



Estudo da variabilidade e redução de oxigénio e dióxido de carbono na cerveja

JOÃO PEDRO BALTAZAR SEIXAS

novembro de 2020



ESTUDO DA VARIABILIDADE E REDUÇÃO DO TEOR DE OXIGÉNIO E DIÓXIDO DE CARBONO NA CERVEJA

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

João Seixas 1150872

Empresa : Super Bock Group

Orientadores Isep:

Hendrikus Nouws

Gilberto Pinto

Orientadora Empresa:

Ana Bela Pinheiro

Outubro 2020

Agradecimentos

Agradeço, em primeiro lugar, ao ISEP por me proporcionar as ferramentas necessárias para a obtenção do grau de Mestre, pelo acompanhamento e pelo ensino ao longo destes 5 anos.

Agradeço também à empresa Super Bock Group, pela oportunidade dada e pelas excelentes condições proporcionadas ao longo destes meses.

Aos Engenheiros Hendrikus Nouws e Gilberto Pinto pelo apoio, dedicação e disponibilidade demonstrados ao longo da elaboração da dissertação.

À Engenheira Ana Bela Pinheiro e todos os membros do departamento de Enchimento do Super Bock Group, pela experiência e apoio que me foram proporcionados.

Por fim, à minha família pelo apoio, força e incentivo transmitidos durante todo o percurso.

Sumário

O presente trabalho teve como objetivo estudar a variabilidade e redução do teor de oxigênio e dióxido de carbono em garrafas de vidro cheias com cerveja e propor ações corretivas para resolver este problema. Para isso, foi estabelecida uma rotina de extração de dados do equipamento Haffmans, que mede o teor de oxigênio e dióxido de carbono nas garrafas. Os valores retirados foram avaliados para todas as linhas de enchimento de garrafas de vidro, bem como analisados para os diferentes tipos de produtos produzidos.

Após a análise dos resultados obtidos, verificou-se que os produtos marca B 33 TP, marca B preta, marca C 33 TP, marca C sem álcool 33 TP e marca C Preta 33 TP apresentaram um elevado número de medições de TPO (total de oxigênio na embalagem) acima do limite máximo, no que diz respeito ao teor de oxigênio.

Em relação aos valores de dióxido de carbono, conclui-se que os produtos marca B 1 1L, marca C 33 TP e marca C sem álcool 33 TP apresentaram um número de medições consideráveis fora do intervalo estabelecido.

Nem todos os objetivos inicialmente definidos para a presente dissertação foram atingidos, porque o estágio foi interrompido devido à situação atual. Assim, não foi possível estudar as possíveis origens dos valores irregulares encontrados, o que conseqüentemente não permitiu desenvolver ideias corretivas para o problema apresentado.

Palavras Chave: Cerveja, Oxigênio, Haffmans, Enchimento; Dióxido de Carbono

Abstract

This work intended to study the variability and reduction of oxygen and carbon dioxide content in glass bottles filled with beer and to propose corrective actions to solve this problem. A routine was established to extract the data from the Haffmans apparatus, a device that measures the oxygen and carbon dioxide content in the bottles. The data was analysed for all the filling lines of glass bottles, as well as for the different types of products produced.

Regarding the oxygen content, it was found that the products brand B 33 TP, brand B black beer, brand C 33 TP, brand C without alcohol 33 TP and brand C black beer 33 TP showed an high number of TPO (total packaged oxygen) measurements above the maximum limit.

Regarding the carbon dioxide content, the products brand B 1L, brand C 33 TP and brand C without alcohol 33 TP showed a high number of measurements outside the established range.

Not all the originally assigned objectives of this dissertation were completed, because of the interruption duo to the current situation. Therefore, it was not possible to study the possible origins of the irregular oxygen and carbon dioxide values , which consequently did not allow the proposal of actions for the found problem.

Key Words: Beer, Oxygen, Haffmans, Filling, Carbon Dioxide

Índice

Capítulo 1 - Introdução	1
1.1. História do Super Bock Group	1
1.2. Objetivos da dissertação	3
1.4. Processo de Produção de cerveja	7
1.5. Processo de Enchimento de cerveja	11
1.6. Oxigénio e Dióxido de Carbono na Cerveja	16
1.7. Medição de Oxigénio e Dióxido de Carbono	27
Capítulo 2 - Resultados e Discussão	33
2.1. Teor de Oxigénio (TPO)	33
2.2. Teor de Dióxido de Carbono	40
2.3. Tratamento de dados	45
Capítulo 3 – Conclusões e Sugestões para Trabalho Futuro	49
Referências bibliográficas	51

Índice de Figuras

Figura 1-1- Principais datas na história do Super Bock Group	1
Figura 1-2- Estrutura acionista do Super Bock Group.....	2
Figura 1-3 – Produtos da Super Bock Group	3
Figura 1-4 – Diferentes tipos de cerveja	7
Figura 1-5- Processo de obtenção de malte através da cevada.....	7
Figura 1-6 - Crescimento dos grãos no processo de germinação	8
Figura 1-7 – Processo de produção de cerveja	10
Figura 1-8 - Diagrama das fases do processo de enchimento	12
Figura 1-9 - Elevador de garrafas de vidro	13
Figura 1-10 - Processo de enchimento	14
Figura 1-11 - Processo de pasteurização	15
Figura 1-12 - Coeficiente de absorção de O ₂ e N ₂ em função da temperatura.....	16
Figura 1-13 – Possíveis transformações de sabor na cerveja	20
Figura 1-14 - Molécula de trans-2-nonenal	21
Figura 1-15 - Formação de trans-2-nonenal	22
Figura 1-16 - Reações do processo de degradação de Strecker	23
Figura 1-17- Consequências da carbonatação da cerveja	26
Figura 1-18 - Haffmans c-TPO fixo.....	28
Figura 1-19 - Elementos do aparelho Haffmans.....	30
Figura 1-20 - Janela de comando do aparelho.....	30
Figura 1-21 - Janela de comando.....	31
Figura 2-1- Dados obtidos do aparelho Haffmans.....	33
Figura 2-2 - Dados gerais da linha 6, teor de O ₂ (ppb) em função do tempo (dias)	34
Figura 2-3- Dados marca A 33 TP da linha 6, teor de O ₂ (ppb) em função do tempo (dias)	35
Figura 2-4 - Dados marca B 1L da linha 6, teor de O ₂ (ppb) em função do tempo (dias)	35
Figura 2-5 - Dados marca C 33 TP da linha 6, teor de O ₂ (ppb) em função do tempo (dias)	35
Figura 2-6- Dados marca B Preta da linha 6, teor de O ₂ (ppb) em função do tempo (dias)	36

Figura 2-7- Dados marca C 25 TP da linha 6, teor de O ₂ (ppb) em função do tempo (dias)	36
Figura 2-8 - Dados marca C 33 TP da linha 6, teor de O ₂ (ppb) em função do tempo(dias)	36
Figura 2-9- Dados marca C sem álcool 33 TP da linha 6, teor de O ₂ (ppb) em função do tempo (dias)	37
Figura 2-10- Dados marca C Preta 33 TP da linha 6, teor de O ₂ (ppb) em função do tempo (dias)	37
Figura 2-11- Dados marca C 1L da linha 6, teor de O ₂ (ppb) em função do tempo (dias)	38
Figura 2-12 - Dados gerais da linha 2 e 3, teor de O ₂ em ppb em função do tempo	38
Figura 2-13 - Dados marca C TP 20cl da linha 6, teor de O ₂ (ppb) em função do tempo (dias)	39
Figura 2-14 - Dados marca C TP 33cl da linha 6, teor de O ₂ (ppb) em função do tempo (dias)	39
Figura 2-15 - Dados marca C TR 20cl da linha 6, teor de O ₂ (ppb) em função do tempo (dias)	39
Figura 2-16 - Dados gerais da linha 6, teor de CO ₂ (g/L) em função do tempo (dias)	40
Figura 2-17- Dados marca A 33 TP da linha 6, teor de CO ₂ (g/L) em função do tempo (dias)	41
Figura 2-18- Dados marca B 33 TP da linha 6, teor de CO ₂ (g/L) em função do tempo (dias)	41
Figura 2-19 - Dados marca B l 33 TP da linha 6, teor de CO ₂ (g/L) em função do tempo (dias)	41
Figura 2-20 - Dados marca B Preta TP da linha 6, teor de CO ₂ (g/L) em função do tempo (dias)	42
Figura 2-21 - Dados marca C 33 TP da linha 6, teor de CO ₂ (g/L) em função do tempo (dias)	43
Figura 2-22- Dados marca C 33 TP da linha 6, teor de CO ₂ (g/L) em função do tempo (dias)	43
Figura 2-23 - Dados marca C sem alcóol da linha 6, teor de CO ₂ (g/L) em função do tempo (dias)	44
Figura 2-24- Dados marca C preta 33 TP da linha 6, teor de CO ₂ (g/L) em função do tempo (dias)	44

Figura 2-25 - Dados marca C 1L da linha 6, teor de CO ₂ (g/L) em função do tempo (dias)	45
.....	45
Figura 2-26 – Botões de comando do código desenvolvido	46
Figura 2-27 – Código desenvolvido para os valores de oxigénio	46
Figura 2-28 – Exemplo de resultado para o código desenvolvido para os valores de oxigénio	47
Figura 2-29- Código desenvolvido para os valores de dióxido de carbono	48

Lista de Siglas

TP – Tara perdida

TR – Tara recuperável

TPO – Oxigénio Total na Embalagem

DO – Oxigénio Dissolvido

SB – Super Bock

O₂- Oxigénio

CO₂- Dióxido de carbono

Capítulo 1 - Introdução

1.1. História do Super Bock Group

O Super Bock Group é uma empresa com mais de 100 anos de história. Durante este período de tempo, são de destacar algumas datas que marcam os principais acontecimentos na história desta empresa (figura 1.1).



Figura 1-1- Principais datas na história do Super Bock Group [2]

1890 - A 7 de março 1890 é constituída a Companhia União Fabril Portuense das Fábricas de Cerveja e Bebidas Refrigerantes (CUFP). [1]

1964 - A década de 60 ficou marcada pela mudança das instalações, tendo a CUFP começado a construção da nova unidade fabril, em Leça do Balio. No dia 13 de março, data a produção da 1ª cerveja preta na nova fábrica. A 28 de Setembro, o Presidente da República preside a cerimónia oficial de inauguração das novas instalações. [1]

1977 - A 30 de Dezembro deu-se a transformação da CUFP em Unicer - União Cervejeira E.P. Esta transformação deveu-se a uma fusão entre CUFP (Companhia União Fabril Portuense das Fábricas de Cerveja e Bebidas Refrigerantes) com a Copeja (Companhia Portuguesa de Cervejas, SARL – em Santarém), e a Imperial (fábrica de Cerveja em Loulé).[1-2]

1989 / 1990 - A 26 de Abril de 1989, teve lugar a operação de privatização de 49% do capital.

A 28 de junho de 1990, a Unicer ficou totalmente entregue ao sector privado, depois do estado português ter alienado os restantes 51% do capital que detinha. [1]

2001 - A 1 de Janeiro, a Unicer passou-se a designar Unicer – Bebidas de Portugal, S.A.

2002 – No ano de 2002, é finalizado a constituição da Unicer – Bebidas de Portugal, SGPS, S.A. Nos primeiros meses do ano, foi também adquirido o Grupo Vidago, Melgaço e Pedras Salgadas (VMPS),

2006 – No ano de 2006, a empresa lança um dos produtos mais famosos da sua história, a Super Bock mini. Lança também uma nova cerveja artesanal, a Super Bock Abadia.

2011 - A Unicer lança em Portugal uma nova marca de sidras, a Somersby.

2017 – A empresa realiza a maior transformação até à atualidade. A Unicer passa a ser denominada Super Bock Group.

A estrutura acionista atua da empresa é representada na figura 1.2.

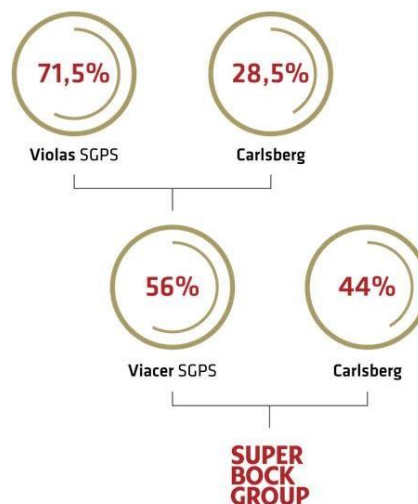


Figura 1-2- Estrutura acionista do Super Bock Group [1]

Princípios orientadores da empresa

O Super Bock Group segue três principais princípios orientadores, de modo a apresentar aos consumidores e clientes os produtos com a melhor qualidade, visando sempre a satisfação dos mesmo. A empresa também promove o desenvolvimento tecnológico, tentando sempre aplicar as novas tecnologias nos seus processos de produção internos ,e tendo em conta a sustentabilidade. [1]

- Renovar e melhorar, contínua e eficazmente, o portfólio de produtos Super Bock Group;

- Incorporar, eficazmente, desenvolvimentos científicos e tecnológicos nos processos e produtos Super Bock Group;
- Ser a referência nacional para os stakeholders em IDI no negócio das bebidas.

Produtos Super Bock Group

Como já referido, o Super Bock Group não se limita apenas a uma empresa produtora de cerveja, apesar de este se apresentar como o produto principal. A figura 1.3 apresenta a gama de produtos produzidos pela empresa.



Figura 1-3 – Produtos da Super Bock Group [1] [2]

Como se pode verificar na figura 1.3, as gamas de produtos produzidos pela empresa expandem-se ao longo de vários tipos de bebidas, desde água mineral, cerveja, refrigerantes, café e até mesmo vinhos.

1.2. Objetivos da dissertação

A presente dissertação teve como objetivo estudar a variabilidade e redução do teor de oxigénio e dióxido de carbono na cerveja cheia em garrafas. Para isso foram necessárias medições de teor de oxigénio e de dióxido de carbono, de forma a conseguir assinalar as variações existentes. Foi também necessário identificar as variáveis que contribuem para essa variabilidade e encontrar as medidas que permitam resolver esse problema.

