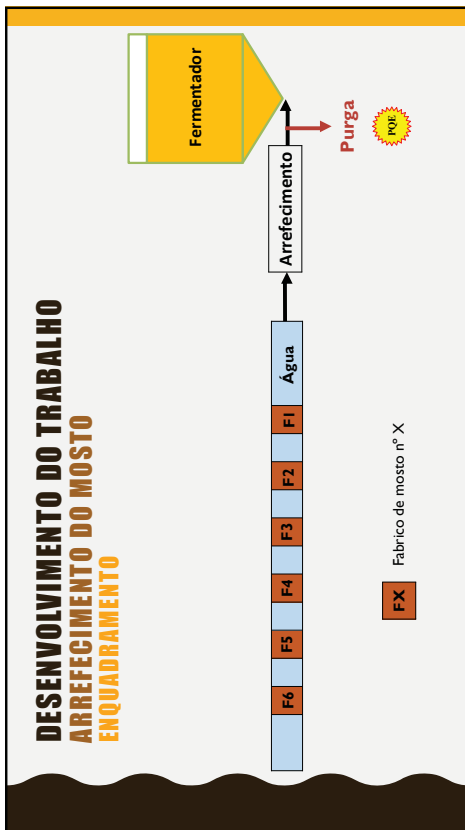
-7-



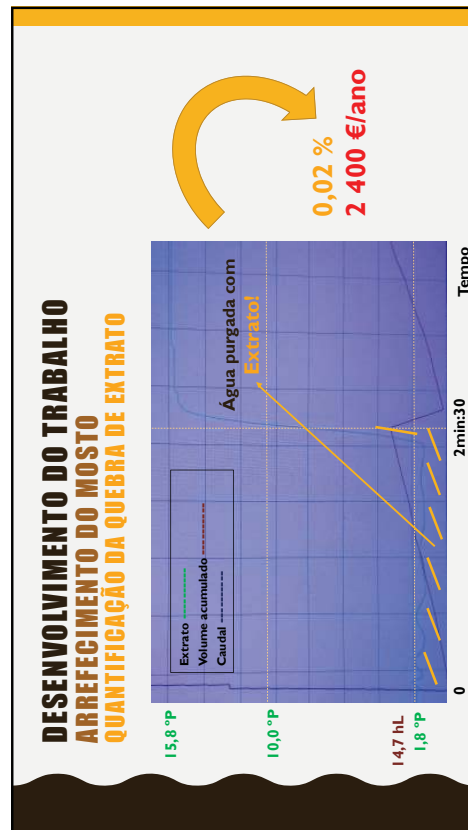
-8-



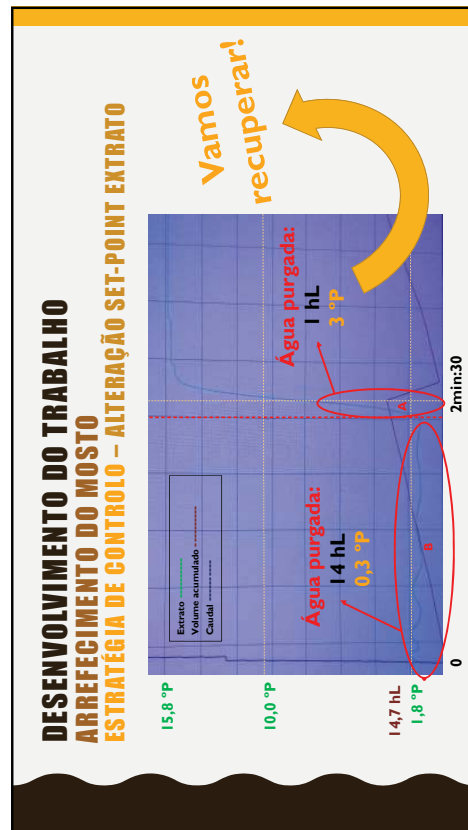
- 9 -



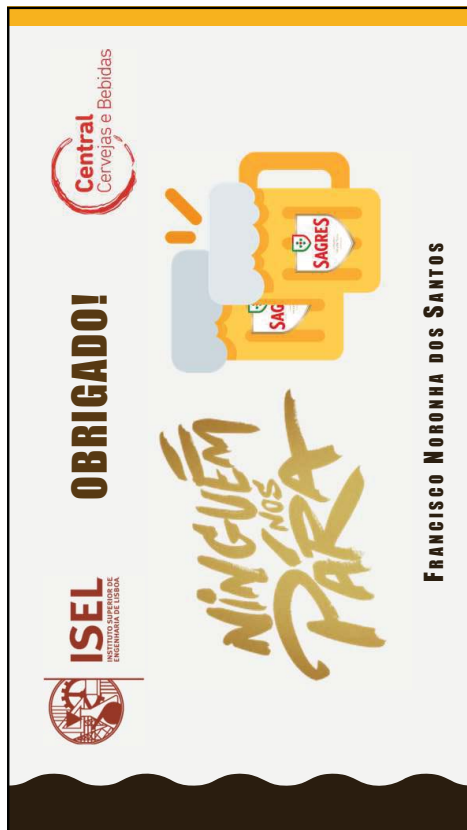
- 10 -



- 11 -



- 12 -



-17-

Central
Cervejas e Bebidas

QUEBRA DE EXTRATO

FABRICAÇÃO DE CERVEJA

FRANCISCO NORONHA DOS SANTOS
APRESENTAÇÃO FINAL

Com orientação de:
Petro Vicente
Teodoro Trindade

24 JULHO 2019

-1-

APRESENTAÇÃO PESSOAL

24 anos

Belas

Francisco Noronha dos Santos

Central Cervejas e Bebidas
Ouro 18 - Ago 19

Tese de Mestrado

Engenharia Química e Biológica

-2-

AGENDA

- **Enquadramento**
- **Tema e Plano de Trabalho**
