

**Mestrado Integrado em Engenharia Química**

***Optimização do Processo de Filtração de Cerveja***

**Tese de Mestrado**

desenvolvida no âmbito da disciplina de

**Projecto de Desenvolvimento em Ambiente Empresarial**

**Joana Boaventura**



**Unicer Bebidas S.A.**



Universidade do Porto  
Faculdade de Engenharia

**FEUP**

**Departamento de Engenharia Química**

Orientador na FEUP: **Prof. Doutor Adélio Mendes**

Orientador na empresa: **Eng.ª Maria Manuel Dantas**

**Março de 2009**

---



## Agradecimentos

Quero agradecer de um modo geral a todos aqueles que contribuíram e me ajudaram a realizar o Projecto de Desenvolvimento.

Agradeço à Eng.<sup>a</sup> Maria Manuel Dantas pela orientação e tempo disponibilizado ao longo do trabalho.

Agradeço ao Professor Doutor Adélio Mendes pela partilha de conhecimentos e confiança depositada.

Agradeço à Eng.<sup>a</sup> Joana, ao Dr. Filipe, à D. Isabel e D. Fátima, pela ajuda, companhia e bom ambiente de trabalho que proporcionaram.

Agradeço aos técnicos do Serviço de Produção: José Carlos Serdoura, António Carneiro, Carlos Alberto Castro, Tiago Teixeira, Pedro Oliveira, António Magalhães, Pedro Gonçalves, Ricardo Figueiredo, Armandino Pires, Rogério Brito, Nuno Costa, Nelson Moreira, André Duarte, Mário Cunha, Filipe Gonçalves, Pedro Machado, Jorge Filipe, Tiago Cardoso, Fernando Pinto, António Navarro e Paulo Pacheco pelas explicações, esclarecimentos e ajuda, essenciais no decorrer de todo o trabalho.

Agradeço ao Eng.<sup>o</sup> Luís Carlos Matos pela ajuda e boa disposição demonstradas.

Por último, agradeço à minha família e amigos pelo apoio demonstrado.

---

## Resumo

O Projecto de Desenvolvimento em Ambiente Empresarial decorreu na empresa de cerveja UNICER BEBIDAS S.A., e incidiu sobre a etapa de filtração de cerveja. O objectivo principal do trabalho consistiu em diminuir o adjuvante de filtração de cerveja, kieselguhr e aumentar o volume de cerveja filtrada por ciclo de filtração.

Acompanharam-se vários ciclos de filtração e identificaram-se as variáveis operatórias relevantes. Os ciclos foram optimizados com as melhorias: aumento da eficiência das purgas de levedura, recurso à copagem de cerveja enviada para o filtro de KG e redução da adição de PVPP. Em simultâneo a estes procedimentos, procedeu-se à redução da concentração de KG adicionada ao longo do ciclo de filtração de cerveja.

Reduziu-se a adição de KG em 30 g/hl de cerveja na linha Orion e 18 g/hl na linha de filtração Schenk. Os ciclos de filtração foram optimizados, sendo neste momento possível filtrar mais cerca de 15 e 11 % de cerveja nas linhas Orion e Schenk, respectivamente.

**Palavras-chave:** cerveja, kieselguhr, filtro, ciclo de filtração, células de levedura.

---

## Abstract

The Project Development in Business Environment was held in the company of beer UNICER BEBIDAS S.A., and focused on the stage of filtration of beer. The main objective of the work was to reduce the adjuvant of the filtration of beer kieselguhr and increase the volume of beer filtered by filtration cycle.

Several cycles of filtration were followed and were identified relevant operative variables. The cycles were optimized with the improvements: increasing the efficiency of purges of yeast, joined up the beer from fermentation tanks and the addition of the PVPP to the beer was reduced. In parallel to these procedures, an attempt was made to reduce the concentration of KG added over the filtration of beer cycle.

The addition of KG was reduced in 30 g / hl of beer in the Orion line and 18 g / hl in the Schenk line filtration. The filtration cycles were optimized, and can now filter around 15 and 11 % more beer in the lines Schenk and Orion, respectively.

Keywords: beer, kieselguhr, filter, filtration cycle, yeast cells.