1.3. A cerveja e as suas matérias-primas

A cerveja é uma bebida de origem agrícola produzida a partir de cereais maltados e não maltados, como o milho, trigo e o arroz. Trata-se de uma bebida moderadamente

alcoólica, obtida por ação de leveduras seleccionadas sobre um mosto, que é o resultado da mistura de farinha, obtida por moagem dos cereais com água, ao qual se adiciona lúpulo. Varia-se o mosto consoante o tipo de cerveja que se quer produzir. [3-4]

A composição da cerveja é bastante rica do ponto de vista nutricional porque é constituída por diversos hidratos de carbono, como a glucose, maltose, dextrinas; aminoácidos; proteínas; vitaminas do complexo B; dióxido de carbono; álcool; minerais (cálcio, fósforo, enxofre...) e água. [3]

Matérias-primas para a produção de cerveja:

Malte - O malte é obtido a partir da cevada, sendo esta sujeita a um processo de germinação sob condições controladas e pré-determinadas. Variando as condições do processo de maltagem, como temperatura e humidade, as propriedades visuais, gustativas e olfativas da cerveja irão variar.[5]

A cevada é, depois da água, o segundo ingrediente mais importante para a produção de cerveja. As indústrias produtoras de cerveja utilizam a cevada porque esta prospera mesmo em adversas condições de cultivo, sendo então um produto extremamente viável. A fase de germinação pode ser facilmente ajustada durante a maltagem. Em geral, a cevada tem grãos menos desenvolvidos, mas maior teor de proteína e cinética enzimática (que corresponde à velocidade de uma reação química quando ocorre na presença de um enzima), o que é vantajoso para a produção de cerveja. Outros produtos como trigo e centeio também são adequados para produzir cerveja. [4]

O cereal apresenta uma cor característica entre o caramelo e o amarelo. Poderão ocorrer descolorações no grão provocadas por infeções fúngicas ou por metabolismos anormais durante o processo de maltagem. No entanto, a maioria da cevada produzida possui uma cor de grão amarelo claro, preferencial para a produção de malte e alimentos em geral. Para a obtenção de malte com aspeto uniforme e de qualidade elevada, é necessário que os grãos sejam da mesma espécie e que o seu cultivo seja com a variedade o mais pura possível. [5]

Outros tipo de cereais - Para produzir cerveja, é frequente também o uso de milho, após este ser moído e passar por um processo de extração de gordura. Como alternativa, poderá também ser usado arroz ou trigo. A utilização destes cereais tem como finalidade

diminuir a percentagem de proteínas existentes no mosto. Os cereais não maltados conferem à cerveja características específicas consoante o cereal escolhido. [3]

Lúpulo - O lúpulo é uma planta aromática que confere à cerveja o seu normal aroma e sabor amargo. Este constituinte vai contribuir para a formação de uma boa espuma e irá proteger a cerveja de certas contaminações microbiológicas. Tradicionalmente, também é adicionado durante a fermentação devido aos efeitos de preservação que contém. Além disso, contém substâncias farmacologicamente ativas que, por exemplo, induzem o sono. As maiores áreas de cultivo estão na Alemanha (Hallertau, Elbe-Saale, Tettwang, Spalt) e nos Estados Unidos (Washington, Oregon, Idaho). [4] [6]

Leveduras - As leveduras são fungos que são adicionadas no processo de produção de cerveja e produzem etanol, dióxido de carbono e outros componentes a partir dos açúcares, que caracterizam o aroma e o gosto da cerveja.[3][6]

É fundamental ter atenção a certos critérios, de modo a escolher uma levedura adequada para a produção da cerveja pretendida. Os principais critérios para a escolha da levedura são:

- comportamento durante a fase de fermentação;
- floculação da levedura;
- bom desempenho na fase de fermentação;

Na cervejaria, as leveduras de baixa fermentação são principalmente cultivadas a 8–14 °C e são utilizadas na produção de cervejas Pilsener ou lager. A levedura de alta fermentação é principalmente cultivada a 15-26 °C. Neste caso, a temperatura aumenta durante a fermentação e leva a um sabor frutado. A propagação da levedura e uma rápida fermentação são essenciais para uma cerveja de boa qualidade. [4]

Tipos de cerveja

Existem inúmeros tipos diferentes de cervejas, com diferentes gostos, aromas e aspecto. Dependendo do tipo de cerveja que se pretende produzir, o processo de produção das mesmas poderá ser ligeiramente diferente, bem como o tipo de matérias-primas usadas. Em baixo são apresentados alguns dos tipos de cervejas existentes. [3-4]

Lager

A cerveja lager é uma cerveja referida como de «baixa fermentação», apresentando um teor alcoólico ligeiramente menor que o comum. A maioria das cervejas consumidas é deste tipo. [3][7]

Preta

A cerveja preta é um produto com um aspeto mais escuro e com um sabor mais intenso, devido à elevada quantidade de malte e lúpulo presentes na sua composição. A cerveja preta mais conhecida mundialmente é a “Guinness”, de origem irlandesa. [7] [4]

Porter e Ale

As cervejas Porter e Ale são caracterizadas por um sabor bastante forte e intenso, e, ao contrário da cerveja tipo lager, são produtos de «alta fermentação». [3]

Brown Ale ou Newcastle Ale

É uma cerveja castanha-escura, com um sabor adocicado, sendo de salientar aquela que se produz na zona de Newcastle, no Norte de Inglaterra. [7]

Pilsner

Esta é uma cerveja mais amarga que a cerveja Lager, com um tom ligeiramente dourado, originária de Pilsen (Bohemia, em 1842). [3] [7]

Bock

A cerveja Bock é uma cerveja de sabor forte de origem alemã. Nos Estados Unidos esta cerveja é normalmente mais escura e adocicada. Na Bélgica, este tipo de cerveja é muito menos alcoólica. Em Portugal, a cerveja Super Bock é um exemplo deste tipo. [3]

Cerveja sem álcool

A cerveja sem álcool é uma cerveja dietética cujo teor de álcool é nulo. O processo de fermentação é interrompido logo no início, tempo suficiente para que o mosto adquira algumas características da cerveja: espuma, cor, carbonatação, e alguns aromas de cerveja, sem que uma grande quantidade de álcool seja formada.. Especialmente destinada a quem não bebe álcool, condutores e diabéticos.

A figura 1.4 apresenta exemplos de diversos tipos de cervejas.



Figura 1-4 – Diferentes tipos de cerveja [25]

1.4. Processo de Produção de cerveja

O malte é a principal matéria prima na produção de cerveja. Por isso, o primeiro passo no processo de produção de cerveja será obter o malte através da cevada. A figura 1.5. representa este processo. [3]

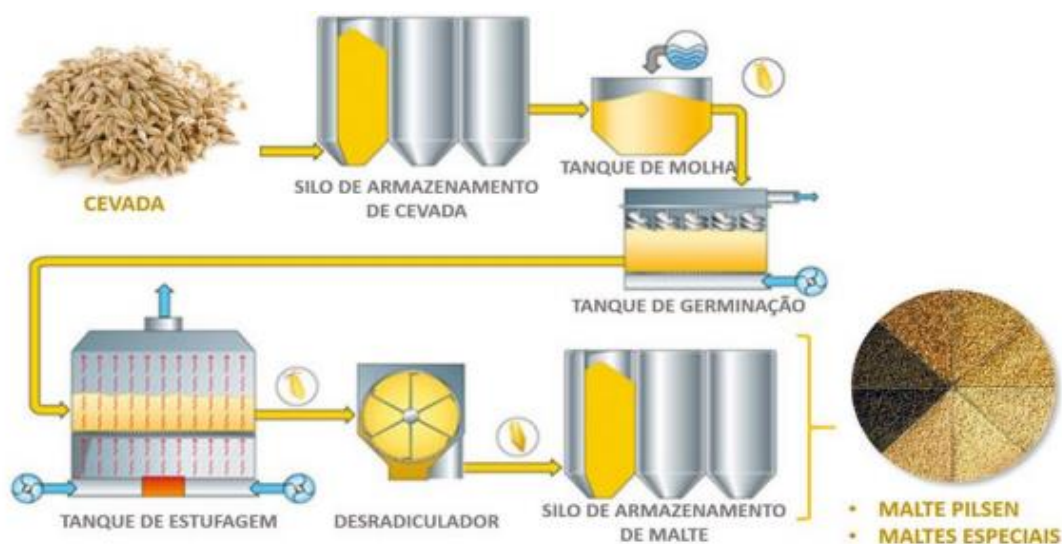


Figura 1-5- Processo de obtenção de malte através da cevada [5]

Primeiramente, os grãos de cevada entram no sistema de produção, passando por um purificador, que irá realizar uma aspiração dos grãos, de modo a que estes entrem com o mínimo de impurezas possíveis. Este purificador também está equipado com imans, de modo a que qualquer impureza do tipo metálico seja eliminada. [8]

A maltagem consiste basicamente em fazer com que sementes de um cereal, neste caso a cevada, germinem e, logo que isso comece, interrompe-se a germinação através de um processo de secagem e/ou torra.

O processo de maceração irá fazer com que as sementes da cevada germinem. Nesta etapa, irá ser adicionada água a uma determinada temperatura, para que o processo de germinação possa ocorrer posteriormente. A quantidade de água e a respetiva temperatura serão fundamentais para que o processo ocorra corretamente, mas estes valores poderão variar de acordo com o tipo de cereal a ser tratado. [4]

Após isto, ocorre então o processo de germinação. Este processo dura entre 4 a 6 dias. Os grãos de cevada já misturados com água vão passar para um tanque de germinação. [8]

Durante este processo a semente irá produzir diversos tipos de enzimas essenciais para o seu crescimento, tais como alfa e beta amilases, glucanases, proteases, entre outras.

Devem ser ativadas e produzidas enzimas suficientes, para que o conteúdo dos grãos sejam dissolvidos homogeneamente. Durante este processo é extremamente importante controlar a humidade, a temperatura e arejamento do tanque, uma vez que é necessário que o ambiente de germinação seja ideal para o crescimento dos grãos, pois um mau processo de germinação pode comprometer todo o processo de produção de cerveja [8-9]. A figura 1.6 representa o processo de crescimento dos grãos neste processo.

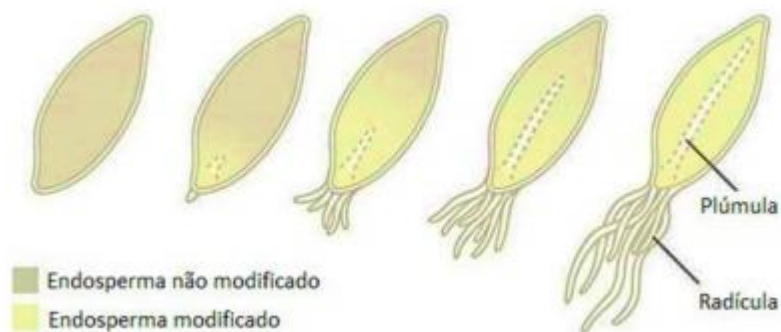


Figura 1-6 - Crescimento dos grãos no processo de germinação[5]

No final do processo é obtido malte verde, com um teor de humidade compreendido entre 40 e 44%, que apresenta as enzimas e o nível de desagregação do endosperma desejados. Para se realizar a paragem da fase, também se recorre a uma avaliação visual à plúmula e radícula do cereal. A plúmula estende-se por baixo da casca e o seu comprimento ideal deverá corresponder a aproximadamente $\frac{3}{4}$ do comprimento total do grão, enquanto a

radícula poderá atingir até duas vezes o comprimento do grão. Para acelerar significativamente a taxa de modificação do grão, poderão ser adicionados reguladores de germinação, que agem como estimuladores ou inibidores de crescimento. O intuito será aumentar a síntese de enzimas e o extrato, diminuindo o tempo de germinação e a dormência da cevada. [5][10]

A adição de água aos grãos de cevada vai induzir mudanças físicas e químicas nos mesmos. O conteúdo de água na mistura deverá estar entre 42% e 48%, para que o processo ocorra dentro do período de tempo definido, normalmente entre quatro a seis dias. As temperaturas de germinação variam entre 14 ° C e 18 ° C. O oxigênio é essencial para a respiração dos grãos, sendo também necessário proceder à remoção quase total de CO₂. [9]

Para que o processo de germinação dos grãos seja terminado, os grãos são secos, normalmente numa estufa. [3] A redução da humidade feita pela secagem acontece em duas condições [9]:

- Primeiro, utiliza-se uma temperatura menos elevada (aproximadamente 50°C), uma vez que caso se eleve demais a temperatura dos grãos húmidos (65 a 72 °C) as enzimas vão degradar muito rapidamente o amido do grão, o que não é pretendido;
- Posteriormente, serão utilizadas temperaturas mais elevadas. uma vez que os grãos estarão menos húmidos.

Estes maltes resultantes têm uma quantidade de enzimas maior, por isso são denominados como maltes base e é necessário ter muito cuidado ao escolhe-los.

Por fim, os grãos resultantes irão passar por um equipamento que irá retirar os pequenos caules presentes nos grão, pois estes não irão entrar na produção de cerveja. [9]

Após este processo terminar, dar-se-á início à segunda parte do processo de produção de cerveja (figura 1.7).

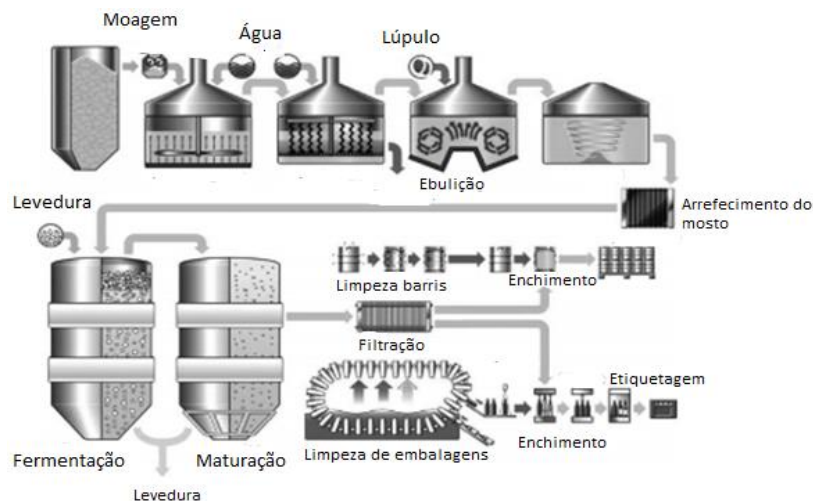


Figura 1-7 – Processo de produção de cerveja [4]

A fim de possibilitar a rápida extração e conversão dos componentes do malte, este é moído obtendo-se uma farinha grossa.

A farinha proveniente dos cereais (malte e outros cereais não-maltados) é misturada com água, e posteriormente, é submetida a certas condições operatórias (tempo, temperatura e PH) de forma a obter-se um mosto de composição adequada ao tipo de cerveja a produzir. Este processo dura entre 2 a 4 horas e termina a uma temperatura próxima de 75 °C.

Posteriormente, a mistura é sujeita a uma filtração para separar a parte insolúvel do filtrado. Esta parte insolúvel é normalmente reaproveitada nouro tipo de indústrias, como por exemplo ração para animais.

A filtração é normalmente efetuada num filtro de prensa, tendo uma duração de cerca de 2-3 horas, conduzida a uma temperatura de 75- 80 °C.[4]

O mosto, diluído e filtrado, é levado à ebulição durante cerca de 2 horas. É nesta fase que é adicionado o lúpulo. A operação de ebulição tem as seguintes finalidades:

- Eliminação de substâncias voláteis indesejáveis;
- Esterilização do mosto;
- Precipitação de proteínas de massa molecular elevada; [4]

Após a ebulição, é necessário separar o precipitado proteico dos componentes do lúpulo não solubilizados. Antes do mosto, já misturado com o lúpulo, entrar para as cubas de fermentação, será arrefecido até uma temperatura de cerca de 9 °C e arejado em condições estéreis.

A fermentação é o processo que se segue, sendo considerada uma das mais importantes em todo o processo. Nesta fase os açúcares do mosto vão ser transformados em álcool e dióxido de carbono pela ação da levedura . A fermentação inicia-se com a adição da levedura selecionada para o tipo de cerveja que se pretende produzir. A etapa de fermentação vai ocorrer a temperaturas controladas e tem uma duração de cerca de 7 dias.

Durante a primeira parte do processo de fermentação, a mistura irá ser constantemente agitada, sendo que a velocidade de agitação irá diminuir progressivamente até ao fim desta fase, até a levedura se depositar no fundo do tanque de fermentação. [4]

Após o período de fermentação, irá iniciar-se a fase de maturação. Esta fase do processo corresponde ao período de estacionamento da cerveja a temperaturas adequadas e predefinidas, com o objetivo de permitir a libertação dos componentes voláteis indesejáveis no produto final da cerveja. [5]

Posteriormente a esta fase, é comum deixar estabilizar a cerveja, a temperaturas entre os 0 °C e os 2 °C, de forma a permitir a homogeneização da mesma. Vai ocorrer a fixação das propriedades da cerveja.

Depois disto, a fase seguinte consiste em bombear o líquido através de um meio filtrante adequado. A cerveja filtrada é então armazenada em tanques, estando assim pronta a ser enviada para o enchimento.