- **Desenvolvimento do Trabalho**
- **Conclusões do Trabalho**
- **Contributo para a Empresa e para o Negócio**
- **Contribuição da Empresa**

-3-

ENQUADRAMENTO TOTAL PRODUCTIVE MANAGEMENT

PILARES DE HABILITAÇÃO

- Pilar Segurança (SM)
- Pilar Qualidade (PQ)
- Pilar Manutenção (PM)
- Pilar Desenvolvimento de Pessoas/Organização (PDO)
- Pilar Sustentabilidade do Ambiente (ES)
- Pilar Materiais de Enchimento/Berçeves (BPM)
- Pilar Gestão Equipamento de Produção/Linha (P&EEM)

PILAR EQUIPA DE LIDERANÇA

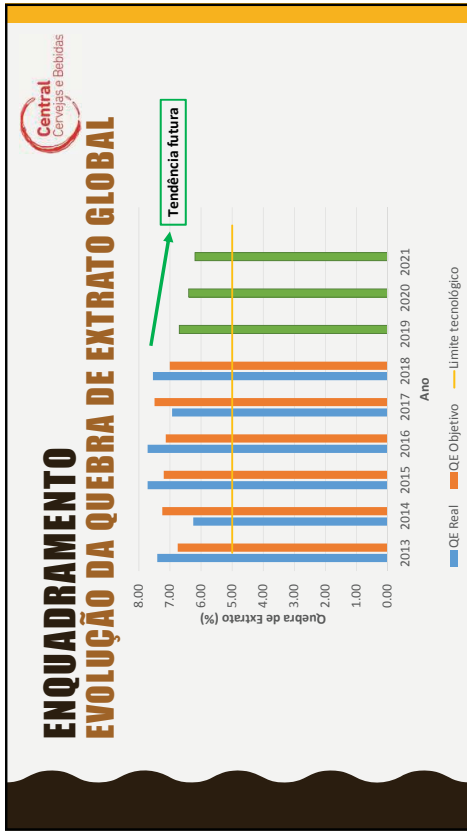
Roberto EZE (Gestão de Desempenho / Gestão da Manutenção / Excelência Operativa)