---

---

# Índice

1	Introdução.....	1
1.1	Enquadramento e Apresentação do Projecto.....	1
1.2	Contributos do trabalho .....	7
2	Estado da Arte .....	8
2.1	Etapa de filtração da cerveja.....	8
2.2	Processos de separação por membranas (PSM).....	12
3	Apresentação e discussão dos Resultados.....	17
3.1	Optimização dos Consumos de KG .....	17
3.2	Situação actual .....	17
3.3	Critérios de decisão .....	23
3.4	Redução de custos .....	34
4	Conclusões .....	35
5	Avaliação do trabalho realizado.....	36
5.1	Objectivos Realizados.....	36
5.2	Limitações e Trabalho Futuro .....	36
5.3	Apreciação final .....	36
6	Referências .....	37
Anexo 1	Granulometria ao longo da filtração na linha Orion. ....	39
Anexo 2	Granulometria ao longo da filtração na linha Schenk.....	40
Anexo 3	Programas de formação de pré-camadas e filtração da linha Orion.....	41
Anexo 4	Programas de formação de pré-camadas e filtração da linha Schenk.....	42
Anexo 5	Automatos .....	43

# Índice de Figuras

<i>Figura 1 - Esquema representativo da linha de filtração Orion. ....</i>	<i>4</i>
<i>Figura 2 - Esquema representativo da linha de filtração Schenk. ....</i>	<i>4</i>
<i>Figura 3 - Representação dos mecanismos de retenção de sólidos no KG. ....</i>	<i>10</i>
<i>Figura 4 - Esquema representativo de filtração com KG e filtração através de membranas. ....</i>	<i>13</i>
<i>Figura 5 - Ilustração de colmatção externa, perspectiva lateral da membrana. ....</i>	<i>13</i>
<i>Figura 6 - Ilustração de colmatção interna, perspectiva em corte da membrana. ....</i>	<i>14</i>
<i>Figura 7 - Esquema representativo de filtração dinâmica por membranas. ....</i>	<i>14</i>
<i>Figura 8 - Representação das razões percentuais para abortar a filtração nas linhas Orion e Schenk respectivamente. ....</i>	<i>18</i>
<i>Figura 9 - Fotografias de amostras de cerveja à saída do filtro de KG da linha Orion e Schenk respectivamente, ampliação de 400 X. ....</i>	<i>19</i>
<i>Figura 10 - Distribuição granulométrica das partículas de kieselguhr na linha de filtração Orion. ....</i>	<i>20</i>
<i>Figura 11 - Distribuição granulométrica das partículas de kieselguhr na linha de filtração Schenk. ....</i>	<i>21</i>
<i>Figura 12 - Representação percentual das causas que levam a abortar a filtração na linha Orion. ....</i>	<i>24</i>
<i>Figura 13 - Representação das razões percentuais para abortar a filtração na linha Orion. ....</i>	<i>24</i>
<i>Figura 14 - Representação gráfica do volume de cerveja filtrada antes e depois das alterações. ....</i>	<i>25</i>
<i>Figura 15 - Comparação do volume de cerveja filtrada na mesma época do ano em 2008. ....</i>	<i>25</i>
<i>Figura 16 - Representação gráfica da concentração de KG adicionada na filtração de cerveja antes e depois das alterações. ....</i>	<i>26</i>
<i>Figura 17 - Comparação da concentração de KG adicionada durante a filtração de cerveja na mesma época do ano em 2008. ....</i>	<i>27</i>
<i>Figura 18 - Turvação média nos ciclos de filtração na linha Orion. ....</i>	<i>28</i>
<i>Figura 19 - Representação percentual das causas que levam a abortar a filtração na linha Schenk. ...</i>	<i>28</i>
<i>Figura 20 - Representação das razões percentuais para abortar a filtração na linha Schenk. ....</i>	<i>29</i>
<i>Figura 21 - Representação gráfica do volume de cerveja filtrada antes e depois das alterações. ....</i>	<i>29</i>
<i>Figura 22 - Comparação do volume de cerveja filtrada na mesma época do ano em 2008. ....</i>	<i>30</i>
<i>Figura 23 - Representação gráfica da concentração de KG adicionada durante a cerveja antes e depois das alterações. ....</i>	<i>31</i>
<i>Figura 24 - Comparação da concentração de KG adicionada na filtração da cerveja na mesma época do ano em 2008. ....</i>	<i>31</i>

*Figura 25 - Turvação média nos ciclos de filtração na linha Schenk. .... 32*

*Figura 26 - Relação entre o número e diâmetro das partículas 1 hora após o início de filtração..... 39*