A etapa final da produção de cerveja é o enchimento, podendo a cerveja ser enchida em diferentes embalagens (garrafa, barril, lata...). [5]

1.5. Processo de Enchimento de cerveja

A presente dissertação foi desenvolvida no departamento de enchimento do Super Bock Group. O enchimento da cerveja corresponde à última fase de todo o processo realizado. Na figura 1.8 encontra-se apresentado um diagrama representativo das fases do processo de enchimento realizado na empresa. [11]

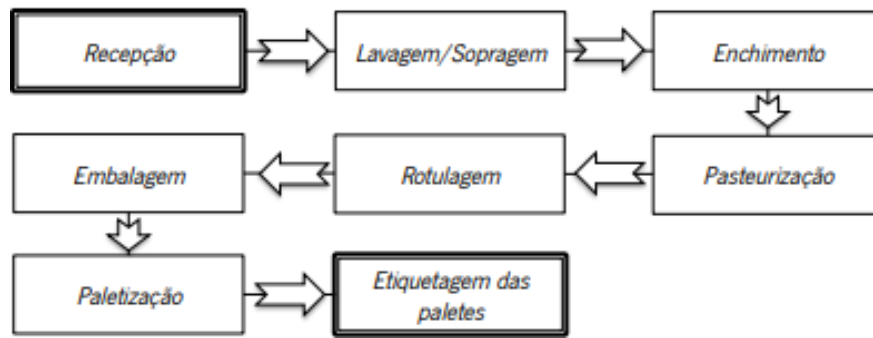


Figura 1-8 - Diagrama das fases do processo de enchimento

Como se pode verificar através da análise da figura 1.8, o processo não envolve apenas o enchimento dos recipientes com a cerveja em si. Os processos de embalagem, pasteurização, rotulagem e paletização também fazem parte desta parte do processo global.

No Super Bock Group existem várias linhas para realizar o processo de enchimento, sendo que estas poderão não ser iguais entre si. Cada linha de enchimento será a adequado ao tipo de embalagem que irá ser enchida. Ou seja, uma linha de enchimento destinada a garrafas de vidro não poderá ser igual a uma linha de enchimento destinada a barris.

Funcionamento da linha de enchimento

De modo a expor o funcionamento de uma linha de enchimento, será de seguida explicado o funcionamento de uma linha de enchimento de garrafas de vidro da Super Bock Group. Esta linha possui equipamentos em dois pisos diferentes. disposição dos equipamentos na linha de enchimento está estrategicamente definida para a otimizar a funcionalidade e o espaço disponível. [11]

No primeiro piso encontram-se os seguintes equipamentos:

- Despaletizadora;
- Elevador;
- Paletizadora;
- Envolvedora;
- Etiquetadora

No segundo piso encontram-se os restantes equipamentos, tais como:

- Sopradora;
- Inspetor de vazio;
- Enchedora;
- Pasteurizador;
- Rotuladora e Inspetor;
- Embaladora;
- Encartonadora;
- Inspetor magnético

A despaletizadora é o primeiro equipamento a ser utilizado na linha de enchimento. Permite transportar as garrafas novas das paletes provenientes do fornecedor para o transportador da linha de enchimento. [11] De seguida, as garrafas seguem no transportador até atingir o elevador. Na figura 1.9 encontra-se uma imagem representativa desta etapa. O elevador permite transportar as garrafas para o nível superior da linha de enchimento.



Figura 1-9 - Elevador de garrafas de vidro [11]

As garrafas passam depois por um equipamento designado de Inspetor de Vazio. A inspeção de garrafas garante a ausência de contaminação física e química das garrafas de vidro antes do enchimento. Este equipamento utiliza câmaras de alta resolução, o que vai permitir que as garrafas sejam comparadas com padrões introduzidos na unidade de controlo do equipamento. São inspecionados o fundo, o bocal e a parede da garrafa. As garrafas não conformes são rejeitadas automaticamente. [2]

Para evitar que as garrafas contenham impurezas, como poeiras ou outro tipo de resíduos, estas vão passar por um equipamento denominado de soprador. Este equipamento permite, ao longo de um movimento rotativo, soprar o interior da garrafa retirando todas as impurezas existentes. [11] [2]

Após esta etapa, as garrafas de vidro irão seguir para a enchedora, onde serão então enchidas com a cerveja.

A etapa de enchimento consiste na transferência de cerveja das cuvas de armazenamento para o interior das garrafas na enchedora. A figura 1.10 apresenta de modo sucinto esta etapa do processo.

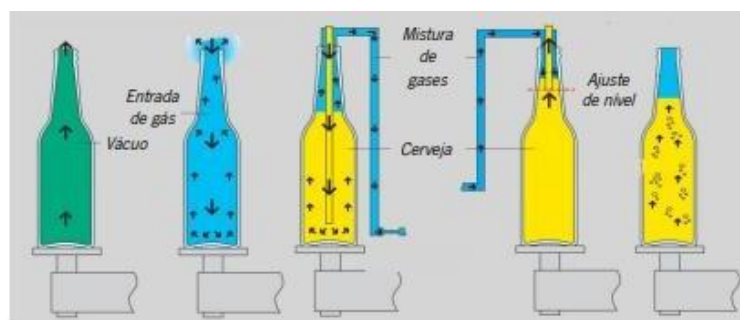


Figura 1-10 - Processo de enchimento [10]

O sistema mais convencional de enchimento é por nível. Resumidamente, a altura de nível é determinada pela altura da cânula que entra na garrafa durante o seu enchimento. A água da rede para espumagem é aquecida com uma resistência elétrica para reduzir o nível de oxigénio. O objetivo da espumagem é retirar o oxigénio desenvolvido no *head space* da garrafa antes da capsulagem e, ao mesmo tempo, evitar a entrada de oxigénio do exterior para evitar a oxidação da cerveja. [11]

Após esta etapa, segue-se a fase de capsulagem das garrafas. O enchimento e capsulagem são operações que devem estar diretamente associadas. É de extrema importância manter o mínimo de tempo possível a cerveja em contacto com oxigénio, por razões que serão explicadas no capítulo seguinte. O sistema de engrenagens que promove o transporte na enchedora conduz as garrafas para o capsulador num curto período de tempo. [10-11]

Após o enchimento e a imediata capsulagem, vai ser realizada uma inspeção do nível da altura do enchimento e da presença ou ausência de cápsula. Perante o não cumprimento destes critérios, as garrafas são automaticamente rejeitadas. [10]

Após a cerveja ter sido engarrafada, segue-se o processo de pasteurização. A pasteurização consiste num processo que tem como objetivo a estabilização microbiológica da cerveja engarrafada.

A eficácia deste processo vai depender da temperatura aplicada e do tempo de aplicação desta mesma temperatura. Sendo assim, as unidades de pasteurização a que a cerveja esteve sujeita vão depender diretamente do tempo de pasteurização e da temperatura deste mesmo proceso. [10]

Para a realização deste processo, utilizam-se jatos de vapor para o aquecimento de água, o que permite o aumento gradual da temperatura do conteúdo das garrafas ao longo de várias secções no interior do pasteurizador. Na figura 1.11 encontra-se apresentado uma representação do processo de pasteurização. [10-11]

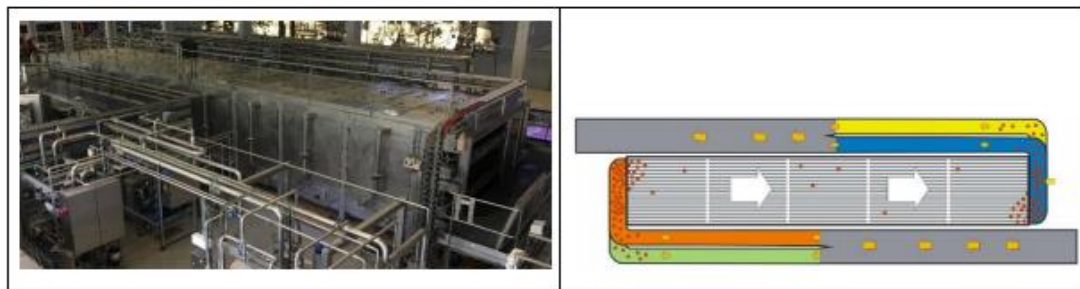


Figura 1-11 - Processo de pasteurização [24]

Após atingir a temperatura de pasteurização, as garrafas permanecem um determinado período de tempo até atingir as unidades de pasteurização requeridas para o produto. Estas unidades podem ser calculadas através da seguinte equação.

$$UP = t_p \times 1.389^{T_p - 60}$$

Onde: t_p corresponde ao tempo da pasteurização e T_p à temperatura de pasteurização.

O tempo que se aplica esta temperatura vai variar, dependendo principalmente da capacidade da garrafa de vidro. Posteriormente, as garrafas são arrefecidas gradualmente até uma temperatura de cerca de 28°C, onde se termina o processo de pasteurização. Após este processo estar concluído, vai se realizar uma secagem exterior de garrafas. [10]

Posteriormente, vai ser realizado o embalamento das garrafas. Estas vão passar por uma rotuladora, sendo depois embaladas e paletizadas.

1.6. Oxigénio e Dióxido de Carbono na Cerveja

O teor de oxigênio na cerveja após o enchimento é um aspeto de grande importância na preservação da qualidade do produto. A cerveja é uma das bebidas mais sensíveis ao oxigênio. A presença deste composto na cerveja causa processos de envelhecimento ou uma diminuição da quantidade de antioxidantes [12]. Isto pode causar instabilidade no sabor da cerveja, tornando-a mais amarga, podendo também ocorrer mudanças de cor.

O oxigênio encontra-se dissolvido na cerveja, e também está presente no ar que entra na garrafa antes do enchimento. A entrada de oxigênio no produto pode-se principalmente dar em três pontos:

- Entrada de oxigênio na cerveja, na entrada do filtro, no processo de carregamento inicial.
- Entrada de oxigênio durante o processo de enchimento.
- Entrada de oxigênio no conteúdo residual de ar, no *headspace* da garrafa, após o enchimento.

A figura 1.12 apresenta um gráfico representativo do coeficiente de absorção de oxigênio e azoto em função da temperatura.

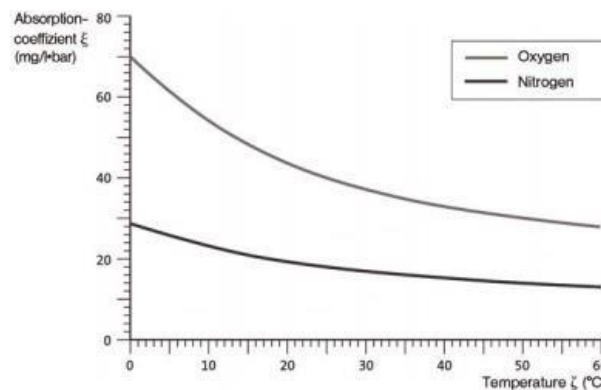


Figura 1-12 - Coeficiente de absorção de O_2 e N_2 em função da temperatura [18]

Analisando então a figura 1.12, verifica-se que para a mesma temperatura, o valor do coeficiente de absorção de oxigênio é substancialmente mais elevado do que o de azoto, pelo que se conclui que o oxigênio é facilmente absorvido pela cerveja durante as etapas no processo de enchimento.

Oxigénio no processo de maltagem

O processo de maltagem envolve a germinação e crescimento parcial de sementes de cereais. Para este processo ocorrer, as sementes têm que se apresentar num ambiente rico em oxigénio. Os seguintes procedimentos são efetuados para garantir o bom funcionamento do processo.

- No armazenamento da cevada, antes do processo de maltagem em si ter início, é introduzido ar nos recipientes de armazenamento para evitar a acumulação de dióxido de carbono;
- Durante a maceração, os grãos são arejados para manter a água saturada e agitar a cevada em crescimento;
- Durante o processo de germinação, o ar humidificado é soprado através do leito para libertar o dióxido de carbono;

Embora o processo de fermentação em si seja um processo anaeróbio, ou seja, ocorre na ausência de oxigénio, as células de levedura requerem oxigénio para o crescimento.[13-14]

Respiração anaeróbica:

A respiração anaeróbia consiste na obtenção de energia a partir de reações químicas sem o envolvimento do oxigénio. A reação seguinte demonstra o que ocorre no presente caso.

Açúcar → Álcool + Dióxido de Carbono + Energia (ATP)

O oxigénio molecular é absorvido pela levedura no início da fermentação e é utilizado pela célula para sintetizar esteróis e ácidos gordos insaturados, que são componentes essenciais da membrana de levedura.

No que diz respeito à libertação de energia, a respiração aeróbia é mais eficiente do que a respiração anaeróbia. No entanto, na levedura, o oxigénio disponível não é utilizado para a respiração aeróbia. Na presença de açúcares como a glicose, a levedura vai utilizá-la para produzir álcool e usar o oxigénio para produzir os compostos lipídicos necessários.[13]

No caso de os compostos lipídicos presentes serem insuficientes, a fermentação poderá ser defeituosa devido à reprodução inadequada das células de levedura, que por sua vez levará a [13]:

- Fermentações lentas;
- Sabor pouco comum, devido a, por exemplo, má remoção de diacetil e acetaldeído;
- Baixa formação de éster.

O excesso de oxigénio pode levar a [13]:

- Fermentações rápidas;
- Crescimento excessivo de fermento, o que pode levar a perdas de cerveja;
- Maior produção de éster, o que pode levar a que a cerveja apresente um sabor mais frutado.

Oxigénio no mosto

O mosto é geralmente arejado na linha de produção, através de um refrigerador, sendo que este processo ocorre imediatamente antes da adição do fermento.

A maioria das empresas produtoras de cerveja opta por arejar o mosto a temperaturas frias, uma vez que esta forma apresenta mais vantagens do que um arejamento a quente.

[14]

Tabela 1 - Vantagens e desvantagens do arejamento a quente ou a frio do mosto [13]

Vantagens do arejamento a quente	Vantagens do arejamento a frio
Esterilização do ar	O oxigénio apresenta melhor solubilidade a baixas temperaturas
	Menos risco de oxidar o mosto
	Menos consumo de oxigénio
	Menos risco de criar instabilidade na cerveja e de produzir <i>off flavours</i>
Desvantagens do arejamento a quente	Desvantagens do arejamento a frio
Menor solubilidade do oxigénio	O ar deve ser esterilizado antes de ser adicionado ao sistema
Risco de existir oxidação do mosto	É necessário um separador e misturador
Haverá consumo inevitável de oxigénio através de reações de oxidação no mosto	
Risco da cerveja obter <i>off flavours</i>	

Reações de oxidação

As reações de oxidação e redução ocorrem constantemente no processo de produção de cerveja.

O oxigénio terá que ser ativado por energia, através de luz ou calor, ou então catalisado por metais como cobre e ferro. Isto irá formar radicais altamente reativos como superóxidos e radicais hidroperoxila.[13]

Estes radicais reagem rapidamente com o mosto e outros componentes da cerveja para produzir compostos oxidados, alguns dos quais têm um impacto no produto final obtido, como por exemplo:

- Componentes que irão afetar o sabor da cerveja com o tempo, como trans-2-nonenal
- Resfriamento acelerado por oxidação de polifenóis;

- Aumento da adstringência da cerveja, por meio oxidação de polifenóis;
- Alteração da cor da cerveja por meio da oxidação de polifenóis.

O oxigênio é, ao mesmo tempo, favorável e prejudicial na cerveja. Nas etapas iniciais da fabricação de cerveja é necessário oxigênio para a germinação adequada da cevada no processo de maltagem e é usado pela levedura para manter a sua membrana celular. É também um componente essencial na oxidação e polimerização de compostos polifenólicos, que os tornam insolúveis.

O oxigênio torna-se problemático quando o produto acabado é armazenado, contribuindo para a deterioração da cerveja e diminuindo o prazo de validade do produto embalado.

O sabor da cerveja engarrafada não é sempre estável mas deteriora-se mais ou menos rapidamente com uma conseqüente redução na qualidade da cerveja. O sabor envelhecido que se desenvolve é caracterizado por uma alteração crescente no perfil do aroma, na qual os compostos carbonilo são predominantemente responsáveis.