PILARES CENTRAIS

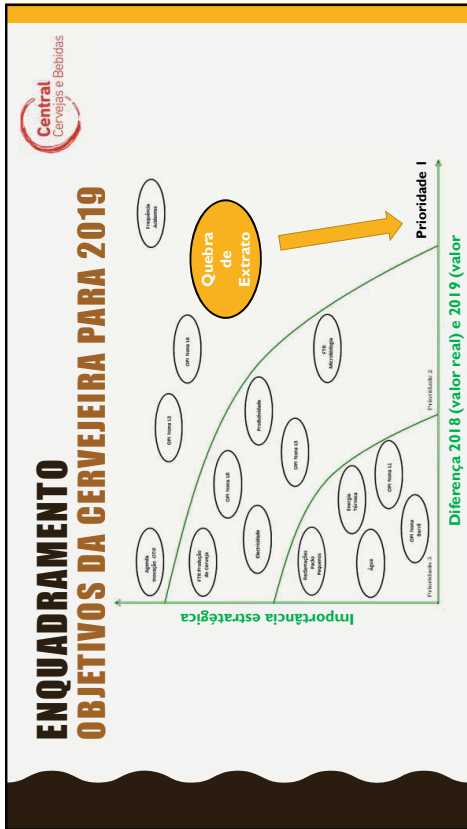
- Pilar Valor do Fornecedor
- Pilar GA Utilidades
- Pilar GA Cervejeira
- Pilar GA Enchimento
- Pilar Plano
- Pilar Armazém & Transporte
- Pilar Valor do Cliente

Fundamentos TPM (SS, DCS, UPS, YSM, BPO, VM & Podfrees)

-4-



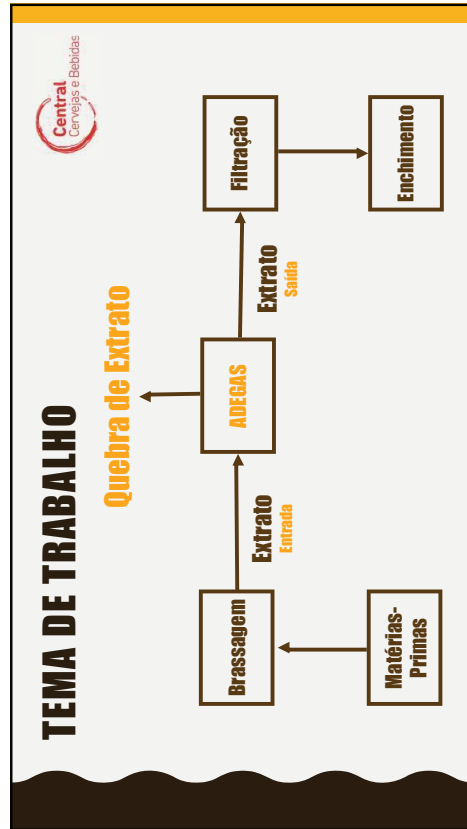
- 6 -



- 5 -



- 8 -



- 7 -

DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO METODOLÓGICAS TPM
MAPEAMENTO DE PROCESSO E IDENTIFICAÇÃO DE PQE

Processo

Fluxo de matéria

FILTRAÇÃO

Fornecedor/Client e

Inventário

Value Stream Mapping (VSM)

- 9 -

DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO METODOLÓGICAS TPM
IDENTIFICAÇÃO DE CAUSAS RAÍZ E IMPLEMENTAÇÃO DE AÇÕES MELHORIA

Descrição do Problema

Restauração da Condição Básica

Análise da Causa Raiz
Análise de 5 Porquês

Implementação da Ação de Melhoria

Verificação da Ação Implementada

Padronização

Unified Problem Solving (UPS)

- 10 -

DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO ADEGAS
MAPEAMENTO DE PROCESSO E QUANTIFICAÇÃO DOS PQE

Fabricação de mosto

Adição de aditivos

Guarda

Arrefecimento de mosto

Arejamento

Inoculação

Fermentação

Recuperação de cerveja

Tratamento de levedura

Arrefecimento de cerveja

Centrifugação

Filtração de cerveja

Ponto Quebra Extrato

- 11 -

DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO ARREFECIMENTO DO MOSTO
ESTRATÉGIA DE CONTROLO – ALTERAÇÃO DO SET-POINT EXTRATO

Volume água adicionado

Set-point Extrato (EP)