*Figura 27 - Relação entre o número e diâmetro das partículas 3 horas após o início de filtração..... 39*

*Figura 28 - Relação entre o número e diâmetro das partículas 5 horas após o início de filtração..... 39*

*Figura 29 - Relação entre o número e diâmetro das partículas no início de filtração. .... 40*

*Figura 30 - Relação entre o número e diâmetro das partículas 1 hora após o início de filtração..... 40*

*Figura 31 - Relação entre o número e diâmetro das partículas 3 horas após o início de filtração..... 40*

*Figura 32 - Relação entre o número e diâmetro das partículas 5 horas após o início de filtração..... 40*

*Figura 33 - Imagem do autómato do filtro de KG da linha de filtração Orion. .... 43*

*Figura 34 - Imagem do autómato do filtro de KG da linha de filtração Schenk. .... 43*

# Índice de Tabelas

<i>Tabela 1 - Etapas dos ciclos de filtração. ....</i>	17
<i>Tabela 2 - Relação entre distribuição granulométrica e número de partículas de kieselguhr na linha de filtração Orion.....</i>	20
<i>Tabela 3 - Relação entre distribuição granulométrica e número de partículas de kieselguhr na linha de filtração Schenk.....</i>	21
<i>Tabela 4 - Teor em PVPP.....</i>	22
<i>Tabela 5 - Concentração de células de levedura na alimentação de entrada e saída do filtro de KG.....</i>	22
<i>Tabela 6 - Concentração de células de levedura na alimentação de entrada e saída do filtro de KG.....</i>	22
<i>Tabela 7 - Concentração de células de levedura na alimentação de entrada do filtro de KG.....</i>	23
<i>Tabela 8 - Valores médios do volume de cerveja na linha Orion e desvio padrão.....</i>	26
<i>Tabela 9 - Valores médios de KG adicionado na linha Orion e desvio padrão.....</i>	27
<i>Tabela 10 - Valores médios do volume de cerveja filtrado e desvio padrão.....</i>	30
<i>Tabela 11 - Valores médios de KG adicionado e desvio padrão.....</i>	32
<i>Tabela 12 - Concentração de polifenóis e proteínas nas cervejas tipo: Super bock, Carlsberg e Cristal Branca.....</i>	33
<i>Tabela 13 - Quantidade de KG reduzida nas pré-camadas e consequente de custos.....</i>	34
<i>Tabela 14 - Quantidade de KG médio reduzido e diminuição consequente de custos.....</i>	34
<i>Tabela 15 - Programa de formação de pré-camadas da linha Orion.....</i>	41
<i>Tabela 16 - Programa de filtração na linha Orion.....</i>	41
<i>Tabela 17 - Programa de formação de pré-camadas da linha Schenk.....</i>	42
<i>Tabela 18 - Programa de filtração na linha Schenk.....</i>	42

# Glossário

## *Lista de Siglas*

KG	Kieselguhr
PVPP	Poli-venil-poli-pirrolidona
CC	Cilindro-cónica
KMS	Metabissulfito de Potássio
TCF	Tanque de Cerveja Filtrada
PSM	Processo de Separação por Membranas
MF	Microfiltração
EBC	European Brewery Convention

# 1 Introdução

O presente Projecto de Desenvolvimento em Ambiente Empresarial do Mestrado Integrado em Engenharia Química foi realizado na empresa de cerveja UNICER BEBIDAS S.A. O trabalho centrou-se na etapa de filtração da cerveja, e teve como objectivo a optimização do consumo de kieselguhr (KG). Foi realizado um estudo sobre um sistema alternativo de filtração através de membranas.

De seguida faz-se uma breve introdução ao processo de produção de cerveja no Centro de Produção de Leça do Balio.

## 1.1 Enquadramento e Apresentação do Projecto

### Definição de cerveja

A cerveja é uma bebida alcoólica, obtida pela fermentação de um extracto aquoso de cereais germinados, o malte de cevada é o geralmente usado. É constituída essencialmente por água e rica em nutrientes.

### Matérias-primas

As matérias-primas necessárias para a elaboração deste produto são: malte de cevada, água, lúpulo e levedura.

**Malte** designa o produto resultante da germinação controlada de cereais. Na produção de malte os grãos são previamente macerados até atingir a humidade necessária para a germinação, posteriormente são dissecados mediante uma corrente de ar que detém a germinação.