A grande parte do conhecimento obtido sobre o envelhecimento da cerveja revela apenas algumas noções gerais de várias mudanças no sabor do produto. Na figura 1.13 encontra-se apresentado um gráfico com as possíveis mudanças no sabor da cerveja, de acordo com uma relação intensidade / tempo. [15]

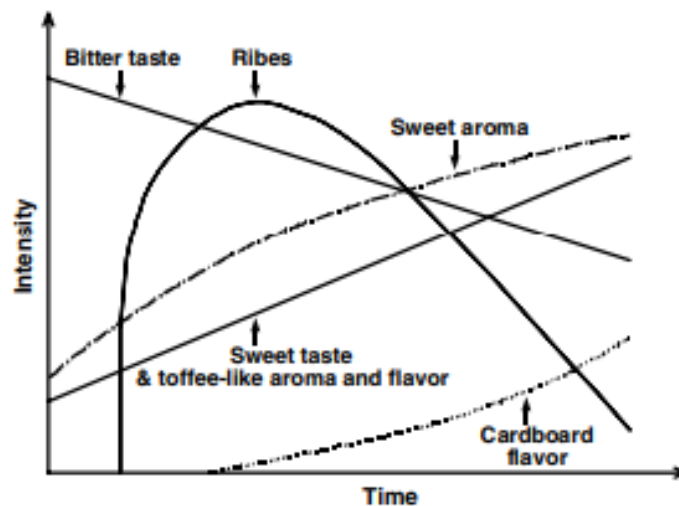


Figura 1-13 – Possíveis transformações de sabor na cerveja [15]

Esta figura representa uma generalização da evolução sensorial durante o armazenamento da cerveja e não é aplicável a todas as cervejas. A figura evidencia a instabilidade do

sabor da cerveja ao longo do envelhecimento, onde compostos vão se modificando e formando *off-flavours*. Essa instabilidade vai determinar a vida de prateleira do produto.

Durante o processo de fermentação, os compostos com grupos carbonilo são convertidos em álcoois, que normalmente têm menos influência no sabor final da cerveja. Habitualmente, a cerveja tem um teor em compostos carbonílicos de cerca de 40 mg / l.

O maior problema surge durante a distribuição do produto acabado, quando as concentrações de compostos carbonílicos podem aumentar, devido às reações envolvendo o oxigênio. O termo "envelhecimento da cerveja" é diretamente relacionado a um aumento de compostos com grupos carbonilo, especificamente trans-2-nonenal e acetaldeído. [15]

A contribuição destes componentes para a alteração do sabor da cerveja ainda não está clara, contudo, é certo que o oxigênio é o principal fator que afeta o envelhecimento do sabor. O oxigênio contribui para a produção de compostos carbonílicos com limiares de sabor muito baixos, como por exemplo, o trans-2-nonenal. Na figura 1.14 seguinte encontra-se apresentado a fórmula da estrutura deste composto.

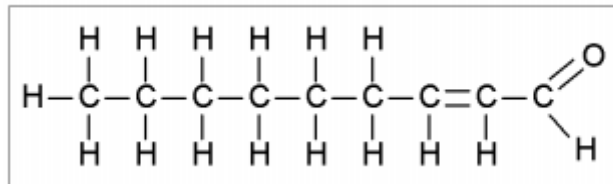


Figura 1-14 - Molécula de trans-2-nonenal [15]

O aumento da concentração deste aldeído na cerveja, formado pela oxidação de ácidos linoleicos, é responsável pelo conhecido “gosto a cartão” [14]. Na figura 1.15 encontra-se apresentado a formação deste composto.

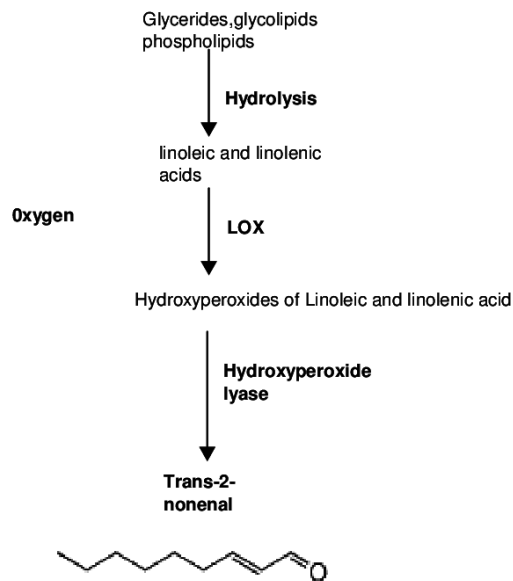


Figura 1-15 - Formação de trans-2-nonenal [16]

O trans-2-nonenal poderá afetar o sabor da cerveja durante o armazenamento, e a sua formação está ligada aos processos iniciais de produção, moagem e produção do mosto. Nessas etapas pode ocorrer a oxidação de ácido linoléico que irá dar origem a este composto.

A oxidação do ácido linoléico pode ocorrer por dois processos diferentes: auto-oxidação e oxidação enzimática através da lipoxigenase (LOX).

O processo de auto-oxidação do ácido linoléico começa pela remoção homolítica de um hidrogênio por uma espécie radicalar existente na matriz. Posteriormente, é adicionada uma molécula de oxigênio ao ácido linoléico radical, seguida de uma nova remoção homolítica de um hidrogênio de espécies presentes no meio, o que levará à formação de um hidroperóxido. A reação subsequente envolve a cisão do hidroperóxido com a formação dos produtos de degradação do ácido linoléico .

O segundo processo possível é a oxidação enzimática do ácido linoléico, que irá ser iniciado por a ação da enzima lipoxigenase (formada durante o processo de germinação da cevada) que catalisa a formação de hidroperóxidos. [15]

Outro processo que pode contribuir para a alteração no sabor da cerveja é a degradação de Strecker. A degradação de Strecker ocorre quando os aminoácidos livres reagem com os compostos carbonílicos existentes de forma a produzir CO₂, NH₃ e um composto aldeído com menos um carbono. Diversos estudos mostraram que a prolina, composto

que não é utilizado pela levedura, pode sofrer o processo de degradação de Strecker e contribui para a condensação aldólica dos carbonílos. [12]

Também poderão ser formados dicarbonílos, que são formados como intermediários da reação de Strecker. Os aldeídos formados podem contribuir para o desenvolvimento de sabores incomuns na cerveja. Na figura 1.16 encontra-se apresentados as reações envolvidas no processo de degradação de Strecker.

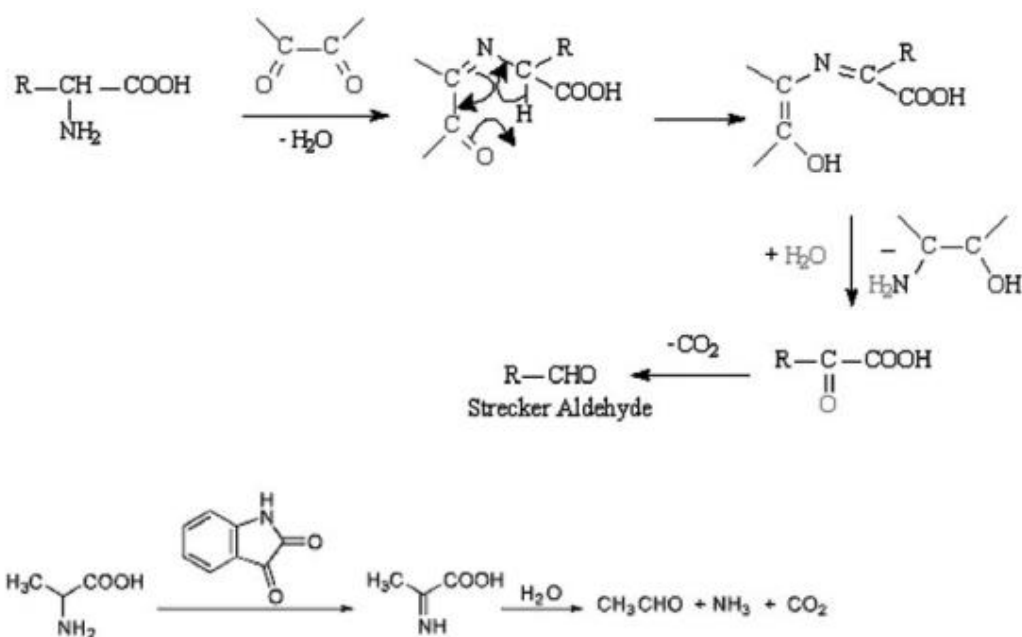


Figura 1-16 - Reações do processo de degradação de Strecker [12]

Não há um consenso de que este composto esteja sempre envolvido na oxidação da cerveja. Um dos argumentos é que algumas cervejas que apresentam caráter envelhecido distinto não apresentam níveis particularmente altos de trans-2-nonenal. [16]

As baixas concentrações de oxigênio dentro da embalagem são necessárias para prolongar a vida útil do sabor do produto. É necessário haver uma capacidade inerente da cerveja para "ativar" o oxigênio através da intermediação de íons metálicos. Os níveis de cobre aproximados de 50 ppb são capazes de promover o *staling*. [17]

Staling é um conjunto complexo de alterações químicas e orgânicas que ocorrem na cerveja ao longo do tempo, transformando o seu sabor e fazendo com que esta não corresponda ao sabor e aparência desejados e esperados. O *staling* é um fenômeno diferente do que o "envelhecimento", que descreve mudanças de sabor intencionais e desejáveis ao longo do tempo.

Durante a maior parte da história, os fabricantes de cerveja têm prestado extrema atenção à prevenção de deterioração da cerveja por microorganismos. Agora que as preocupações microbiológicas foram amplamente conquistadas pela tecnologia moderna e saneamento, os fabricantes de cerveja concentram-se no prazo de validade, que pode ser definido como estabilidade de sabor, aroma e aparência. [16]

A maioria dos consumidores reconhece o sabor normal de suas cervejas favoritas e esses sabores geralmente são os de cerveja fresca. À medida que a cerveja envelhece, ela desenvolve novos sabores e os sabores frescos diminuem.

O efeito prejudicial da pasteurização na promoção do consumo de oxigênio também deve ser alvo de atenção. Graus de pasteurização relativamente altos são possíveis se as concentrações de oxigênio forem baixas. Deve ser evitado o aquecimento das embalagens de cerveja já produzidas, de modo a que o sabor da cerveja não sofra qualquer tipo de alteração. [17]

Influência do Oxigênio na cor da cerveja

O oxigênio presente na cerveja também pode influenciar a cor da mesma. A cor da cerveja pode ser alterada em diferentes etapas durante o processo de fabricação da cerveja. A reação de Maillard ocorre quando aminas e compostos carbonílicos interagem para criar produtos de cor castanha insolúveis, chamados melanoidinas. Proteínas e aminoácidos fornecem os componentes amina, enquanto que os açúcares redutores, compostos ácidos e carbonílicos criados pela oxidação lipídica podem fornecer a fração carbonila.

Demonstrou-se que a mudança de cor referida na cerveja durante o armazenamento é acelerado pelo aumento da temperatura, aumento do espaço na embalagem e aumento do nível de íons metálicos, como cobre e ferro. [17]

Oxigênio Total na Embalagem e Oxigênio Dissolvido (TPO e DO)

No que diz respeito à indústria cervejeira, são referidos dois “tipos” de medição de oxigênio, Oxigênio dissolvido total (DO) e o *total package oxygen* (TPO).

O DO é normalmente medido nos denominados nos BBT (bright beer tanks) enquanto que o TPO é medido na cerveja já cheia na garrafa para consumo.

Na prática, não há uma correlação clara entre o DO e o TPO. Apesar disso, o DO é muito importante porque todo oxigênio no BBT eventualmente reagirá e vai alterar a cerveja,

diretamente através de reações de oxidação que irão ocorrer em componentes da cerveja. [18]

Diversos fatores que irão influenciar o TPO são:

- DO no tanque (BBT);
- Tempo de armazenamento no BBT;
- Pasteurização;
- Desempenho da máquina de enchimento;

Apesar de ambos serem de extrema importância na indústria cervejeira, o presente estudo focou-se no TPO. Este valor irá também ser influenciado pelo valor de DO e de oxigênio no *headspace*, uma vez que o TPO abrange todo o oxigênio contido na embalagem, quer o presente no líquido, quer o contido no ar presente no *headspace*. Por exemplo, qualquer variação de volume de *headspace* também tem um impacto importante sobre o valor de TPO. Um aumento de volume de *headspace* de 10 ml pode levar a um aumento de TPO de 9%. [18]

Dióxido de carbono na cerveja

O dióxido de carbono na cerveja é produzido pela levedura durante a etapa de fermentação. No processo de fermentação anaeróbia, a levedura converte os açúcares do mosto maioritariamente em álcool e CO₂. O excesso de CO₂ é frequentemente recuperado e usado em etapas posteriores, de modo a aumentar o nível deste mesmo gás na cerveja acabada.

O teor de CO₂ numa cerveja é frequentemente expresso em termos de volume de gás numa temperatura e pressão padrão por volume de cerveja ou em gramas de CO₂ por litro de cerveja. Como uma aproximação, um volume de CO₂ é equivalente a dois gramas de CO₂ por litro.

A alta solubilidade do CO₂ em baixas temperaturas é importante, uma vez que grande parte das cervejas são servidas frias (1–3 ° C). À medida que a cerveja é ingerida, a superfície áspera da língua forma um foco para que o CO₂ saia da bebida. Este fenómeno é conhecido como "picada de CO₂". Essa "picada" é causada pelo ácido carbônico (H₂CO₃) gerado quando o CO₂ é dissolvido num líquido aquoso. Quanto mais baixa for a temperatura da cerveja, maior será o nível de CO₂ dissolvido. Essa sensação combina-se com o sabor amargo do lúpulo para formar o clássico paladar da cerveja e um equilíbrio

com o sabor mais doce do malte. Sem o dióxido de carbono, a maioria dos tipos de cerveja seria considerada intragável. [19][20]

A espuma num copo de cerveja também é em grande parte resultado do CO₂ presente na mesma. O CO₂ é necessário para a carbonatação da cerveja, o que dá à mesma o elemento característico das “bolhas”. A carbonatação é um procedimento que tem como finalidade gerar determinada quantidade de CO₂ na cerveja. A figura 1.17 mostra a influência da carbonatação na cerveja.



Figura 1-17- Consequências da carbonatação da cerveja [21]

A cerveja pode ser carbonatada de duas maneiras, naturalmente ou forçada.

- Carbonatação natural – É o resultado do processo de fermentação. O CO₂ e o álcool são produzidos durante esta fase, quando a levedura digere o açúcar do mosto. A maior parte do dióxido de carbono é libertado durante esta etapa. Para que a cerveja permaneça naturalmente carbonatada, irá ser selada num recipiente pouco antes de a fermentação terminar. Desta forma, a cerveja é naturalmente carbonatada, o que significa que quando a pressão é libertada, o dióxido de carbono sobe e as bolhas são formadas.
- Carbonatação forçada - Para forçar a carbonatação, no final do processo de fermentação, a cerveja é colocada num recipiente lacrado e é bombeada com CO₂ que será então absorvido pelo líquido. O método de carbonatação forçada também é normalmente usado para barris. [19-20]

A maior parte do dióxido de carbono é libertado durante o processo de fermentação, o que pode ser extremamente perigoso quando isto ocorre num espaço confinado. Os tanques de cerveja tendem a ser armazenados com pouco espaço em seu redor. Um aumento dos níveis de CO₂ em espaços fechados de apenas 0,5% pode ter implicações no corpo humano e pode começar a causar efeitos como dores de cabeça, sonolência e náuseas. Para manter todos os funcionários numa empresa produtora de cerveja seguros, é altamente recomendável que um detector de CO₂ seja usado nas cervejarias. [20]

1.7. Medição de Oxigénio e Dióxido de Carbono

Para se efetuar a medição do teor de oxigénio presente numa garrafa de cerveja, o equipamento utilizado neste trabalho é um Haffmans c-TPO. Este equipamento permite, através de um simples procedimento, obter o teor de oxigénio total numa garrafa, bem como o teor de dióxido de carbono, caso necessário.