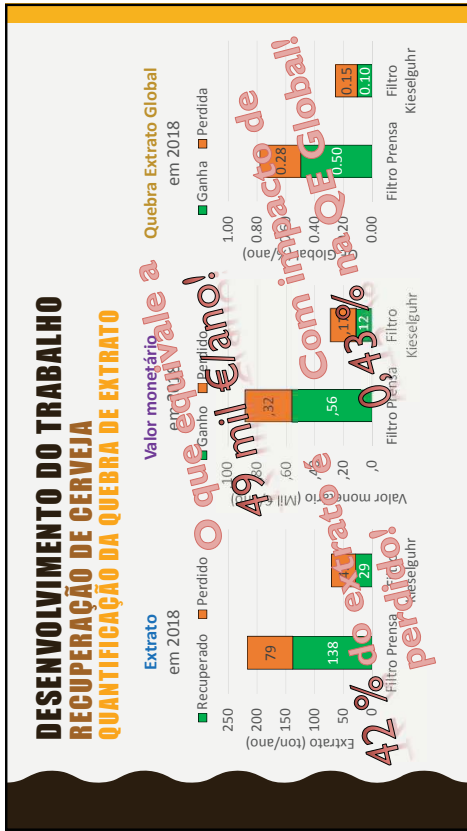
Quebra de extrato
2,5 ton / ano

3 hl / fermentador

Set-point Extrato (EP)

Sala 1 • Sala 2 • Linear (Sala 1) • Linear (Sala 2)

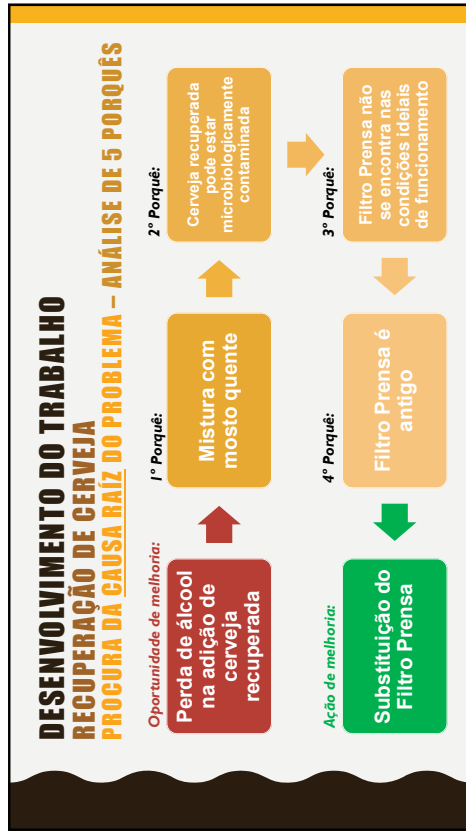
- 12 -



- 17 -



- 18 -



- 19 -



- 20 -

DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO RECUPERAÇÃO DE CERVEJA ESTRATÉGIAS DE CONTROLO – TECNOLOGIA

Filtração com membranas cerâmicas

Sedicanter

- > Melhor processamento mistura leveduras;
- > Menores custos manutenção;
- > Requer instalação própria de CIP.

- > Requer pouco espaço de instalação;
- > Menores custos operação.

- 21 -

DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO ADEGAS QUANTIFICAÇÃO DOS PQE E ESTRATÉGIAS DE CONTROLO

Central
Cervejas e Bebidas

Monte Quebra Extrato

- 0,03 %
- 3 800 €/ano
- 0,07 %
- 7 600 €/ano
- 0,08 %
- 9 600 €/ano
- 0,43 %
- 49 000 €/ano

- 22 -

CONCLUSÕES DO TRABALHO OPORTUNIDADES VS AÇÕES DE MELHORIA

Oportunidade de melhoria	Ação de melhoria
1. Perda de mosto diluído na purga	1. Redução do set-point de extrato de 10 sp para 3 sp
2. Sobre-arejamento do mosto	2.1 Validação da contra-pressão 2.2 Ajuste da válvula moduladora do sistema de injeção de ar 2.3 Injeção de O ₂ /Ar no Permutador de Calor de Arrefecimento do Mosto 2.4 Arejamento com O ₂ puro
6. Perda de cerveja na purga de levedura	6.1 Automatização do sistema de purga e recolha de levedura para a lanqueta 6.2 Colocação de sistema de armazenamento da purga para posterior re-injeção 6.3 Re-homogeneização do caldo fermentativo por borbulhamento com CO ₂ no fermentador 6.4 Purga de levedura perto do fermentador
8 a 11. Perda de cerveja nas descargas de levedura	7. Optimização da centrifugadora
15. Perda de álcool por adição de cerveja recuperada ao mosto quente	8 a 13. Projeto de novos fermentadores
6 a 11. Perdas na fermentação e maturação de cerveja	14.1 Substituição do Filtro Prensa por Sedicanter 15.2 Substituição do Filtro Prensa por Filtro de Membranas Cerâmicas
	6 a 13 Uni-Processo