Existem dois tipos de aparelhos Haffmans, os fixos e os portáteis. Os Haffmans portáteis são mais úteis no caso de se pretender efetuar a medição de oxigénio na cerveja num determinado ponto do processo, quer na parte de enchimento, quer noutra parte do processo. Os Haffmans fixos são apenas utilizados para a medição do oxigénio na cerveja já contida numa garrafa cheia. Estes aparelhos apresentam inúmeras vantagens de utilização, como um reduzido tempo de teste, bem como um procedimento muito simples e é de fácil manutenção. Para o caso em estudo, todas as medições e resultados foram obtidos utilizando um Haffmans fixo, ou seja, as medições foram realizadas em garrafas já cheias e capsuladas. Na figura 1.18 encontra-se apresentado um Haffmans do tipo fixo.



Figura 1-18 - Haffmans c-TPO fixo [26]

Nos Haffmans fixos, se este se encontrar com ligação a um computador, o aparelho faz a exportação das medições efetuadas para um documento Excel, tendo uma memória de 100 medições. Nesse documento encontram-se não só os valores de oxigénio e dióxido de carbono obtidos, mas também as respetivas unidades, a temperatura da garrafa de teste, a marca da cerveja e o tipo de garrafa, a data do teste, o volume de *headspace*, a pressão a que foi realizada a medição e o valor de DO. Um exemplo de um destes ficheiros Excel encontra-se apresentado no subcapítulo 2.1.

As amostras são obtidas de garrafas ou latas com um perfurador de embalagem, por pressurizar o espaço da cabeça (*headspace*) para empurrar a cerveja para além do sensor de oxigénio. é medido o oxigénio no *headspace* e no líquido em si. É medido também o volume de *headspace*. O *headspace* é entendido como o espaço entre o líquido e o topo da embalagem. Diversos pontos importantes para este processo são:

- A pressão aplicada de CO₂ ou N₂ na medição de TPO deve ser superior à pressão total de gases dissolvidos na cerveja, para evitar a formação de bolhas.
- As medições devem ser efetuadas imediatamente após o enchimento e antes da pasteurização, pois o processo de aquecimento permite que o oxigénio dissolvido reaga rapidamente com a cerveja. Cerca de 60% do oxigénio pode ser consumido durante a pasteurização.

- As embalagens devem ser sempre agitadas vigorosamente antes de perfurar para equilibrar o espaço vazio e os gases dissolvidos [22].

A medição diferenciada do O₂ no *headspace* e DO fornece uma percepção imediata do desempenho da operação de enchimento. As múltiplas determinações de rotina de TPO e CO₂ são totalmente automatizadas.

Existem diversos métodos tradicionais para medir o teor de oxigénio e de dióxido de carbono na cerveja e nouro tipo de bebidas. No entanto, aparelhos como o Haffmans vieram revolucionar as indústrias produtoras deste tipo de bebidas no que diz respeito a este tipo de medições. Ao contrário dos métodos de medição de TPO em instrumentos tradicionais, este tipo de aparelhos apresenta diversas vantagens [23]:

- Ao se medir o O₂ do *headspace* e o DO, o líquido permanece dentro da embalagem e o risco de contaminação de O₂ durante a medição é minimizado;
- Economização de tempo e dinheiro, maximizando o pay-back;
- Dispensa a preparação de amostras;
- Medição totalmente automatizada, minimizando erros de operação;
- Medição conjunta de volume de *headspace*, DO, TPO e CO₂;
- Redução do tempo de inatividade do processo;
- Evita perdas de produto acabado;
- Baixa manutenção do aparelho.

Uma das tarefas propostas neste trabalho consistiu na validação do procedimento de trabalho “Utilização do Haffmans c-TPO”, onde se encontra descrito o procedimento para efetuar a medição de oxigénio numa garrafa cheia. O procedimento descrito neste documento encontra-se abaixo apresentado, acompanhado das figuras 1.19 a 1.21.



Figura 1-19 - Elementos do aparelho Haffmans[26]

1 – Verificação dos manómetros

- Verificar se pressão do azoto se encontra entre (2.5 – 3.5 bar);
- Verificar se água da rede está ligada;
- Ajuste do fluxo (pressão máx. 2 .bar).



Figura 1-20 - Janela de comando do aparelho[26]

2 – Medição de O₂ total e CO₂

- Retirar 2 garrafas à saída de cada enchedora;
- Agitar vigorosamente a garrafa 10 vezes;
- Colocar a garrafa no aparelho;
- Pressionar o botão ↑ para posicionar o aparelho no menu inicial;

- Pressionar o botão → e utilizar os botões ↑ e ↓ para selecionar o produto pretendido;
- Pressionar duas vezes ← para voltar ao menu inicial;
- Pressionar o botão “Start” para iniciar a leitura.

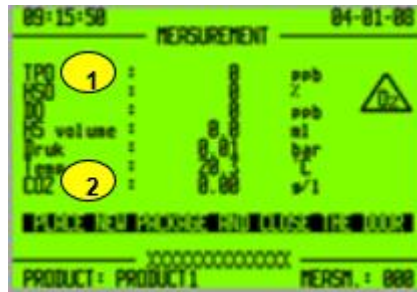


Figura 1-21 - Janela de comando[26]

3 – Análise de resultados

- Ler o valor do O₂ total (TPO)
- Ler o valor do CO₂ (CO₂)

Este procedimento foi verificado, acompanhando o técnico na sua realização experimental.

Outra tarefa proposta foi a verificação do procedimento de exportação de dados do software do Haffmans para o portal intranet da empresa. Essa exportação não se encontrava a ser realizada, os valores obtidos apenas eram anotados manualmente no Jornal de Bordo das linhas de enchimento.

A Super Bock possui 5 linhas de enchimento, no que diz respeito a garrafas de vidro, as linhas 1, 2, 3, 5 e 6. Estas foram as linhas alvo do presente estudo. No entanto, apenas existem 4 aparelhos Haffmans. O aparelho Haffmans da linha 6 mede as garrafas dessa mesma linha. O medidor Haffmans da linha 1 mede as garrafas da respetiva linha. No entanto, o computador associado ao aparelho não apresentava instalado o software necessário para realizar a extração dos dados para o portal interno da empresa, pelo que não foram analisados os dados dessa mesma linha. O Haffmans da linha 5 não se encontrava operacional, pelo que o medidor associados à linha 2 e à linha 3 também efetuava a medição das garrafas da linha 5.

Como procedimento definido pela empresa, deverão ser analisadas duas garrafas já cheias, de 4 em 4 horas. Poderão ser efetuados mais do que 2 testes, caso seja necessário.

De modo a efetuar uma análise contínua dos valores de teor de oxigénio, foi implementada uma rotina para realizar a extração dos dados e posterior análise. O aparelho tem uma memória interna de 100 medições.

Como na linha de enchimento 6, apenas são analisadas as garrafas dessa mesma linha, foi estabelecido que iriam ser exportados os dados de 4 em 4 dias.

Para o aparelho que efetua as medições das linhas 2, 3 e 5, uma vez que são analisadas substancialmente mais garrafas, foi necessário estabelecer uma rotina mais apertada, sendo por isso exportados os dados das medições de 2 em 2 dias.

Capítulo 2 - Resultados e Discussão

2.1. Teor de Oxigénio (TPO)

Como resultado da exportação dos dados das medições obtidas no aparelho Haffmans, apresenta-se então uma folha Excel com diversas informações relativamente aos testes realizados. Na figura 2.1 encontra-se apresentado um exemplo de um ficheiro obtido da exportação de dados da linha 6. Devido à política de confidencialidade da empresa, os valores concretos de TPO e de teor de CO₂ não poderão ser divulgados, bem como os produtos produzidos, razão pela qual os valores serão omitidos, e as marcas serão referidas como Marca A, Marca B, etc.

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
Data Hora	Produto	TPO	TPO_ur	HSO	HSO_ur	OD	OD_ur	Volume	Volume HS_ur	Pressi	Pressão_ur	Temperatu	Temperatura_ur	CO2	CO2_ur	CO2ts-Tempe
28/02/2020 23:37:17		i ppb	0,07	%		19 ppb	17,80	ml	2,52	bar	11,8	°C		2 g/l	0,0	
29/02/2020 07:46:42		! ppb	0,11	%		25 ppb	17,20	ml	2,33	bar	9,1	°C		7 g/l	0,0	
29/02/2020 09:47:38		i ppb	0,08	%		21 ppb	19,32	ml	2,31	bar	9,2	°C		1 g/l	0,0	
29/02/2020 13:17:28		i ppb	0,02	%		23 ppb	20,36	ml	2,20	bar	8,2	°C		3 g/l	0,0	
29/02/2020 18:06:14		! ppb	0,05	%		39 ppb	17,84	ml	2,19	bar	8,0	°C		2 g/l	0,0	
29/02/2020 21:10:44		! ppb	0,09	%		67 ppb	18,29	ml	2,41	bar	9,2	°C		3 g/l	0,0	
29/02/2020 21:16:39		! ppb	0,22	%		43 ppb	18,43	ml	2,23	bar	7,9	°C		5 g/l	0,0	
29/02/2020 21:32:48		! ppb	0,07	%		31 ppb	18,92	ml	2,35	bar	9,1	°C		2 g/l	0,0	
03/06/2020 07:56		i ppb	0,02	%		39 ppb	50,65	ml	2,23	bar	6,7	°C		5 g/l	0,0	
03/06/2020 08:05		! ppb	0,05	%		39 ppb	51,19	ml	2,30	bar	7,5	°C		5 g/l	0,0	
03/06/2020 09:10		! ppb	0,21	%		37 ppb	51,36	ml	2,14	bar	5,8	°C		1 g/l	0,0	
03/06/2020 13:39		i ppb	0,02	%		33 ppb	50,93	ml	2,16	bar	5,9	°C		3 g/l	0,0	
03/06/2020 13:44		! ppb	0,08	%		43 ppb	50,54	ml	2,19	bar	6,4	°C		2 g/l	0,0	
03/06/2020 15:46		i ppb	0,04	%		31 ppb	52,47	ml	2,41	bar	8,9	°C		5 g/l	0,0	
03/06/2020 17:03		! ppb	0,09	%		37 ppb	52,62	ml	2,12	bar	5,6	°C		5 g/l	0,0	
03/06/2020 20:01		! ppb	0,17	%		38 ppb	50,66	ml	2,16	bar	6,3	°C		3 g/l	0,0	
03/06/2020 20:09		! ppb	0,11	%		33 ppb	49,44	ml	2,18	bar	6,4	°C		5 g/l	0,0	
03/06/2020 21:15		! ppb	0,07	%		39 ppb	48,94	ml	2,16	bar	6,2	°C		3 g/l	0,0	
03/06/2020 21:24		i ppb	0,00	%		44 ppb	51,60	ml	2,25	bar	7,0	°C		7 g/l	0,0	
03/01/2020 01:00		! ppb	0,08	%		38 ppb	17,43	ml	2,21	bar	7,4	°C		3 g/l	0,0	

Figura 2-1- Dados obtidos do aparelho Haffmans

Onde:

TPO – Oxigénio Total na Embalagem

HSO – Oxigénio no *headspace*

OD – Oxigénio Dissolvido

CO2 – Teor de Dióxido de Carbono

Como se pode verificar, o aparelho fornece não só o valor da medição de oxigénio, como diversas outras informações. As mais importantes para realizar uma análise crítica destes dados são o valor de TPO, o valor de CO₂ em ppb, a data da medição e também o tipo de cerveja produzida, bem como o tipo de garrafa.

A análise realizada foi para cada aparelho Haffmans, de modo a tentar perceber se haverá alguma tendência dos valores se apresentarem fora dos limites estabelecidos para cada linha. O ideal seria existir um aparelho Haffmans por cada linha de enchimento, pois deste modo seria possível realizar uma análise mais exata dos resultados obtidos linha a linha.

A análise realizada dos dados obtidos foi efetuada para cada aparelho Haffmans, e também para os diferentes tipos cerveja produzida, bem como tipo de garrafa. Deste modo, também é possível perceber se determinado produto ou determinada garrafa apresenta uma tendência para apresentar valores fora dos limites estabelecidos. Devido à política de confidencialidade da empresa, o valor do limite máximo para o TPO e o intervalo estabelecido para o CO₂ não podem ser apresentados, bem como os valores das medições. No entanto, os gráficos seguintes mostram a relação real entre os valores das medições e os limites, apenas ocultando o seu valor em si.

No que diz respeito aos dados extraídos do aparelho Haffmans da linha 6, foi realizada uma análise geral da linha, bem como analisados os dados de acordo com os diferentes tipo de produto. Na figura 2.2. encontram-se apresentados os dados gerais desta linha.

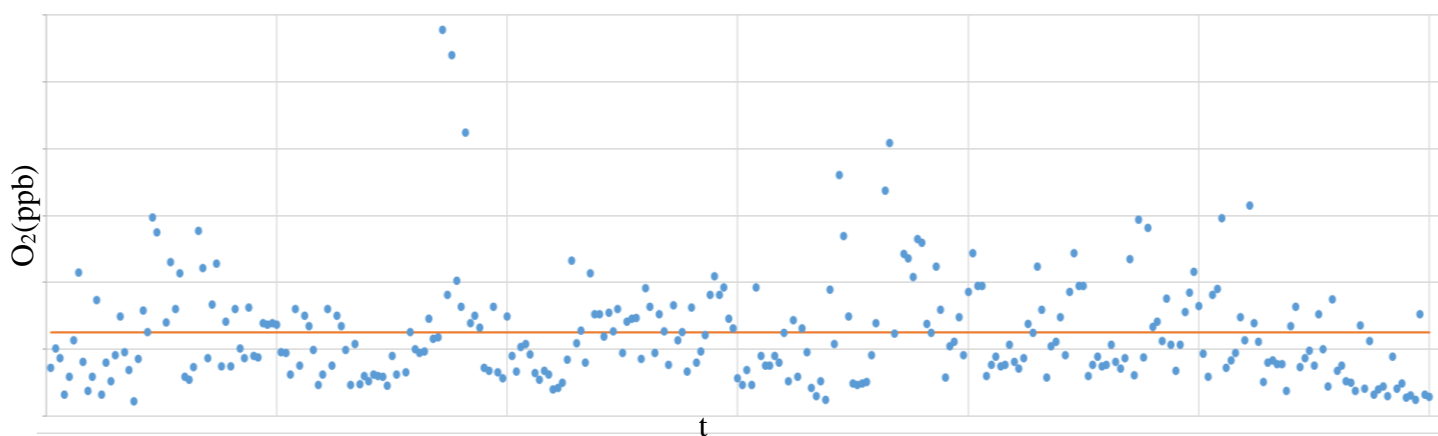


Figura 2-2 - Dados gerais da linha 6, teor de O₂ (ppb) em função do tempo

Analisando a figura 2.2, verifica-se que bastante medições encontram-se acima do limite máximo. Perante uma análise deste género, será normal encontrar algumas medições superiores ao limite estabelecido. Isto porque, se durante o processo de enchimento, ocorrer alguma anomalia que force a paragem da linha durante alguns minutos, todas as garrafas que naquele momento se encontrem cheias com cerveja mas ainda não tenham sido capsuladas vão sofrer um aumento de O₂, e muito provavelmente irão apresentar um teor superior ao desejado.

No entanto, o número de medições acima do limite apresentadas na figura 2.2 são mais elevados do que o esperado. Foi realizada então uma análise produto a produto, de modo a tentar chegar a uma conclusão mais exata. Nas figuras 2.3 a 2.5 encontram-se apresentadas as medições efetuadas para a cerveja marca A, com garrafa 33 cl tipo TP, cerveja marca B com garrafa 1L e garrafa 33cl tipo Tp.

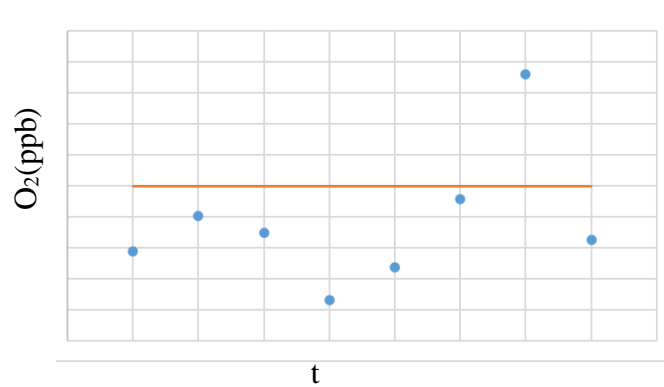


Figura 2-3- Dados marca A 33 TP da linha 6, teor de O₂ (ppb) em função do tempo

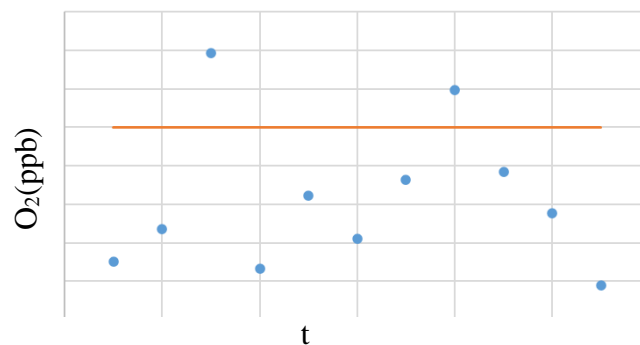


Figura 2-4 - Dados marca B 1L da linha 6, teor de O₂ (ppb) em função do tempo

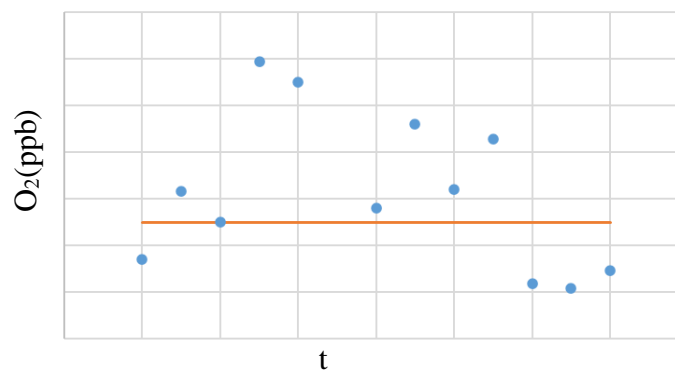


Figura 2-5 - Dados marca C 33 TP da linha 6, teor de O₂ (ppb) em função do tempo

Analisando as figuras, verifica-se que, no caso da marca A 33 TP e da marca B 1L, grande parte das medições efetuadas se encontram dentro do limite estabelecido.

No caso da cerveja marca B 33 TP, verifica-se mais de metade dos valores obtidos encontram-se acima do limite máximo. Será necessário realizar um estudo mais aprofundado deste caso particular, principalmente no que diz respeito ao processo de enchimento. Isto porque os valores da cerveja marca B em embalagens de litro se encontram dentro do limite máximo, o que mostra que o problema não estará na cerveja em si, mas sim no processo de enchimento de cada produto. Por exemplo, a programação dos parâmetros da enchedora para o programa de enchimento da marca B 33 TP poderão não estar otimizados, o que poderá levar a entradas não expectáveis de oxigênio no produto.

Nas figuras 2.6 a 2.8, encontram-se apresentados as medições de mais três tipos de produtos, a cerveja marca B preta, cerveja marca C 25 TP e 33 TP.

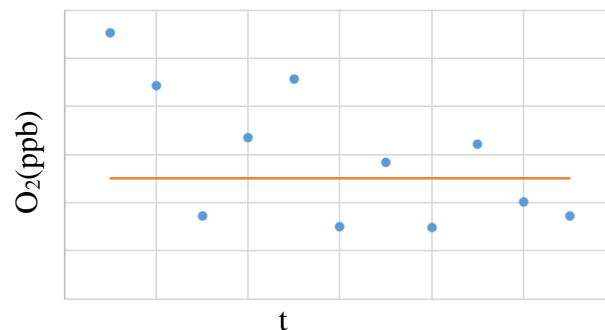


Figura 2-6- Dados marca B Preta da linha 6, teor de O₂ (ppb) em função do tempo

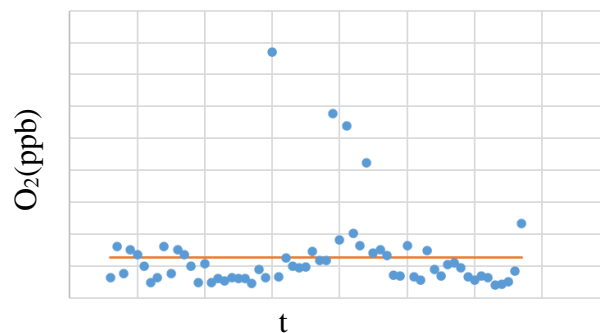


Figura 2-7- Dados marca C 25 TP da linha 6, teor de O₂ (ppb) em função do tempo

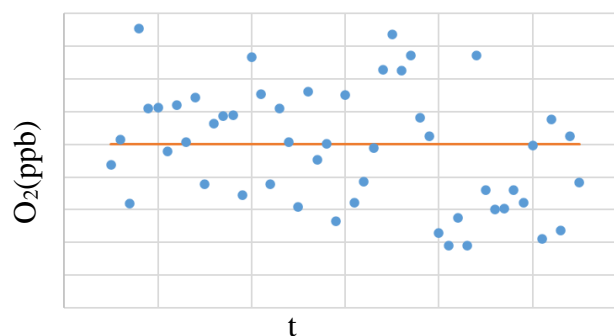


Figura 2-8- Dados marca C 33 TP da linha 6, teor de O₂ (ppb) em função do tempo

Os dados obtidos para a cerveja marca B preta apresentam mais de metade das medições fora do limite estabelecido. Este caso poderá ser diferente no caso acima apresentado (marca B 33 TP), uma vez que a cerveja preta é produzida de forma diferente da cerveja normal, pelo que não se pode apenas ter em conta o processo de enchimento dos dois produtos.

No que diz respeito à cerveja marca C 25 TP, verifica-se que grande parte das medições se encontra dentro do limite, sendo que muito poucas se apresentam ligeiramente acima do limite.

Em relação à marca C 33 TP, mais de metade dos pontos estão acima do limite estabelecido, pelo que a cerveja marca C do tipo TP com garrafa de 33 cl poderá apresentar uma tendência a incorporar mais oxigénio do que o estabelecido no seu processo de enchimento. No entanto, será necessário realizar uma análise mais contínua, de modo a confirmar se esta tendência se verifica.

Nas figuras 2.9 a 2.11 encontram-se apresentados os restantes produtos da linha de enchimento 6, marca C sem álcool 33 TP, marca C Preta 33 TP e marca C 1L, respetivamente.

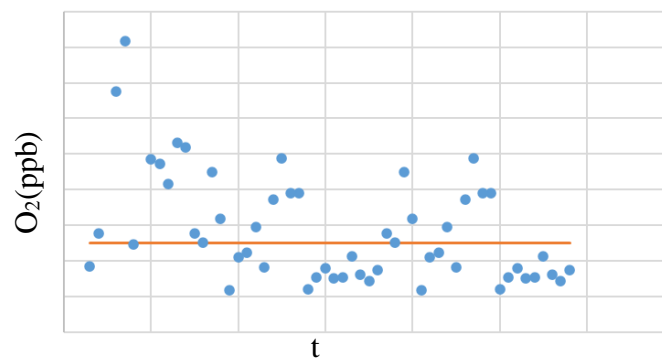


Figura 2-9- Dados marca C sem álcool 33 TP da linha 6, teor de O₂ (ppb) em função do tempo

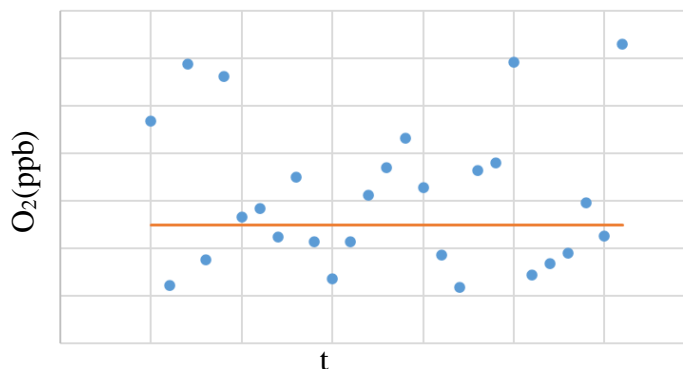


Figura 2-10- Dados marca C Preta 33 TP da linha 6, teor de O₂ (ppb) em função do tempo

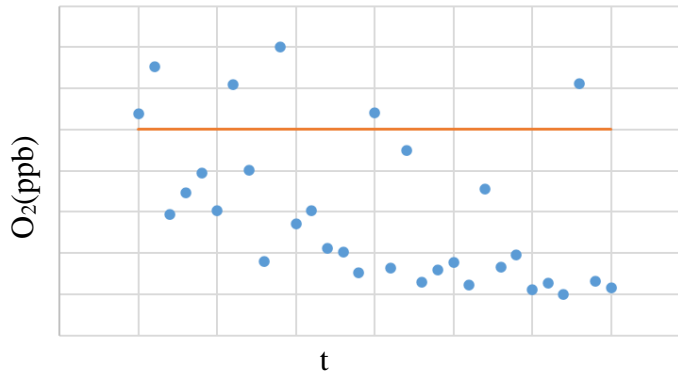


Figura 2-11- Dados marca C 1L da linha 6, teor de O₂ (ppb) em função do tempo

No caso dos produtos marca C sem álcool 33 TP e marca C Preta 33 TP, em ambos se verificam bastantes pontos acima do limite. No entanto, apenas com este estudo não é possível perceber se o problema se encontra no processo de enchimento dos produtos ou nas cervejas em si. Isto porque quer os processos de enchimento, quer o processo de produção das cervejas são diferentes. Será necessário uma análise e contínua para se verificar se esta tendência se confirma.

No que diz respeito ao produto marca C 1L, as medições deste apenas apresenta alguns pontos fora do limite máximo.

Em relação ao aparelho Haffamas da linha 2 e 3, apenas foi realizada uma exportação de dados, sendo que as conclusões a tirar não são ainda muito exatas e precisas. Na figura 2.12 encontra-se o gráfico geral das medições avaliadas.

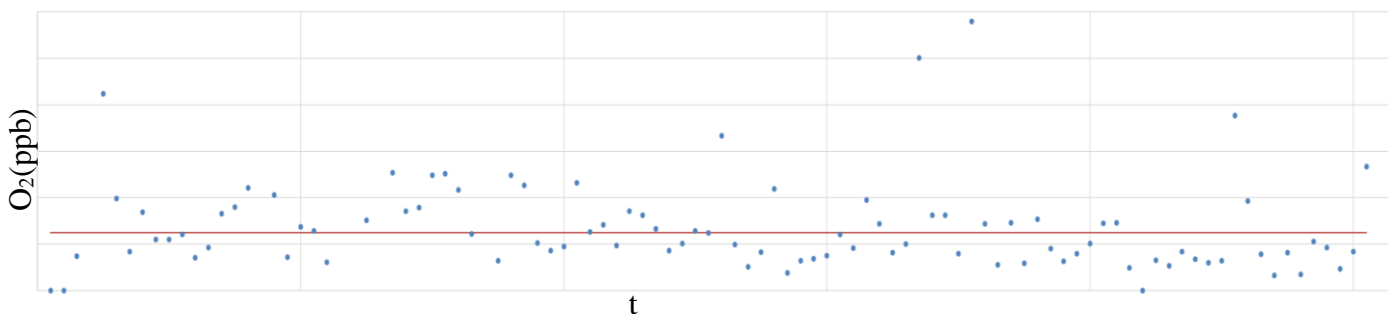


Figura 2-12 - Dados gerais da linha 2 e 3, teor de O₂ em ppb em função do tempo

Analisando então a figura 2.12, verifica-se que bastantes das medições efetuadas encontram-se acima do limite máximo. No entanto, o número de valores retirados são substancialmente menos do que os da linha 6, mas seria expectável de verificar essa situação, uma vez que o número de medições total é menor neste caso. Para além disso,

a variedade de produtos enchidos na linha 2 e 3 é menor, o que também poderá estar na origem da menos valores irregulares no presente caso.

Nas figuras 2.13 a 2.15 apresentam-se os resultados da análise da cerveja marca C tipo TP com garrafa 20 cl, marca C tipo TP com garrafa 33 cl e marca C tipo TR com garrafa 20 cl, respetivamente.

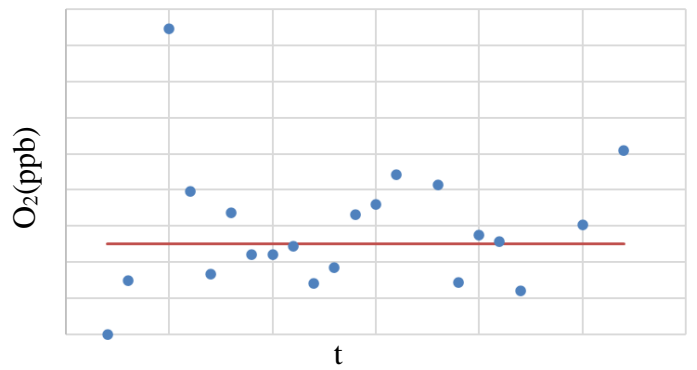


Figura 2-13 - Dados marca C TP 20cl da linha 6, teor de O_2 (ppb) em função do tempo

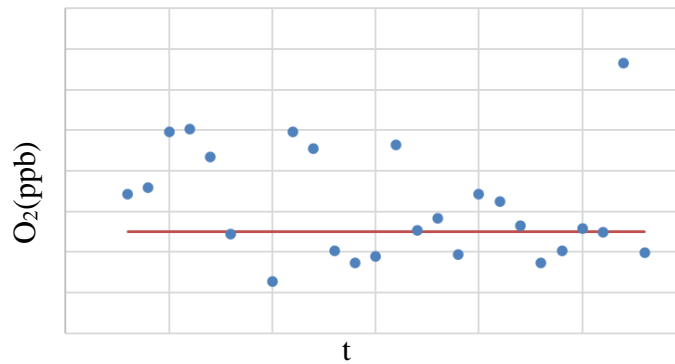


Figura 2-14 - Dados marca C TP 33cl da linha 6, teor de O_2 (ppb) em função do tempo

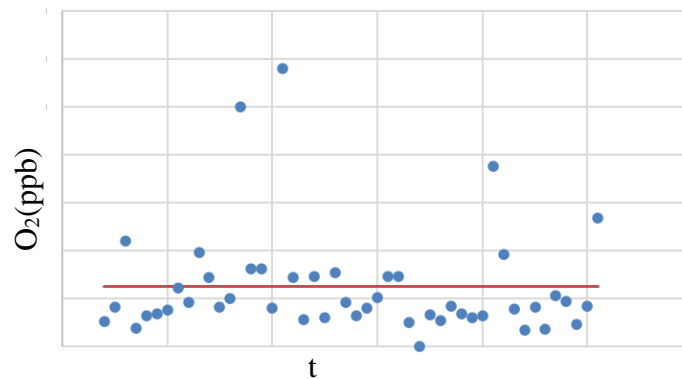


Figura 2-15 - Dados marca C TR 20cl da linha 6, teor de O_2 (ppb) em função do tempo

Analisando a figura 2.13 e 2.14, verificam-se que bastante medições se encontram acima do limite estabelecido. Já em relação à figura 2.15, apesar de existirem algumas medições acima do limite, estas encontram-se muito próximas deste.