- 23 -

CONCLUSÕES DO TRABALHO OPORTUNIDADES VS AÇÕES DE MELHORIA

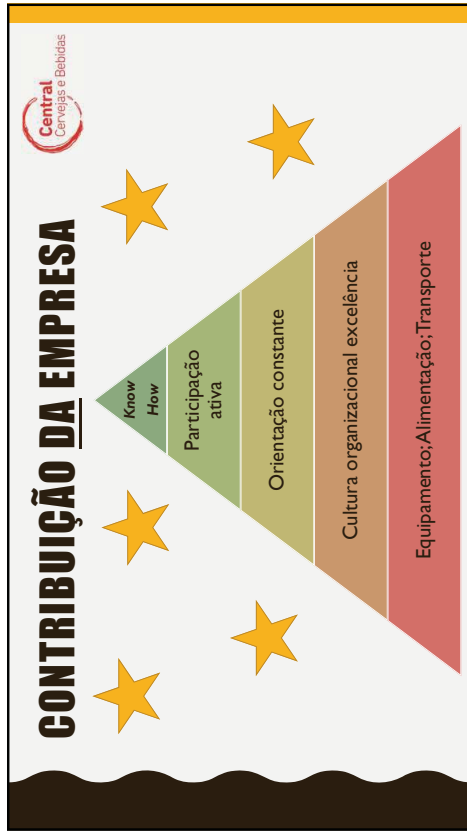
Benefício (BAIXO, MÉDIO, ALTO)

Esforço (BAIXO, MÉDIO, ALTO)

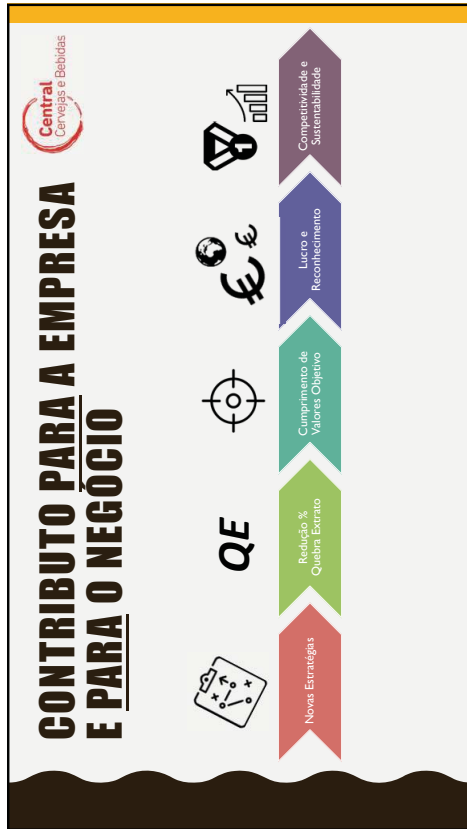
Grupos de Ações:

- Grupos 1, 2.1, 2.2, 2.3, 2.4, 6.1, 6.2, 6.3, 6.4, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15

- 24 -



- 26 -



- 25 -

ISEL
INSTITUTO DE GESTÃO E INOVAÇÃO

OBRIGADO!

Central Cervejas e Bebidas

NINGUÉM NOS PARA

FRANCISCO NORONHA DOS SANTOS

The infographic features the ISEL logo on the left and the Central Cervejas e Bebidas logo on the right. In the center, there is a large, stylized graphic of a beer mug with the text 'NINGUÉM NOS PARA' written across it in a bold, hand-drawn font. Below the mug, the name 'FRANCISCO NORONHA DOS SANTOS' is written. The background has a wavy bottom edge.

- 27 -