2.2. Teor de Dióxido de Carbono

Em relação ao teor de CO₂, foram analisados os valores retirados do Haffmans da linha 6. Foi realizada uma análise geral, bem como analisados os dados de acordo com os diferentes tipo de produto. Na figura 2.16 encontram-se apresentados os dados gerais desta linha.

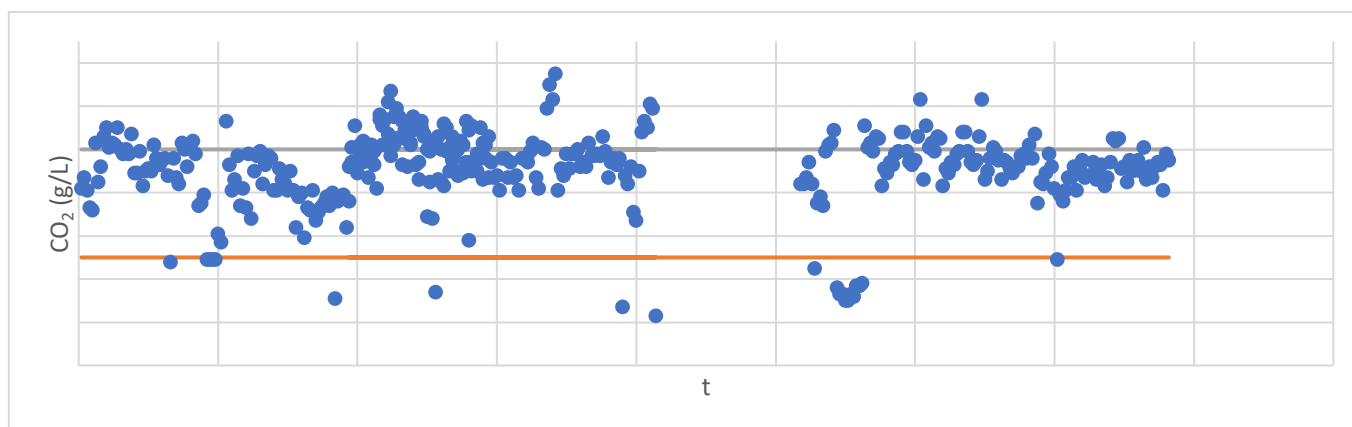


Figura 2-16 - Dados gerais da linha 6, teor de CO₂ (g/L) em função do tempo

Analisando a figura 2.16, verifica-se que a maior parte das medições efetuadas encontram-se dentro do intervalo estabelecido. No entanto, ainda se verificam alguns valores fora do intervalo, sendo que grande parte destes se apresentam acima do limite máximo. Para além disso, é possível verificar alguns aglomerados de valores acima do intervalo, o que significa que estas medições se deram em momentos consecutivos, pelo que os erros poderiam se apresentar na produção de um produto específico, principalmente na fase de fermentação da cerveja (ligeira irregularidade na temperatura ou humidade do processo). Foi realizada uma análise individual a cada tipo de cerveja produzida no período de tempo apresentado, de modo a analisar mais detalhadamente os dados obtidos.

Nas figuras 2.17 a 2.19 encontram-se apresentadas as medições efetuadas para a cerveja marca A, com garrafa 33 cl tipo TP, cerveja marca B com garrafa 1L e garrafa 33cl tipo TP.

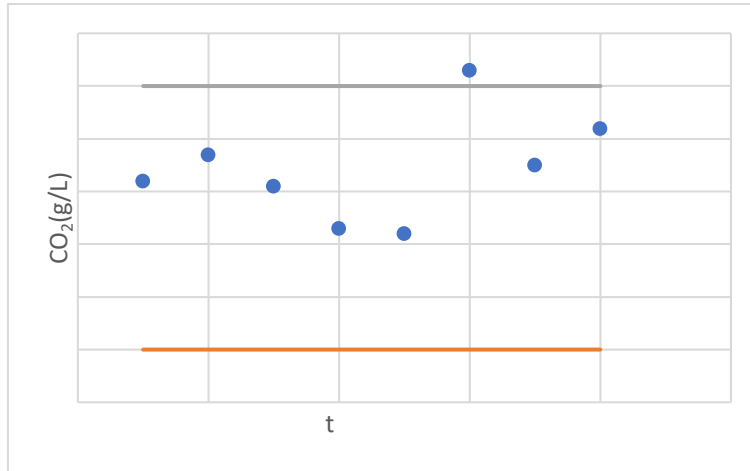


Figura 2-17- Dados marca A 33 TP da linha 6, teor de CO_2 (g/L) em função do tempo

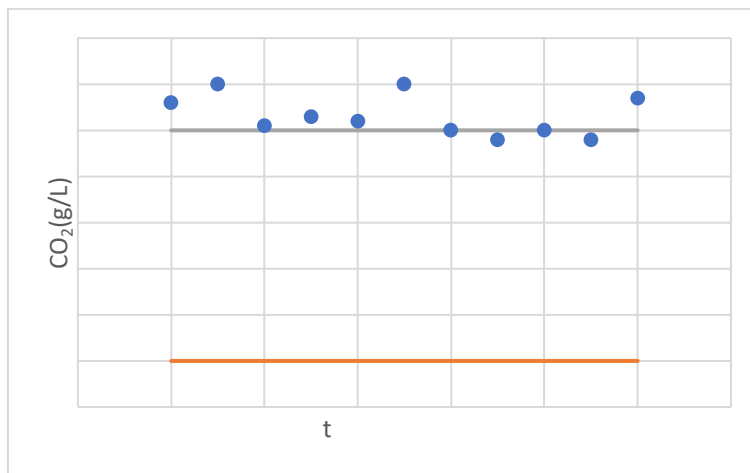


Figura 2-18- Dados marca B 33 TP da linha 6, teor de CO_2 (g/L) em função do tempo

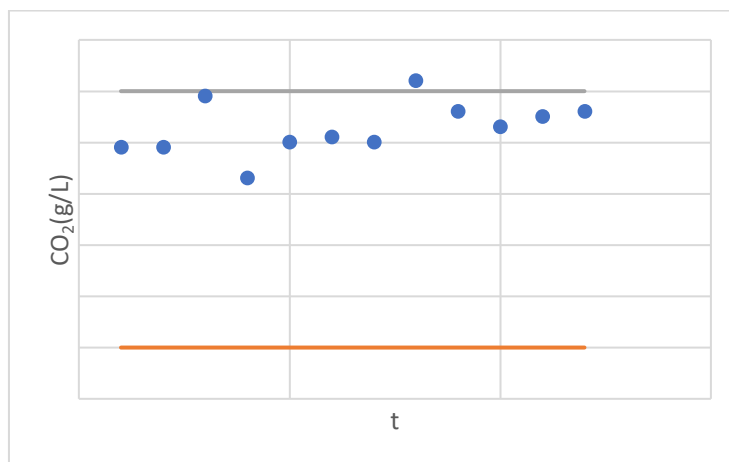


Figura 2-19 - Dados marca B 1 33 TP da linha 6, teor de CO_2 (g/L) em função do tempo

Analisando as figuras 2.17 a 2.19, verifica-se que a cerveja marca A apenas apresenta uma medição acima do intervalo estabelecido, bem como a cerveja marca B 33 TP. No entanto, os valores de teor de CO₂ obtidos para a cerveja marca B de garrafa 1L encontram-se praticamente todos acima do limite máximo. Apesar de não ser uma amostra substancial, é possível concluir que será necessário um estudo mais aprofundado do processo de enchimento da cerveja marca B nas garrafas de 1L. Isto porque os valores da cerveja marca B 33 TP encontram-se dentro dos limites, pelo que se pode concluir que o problema não será do tipo de cerveja em si, mas sim a alguma irregularidade no processo de enchimento. Por exemplo, alguma paragem durante o processo ou os parâmetros da enchedora durante o processo não estarem completamente otimizados.

Nas figuras 2.20 a 2.22 encontram-se apresentados as medições de mais três tipos de produtos, a cerveja marca B preta, cerveja marca C 20 TP e marca C 33 TP.

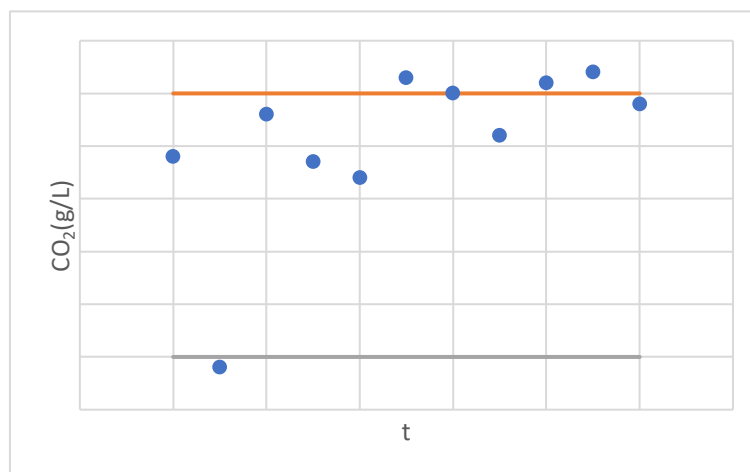


Figura 2-20 - Dados marca B Preta TP da linha 6, teor de CO₂ (g/L) em função do tempo

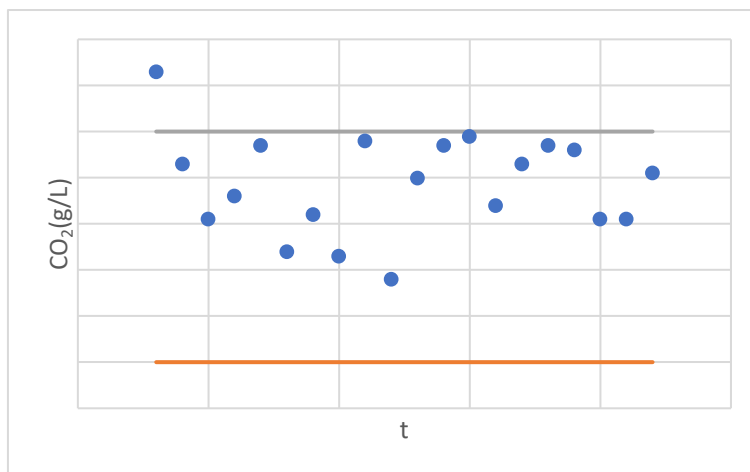


Figura 2-21 - Dados marca C 33 TP da linha 6, teor de CO₂ (g/L) em função do tempo

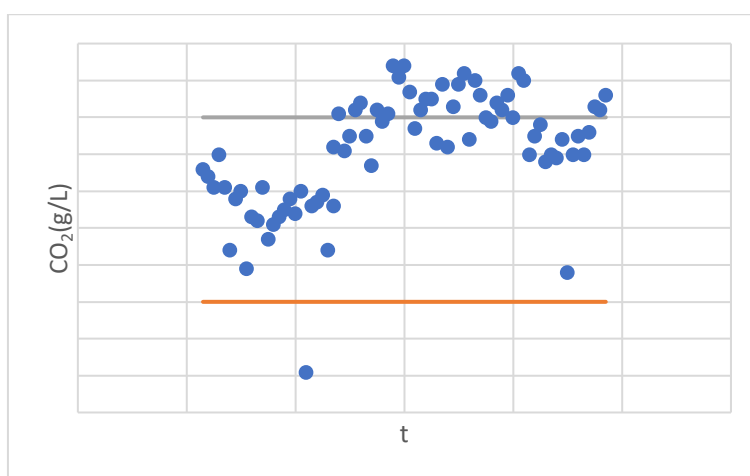


Figura 2-22- Dados marca C 33 TP da linha 6, teor de CO₂ (g/L) em função do tempo

No que diz respeito à cerveja marca B preta, verifica-se que os valores obtidos são muito dispersos, mas a maior parte encontra-se dentro dos limites. No entanto, existem muito poucos valores acima do intervalo, mas nada se pode concluir, uma vez que são apenas duas medições onde isto se verifica e apenas se encontram muito ligeiramente acima do limite máximo.

Em relação à cerveja marca C 20 TP, verifica-se que praticamente todas as medições se encontram conformes. No entanto, a cerveja marca C 33 TP apresenta um aglomerado de valores acima do limite superior do intervalo. O facto de os valores se encontrarem aglomerados, conclui-se que o problema se deu no enchimento de um lote em particular. No entanto, apenas com o estudo realizado, não se pode concluir se o problema foi originado no processo de produção da cerveja ou no processo de enchimento da mesma para as garrafas.

Nas figuras 2.22 a 2.24 encontram-se apresentados os restantes produtos da linha de enchimento 6, marca C sem álcool 33 TP, marca C Preta 33 TP e marca C 1L, respetivamente.

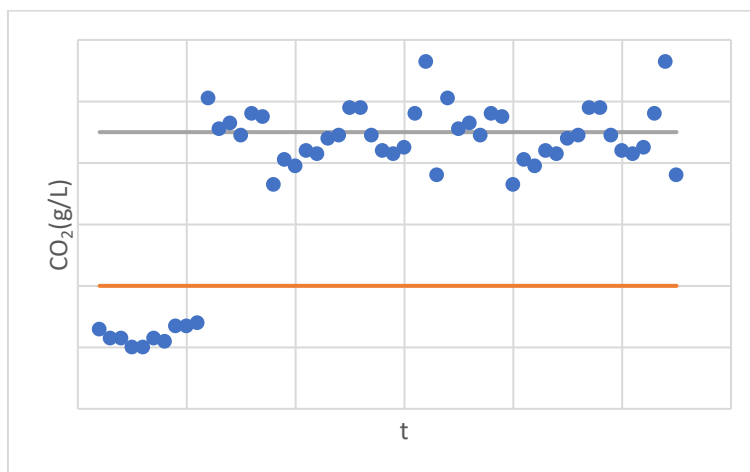


Figura 2-23 - Dados marca C sem alcóol da linha 6, teor de CO₂ (g/L) em função do tempo

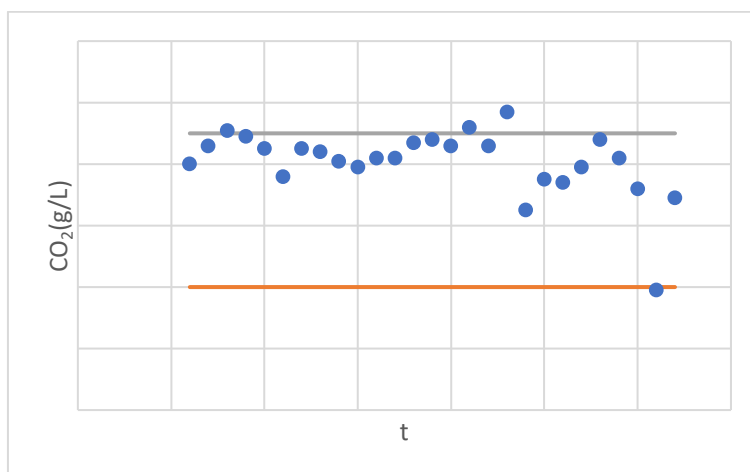


Figura 2-24- Dados marca C preta 33 TP da linha 6, teor de CO₂ (g/L) em função do tempo

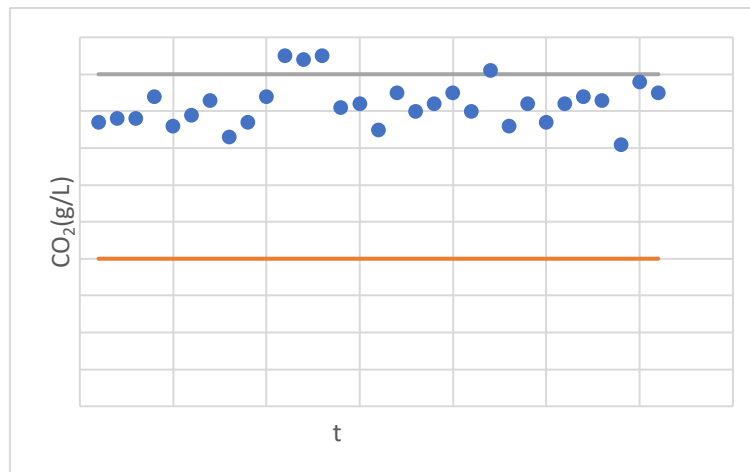


Figura 2-25 - Dados marca C 1L da linha 6, teor de CO₂ (g/L) em função do tempo

No que diz respeito às cervejas marca C 1L e marca C Preta 33 TP, verifica-se que grande parte dos valores obtidos se encontram dentro dos limites estabelecidos. No entanto, as medições efetuadas na cerveja marca C sem álcool encontram-se maioritariamente fora do intervalo estabelecido. Será necessário realizar um estudo mais aprofundado, pois uma vez que a cerveja é diferente da marca C normal, não é possível concluir se o problema será do processo de enchimento ou no processo de produção da cerveja.

2.3. Tratamento de dados

De modo a realizar uma análise mais rápida dos dados extraídos das análises do teor de oxigénio e do teor de dióxido de carbono, foi desenvolvido um código em VBA (Visual Basic for Applications).

O VBA é uma ferramenta presente no Excel que permite resolver os problemas mais facilmente e explorar recursos adicionais do programa. Esta ferramenta permite automatizar e facilitar a organização da análise de dados, bem como personalizar esta mesma análise, utilizando apenas um código.

Através do código desenvolvido, é possível saber em poucos segundos quantas das medições efetuadas, quer para o teor de oxigénio quer para o teor de dióxido de carbono, se encontram fora dos limites estabelecidos.

O primeiro passo foi criar um botão de comando, que irá servir como a base da operação. Após o código ser desenvolvido, um clique neste botão de comando irá apresentar numa caixa de texto a quantidade de medições fora dos limites estabelecidos. Na figura 2.26 encontram-se apresentados os botões de comando inseridos.

CO2ts-Temperatura	CO2ts-Temperatura_unit	CO2ts	CO2ts_unit	Medição	Amostra
0,0	°C	0,00	g/l	00182021995	
0,0	°C	0,00	g/l	00182021996	
0,0	°C	0,00	g/l	00182021997	
0,0	°C	0,00	g/l	00182021998	
0,0	°C	0,00	g/l	00182021999	
0,0	°C	0,00	g/l	00182022000	
0,0	°C	0,00	g/l	00182022001	
0,0	°C	0,00	g/l	00182022002	
0,0	°C	0,00	g/l	00182022003	
0,0	°C	0,00	g/l	00182022004	
0,0	°C	0,00	g/l	00182022005	
0,0	°C	0,00	g/l	00182022006	
0,0	°C	0,00	g/l	00182022007	
0,0	°C	0,00	g/l	00182022008	
0,0	°C	0,00	g/l	00182022009	

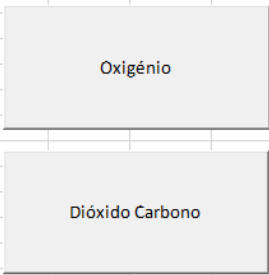


Figura 2-26 – Botões de comando do código desenvolvido

Cada um dos botões de comando irá ter o seu respectivo código que irá permitir efetuar a operação desejada.

Em relação ao oxigênio, o código desenvolvido em VBA encontra-se apresentado na figura 2.27.

```

Cópia de 20200309.xlsx - Planilha1 (Código)
CommandButton1 Click
Private Sub CommandButton1_Click()
Dim coluna As String, cont As Integer, linha As Integer
cont = 0
coluna = "C"
linha = 2
Do While Not IsEmpty(Range(coluna & linha))
If Range(coluna & linha) > x Then
cont = cont + 1
End If
linha = linha + 1
Loop
MsgBox "Foram encontrados o seguinte número de medições acima do limite de x ppb:" & cont
End Sub

```

Figura 2-27 – Código desenvolvido para os valores de oxigênio

Foram estabelecidas 3 variáveis, “coluna”, “linha” e “cont”. A variável “coluna” vai definir qual a coluna da folha de Excel irá ser analisada. Neste caso, será a coluna C, que representa a terceira coluna da folha de cálculo. Isto porque nas folhas de Excel extraídas diretamente do aparelho Haffmans, os valores de TPO encontram-se apresentados sempre na terceira coluna da folha, logo esta será a coluna a ser analisada. A variável “linha” terá o valor de 2 e a variável “cont” de 0, no início do ciclo.

De seguida, é introduzido um ciclo de repetição, ou seja, todo o código presente dentro do ciclo irá ser repetido até o critério de definição do ciclo seja concretizado. Neste caso, o ciclo irá ser repetido até que existam valores na terceira coluna da folha de cálculo.

Se estes valores forem superiores a x , que é o limite para o valor de TPO, a variável cont irá ser alterada, somando 1 unidade ao seu valor anterior. Após a célula com o valor ser verificada, será adicionado 1 unidade ao valor da linha, para que seja analisado a célula da linha seguinte mas sempre da terceira coluna. Quando o ciclo terminar, o valor da variável cont irá representar o número de medições acima do limite, sendo este valor apresentado numa caixa de texto. Na figura 2.28 encontra-se apresentado um exemplo de resultado deste código.

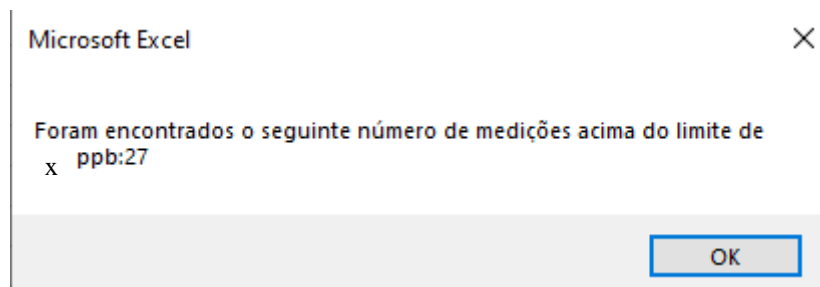


Figura 2-28 – Exemplo de resultado para o código desenvolvido para os valores de oxigénio

Ou seja, através deste método, será possível realizar uma rápida análise dos valores de TPO medidos, sendo possível analisar rapidamente algum problema existente no processo de enchimento. No entanto, isto não permite uma análise muito detalhada, ou seja, não permite verificar qual o tipo de cerveja e embalagem estará a apresentar mais valores discrepantes.

O mesmo foi realizado para se analisar os valores de dióxido de carbono. O código encontra-se apresentado na figura 2.29.

```

Private Sub CommandButton2_Click()
Dim colunal As String, cont1 As Integer, linhal As Integer
cont1 = 0
colunal = "0"
linhal = 2
Do While Not IsEmpty(Range(colunal & linhal))
If x > Range(colunal & linhal) Then
cont1 = cont1 + 1
End If
If y < Range(colunal & linhal) Then
cont1 = cont1 + 1
End If
linhal = linhal + 1
Loop
MsgBox "Foram encontrados o seguinte número de medições fora do intervalo de x a y:" & cont1
End Sub

```

Figura 2-29- Código desenvolvido para os valores de dióxido de carbono

O código é bastante idêntico ao da análise de TPO, realizando exatamente a mesma função. A única diferença é o facto de ser necessário impor duas condições aos valores analisados, pois é definido um intervalo para o teor de dióxido de carbono, sendo por isso necessário verificar se os valores se encontram dentro deste intervalo.

Capítulo 3 – Conclusões e Sugestões para Trabalho Futuro

A presente dissertação teve como principais objetivos estudar a variabilidade e redução do teor de oxigénio e de dióxido de carbono em garrafas de cerveja cheias e encapsuladas. Foi estabelecida uma rotina de extração de dados do equipamento Haffmans, sendo que este fornece os teores pretendidos nas garrafas após o enchimento das mesmas. Os valores retirados foram avaliados para todas as linhas de enchimento de garrafas de vidro, bem como analisados para os diferentes tipos de produtos produzidos.

Em relação ao valores de oxigénio, verifica-se que na linha 6 foram obtidos bastantes valores acima do limite máximo. Após ser realizada um análise a cada produto individualmente, verificou-se que as cervejas marca B 33 TP, marca B preta, marca C 33 TP, marca C sem álcool 33 TP e marca C Preta 33 TP apresentaram um número elevado de medições acima do limite máximo, pelo que será necessário um estudo mais aprofundado dos respetivos processos de enchimento ou de etapas anteriores a esta. O mesmo se verifica nos produtos marca C 20 TP e marca C 33 TP, em relação às linha de enchimento 2 e 3.

No que diz respeito aos valores de dióxido de carbono, apenas foram estudados as medições efetuadas na linha de enchimento 6. Verifica-se então que grande parte dos valores obtidos encontram-se dentro do intervalo estabelecido, sendo que os valores que se encontram acima do limite máximo apresentam-se aglomerados em maior parte, pelo que se pode concluir que grande parte destes valores superiores ao limite máximo são resultado de medições praticamente consecutivas. Analisando os produtos individualmente, verificou-se que os produtos marca B 1L, marca C 33 TP e marca C sem álcool 33 TP apresentaram um número de medições consideráveis fora do intervalo estabelecido.

No entanto, nem todos os objetivos traçados para o presente trabalho foram concluídos, uma vez que o estágio foi interrompido, devido à situação atual. Não foi possível realizar uma extração de dados contínua, o que daria uma amostra bastante mais significativa e precisa dos problemas existentes em relação aos valores de oxigénio e dióxido de carbono, uma vez que o estágio na empresa foi interrompido.

Para além disso, também não foi possível estudar as possíveis origens dos valores discrepantes obtidos. O objetivo traçado seria estudar mais aprofundadamente o processo

de enchimento de certos produtos, como por exemplo os parâmetros contidos nos programas da enchedora.

Para trabalhos futuros, sugere-se um estudo contínuo dos valores de oxigênio durante um período de tempo mais extenso, de maneira a retirar uma tendência mais exata dos teores dos gases nos diferentes produtos.

Sugere-se também um estudo dos valores de oxigênio e dióxido de carbono em etapas anteriores à de enchimento, recorrendo, por exemplo, a um medidor de oxigênio portátil. Isto seria bastante vantajoso uma vez que, comparando o teor das etapas anteriores ao enchimento com o teor nas garrafas já cheias, permite perceber se os valores que se encontrarem acima dos limites máximos estabelecidos se devem a problemas na etapa de enchimento ou em etapas anteriores, ou seja, no processo de produção da cerveja.

Referências bibliográficas

[1] – Super Bock, “A história do Super Bock Group”:

<https://www.superbock.pt/pt/pt/mundo-super-bock/> (acedido a 23 de Março 2020)

[2] – Silva, D (2008); *Estudo das Quebras de Embalagem nas Linhas de Produção em Tara Perdida: o caso da UNICER*; Tese de mestrado (Tese em Economia Gestão e Engenharia Industrial); Universidade de Aveiro

[3] - Escola Superior Agrária de Coimbra. “Processo de Fabrico da Cerveja”, 2010 http://www.esac.pt/noronha/pgs/0910/Trabalhos_mod1/CERVEJA.pdf (acedido a 21 de Julho 2020)

[4] - Sascha, W, Back, W (2009) *Beer Making, Hops and Yeast*, General Aspects of Beer and Constituents

[5] – Pereira, M (2016); *Otimização energética de maltagem a menor temperatura de estufagem*; Tese de Mestrado (Tese em Química); Faculdade de Ciências da Universidade do Porto

[6] – Preedy, V, 2008, *Beer in Health and Disease Prevention*. Londres (Reino Unido) Academic Press

[7] – Webstaurant store. “Different types of beer” 2019

<https://www.webstaurantstore.com/article/27/different-types-of-beers.html> (acedido a 5 de Outubro 2020)

[8] - Kunze, W, 2019, *Technology: Brewing and Malting*. Berlim (Alemanha) VLB Berlin

[9] - Rosenthal, R. “Processo maltagem”, 2019

<https://www.hominilupulo.com.br/universo-da-erveja/maltagem/> (acedido a 29 de Julho 2020)

[10] - Eßlinger, H. *Handbook of Brewing: Processes, Technology, Markets*. Alemanha, 2009. 978-3-527-31674-8.

- [11] - Esteves, R (2012); *Análise de causas da quebra de garrafas de vidro em linhas de enchimento de cerveja*; Tese de mestrado (Tese em Engenharia Mecânica); Universidade do Minho
- [12] –Kuchel, L, Brody, A, Wicker,L (2006); *Oxygen and Its Reactions in Beer*; Universidade da Geórgia, EUA
- [13] - O'Rourke, T (2002) *The role of oxygen in brewing*, The Brewer International, pág. 45-47
- [14] - Pinto, A (2008); *Optimização da Etapa de Filtração de Cerveja*; Tese de mestrado (Tese em Engenharia Química); Faculdade De Engenharia da Univerdade do Porto
- [15] - Mattana, C (2010) *Efeito do trans-2-nonenal na qualidade sensorial da cerveja*, Tese em Engenharia dos Alimentos, Universidade Federal do Rio Grande do Sul
- [16] – Vanderhaegen, B., H. Neven, H. Verachtert, and G. Derdelinckx. *The chemistry of beer aging*—a critical review. *Food Chemistry* 95 (2006): 357–81.
- [17] - C. W. Bamforth, R. E. Muller & M. D. Walker (1993); *Oxygen and Oxygen Radicals in Malting and Brewing: A Review*, *Journal of the American Society of Brewing Chemists*, 51:3, 79-88, DOI: 10.1094/ASBCJ-51-0079
- [18] – Finn, L (2010); *Dissolved Oxygen and Total Packaged Oxygen in Beer a Handbook to meet New Tighter Specifications*; Carlsberg Group Research: Brewing Technology Beer Version 1.0
- [19] - Philliskirk, G, “Carbon dioxide in beer”, 2020
<https://beerandbrewing.com/dictionary/86FswDcQhz/> (acedido a 27 de Agosto de 2020)
- [20] - Analox Sensor Technology. “ How are the bubbles in your beer formed?”, 2019
<https://www.analoxsensortechnology.com/blog/2019/04/24/howarebubblesinbeerformed/> (acedido a 3 de Setembro 2020)
- [21] - KegWorks. “Ideal CO2 Gauge Pressure Settings for Different Styles of Beer”, 2017
https://content.kegworks.com/blog/co2-gauge-pressure-settings-draft-beer-styles?hs_amp=true (acedido a 20 de Setembro de 2020)

- [22] - Hach Company, “How to measure dissolved oxygen in the brewery”, 2014
<https://www.hach.com/appnote-measure-DO-brewery> (acedido a 14 de Agosto de 2020)
- [23] - Hach Company, “ Reference standard for tpo analytical methods”, 2015
https://www.hach.com/cms-portals/hach_com/cms/documents/pdf/Marketing/TPO-analytical-methods-DOC42.53.20216.Sep15.pdf (acedido a 14 de Agosto de 2020)
- [24] – Soares, M (2017); *Melhoria da Eficiência Operacional de uma Linha de Enchimento de Cerveja*; Tese de mestrado (Tese em Engenharia de Serviços e Gestão); Faculdade De Engenharia da Univerdade do Porto
- [25] – Fúlvia Caropreso, “As cervejas e as suas famílias”, 2017
<http://www.falecomfulvia.com.br/cervejas-e-suas-familias/> (acedido a 7 de Outubro de 2020)
- [26] – Documentos internos da empresa Super Bock Group