A qualidade da **água** usada no fabrico da cerveja é responsável por grande parte do sucesso desta bebida. Actualmente, devido ao desenvolvimento da tecnologia é possível adequar qualquer água para a produção de cerveja.

O **lúpulo** é uma planta e pertence à família *Cannabaceae* <sup>[1]</sup>. O seu valor comercial reside na existência de pequenas glândulas de lupulina, ricas em resinas amargas e óleos.

As **leveduras** são organismos unicelulares e reproduzem-se por bipartição. Podem obter a energia que precisam na presença ou ausência de oxigénio. Na presença de oxigénio realizam respiração aeróbia, na ausência deste realizam a fermentação. As diferenças existentes entre a estrutura química destes microrganismos, são responsáveis por algumas estirpes subirem à superfície no final do processo fermentativo; estas leveduras, de “fermentação alta” contrastam com as de “fermentação baixa” que se depositam na base do fermentador <sup>[2]</sup>.

O processo de produção de cerveja divide-se em duas secções: Produção e Enchimento. A secção de Produção subdivide-se nas unidades de Fabrico e Adega.

### Unidade de fabrico

O malte e o griz transportam-se até à fábrica através de camiões de grande volume e são armazenados em silos.

A primeira fase do processo de produção de cerveja é denominada de **brassagem** e engloba as transformações que ocorrem na caldeira de caldas e caldeira de empastagem. Na **caldeira de caldas** é introduzido griz juntamente com água e uma pequena percentagem de malte. A caldeira de caldas promove-se a liquefação do amido proveniente do griz. A adição de malte tem por objectivo fornecer as enzimas necessárias para hidrolisar o amido <sup>[1]</sup>. O malte é enviado para a **caldeira de empastagem** e adiciona-se o conteúdo da caldeira anterior. O malte é hidratado mediante a adição de água quente. O processo decorre cumprindo temperaturas e tempos definidos e controlo do pH. O ataque enzimático conduz à progressiva solubilização do conteúdo das partículas do malte, deixando apenas um pequeno resto de materiais não degradáveis. As amilases actuam coordenadamente, para libertar açúcares fermentescíveis e dextrinas não fermentescíveis. Este processo de sacarificação tem como objectivo promover e assegurar a hidrólise rápida e eficaz de todo o amido. A água adicionada permeia através do leito e dissolve as substâncias extractíveis. A solução final obtida designa-se de mosto.

Depois do processo de brassagem procede-se à **filtração do mosto**, toda a matéria solúvel que foi extraída do malte e griz separa-se da parte insolúvel, designada por drêche, constituída por cascas, proteínas e lípidos.

Segue-se no circuito do processo a **ebulição**. Efectua-se à pressão atmosférica e tem por finalidade: inactivar o sistema enzimático, destruir microrganismos, evaporar produtos voláteis e água que por conseguinte concentra o mosto. Nesta etapa adiciona-se lúpulo.

No final da ebulição o mosto é enviado para um decantador e permanece a repousar, esta etapa designa-se por **clarificação do mosto**. São eliminados os precipitados formados e o lúpulo que não foi dissolvido durante a etapa de ebulição.

### Unidade da Adega <sup>[1,2]</sup>

O mosto é transportado até à adega, onde sofre **arrefecimento** através de um permutador de placas.

Depois de arrefecido, o mosto é enviado para uma cuba de **fermentação** juntamente com a levedura armazenada. A actividade fermentativa evidencia-se pela acumulação de espuma na superfície e pelo desprendimento de dióxido de carbono.

Após ocorrer fermentação, a cerveja, que ainda contem suspensão de levedura e uma parte de material fermentescível passa por um processo designado por **maturação**. Esta fase caracteriza-se por um repouso prolongado. Contribui para melhorar a clarificação da cerveja e sabor, e favorece a eliminação de substâncias não desejáveis para a cerveja, como o diacetilo.

Durante a fase de **estabilização a frio**, percursores de turvação na cerveja em garrafa, tais como proteínas ricas em prolina e polifenóis originários do malte, aglomeram-se e precipitam, deste modo a sua remoção torna-se mais fácil. No final desta etapa a cerveja encontra-se pronta para ser filtrada.

A etapa de **filtração** de cerveja concretiza-se com a utilização de dois filtros, de KG e polivenilpolipirrolidona (PVPP). A cerveja à saída da cilindro-cónica contém produtos em suspensão, principalmente células de levedura, proteínas e polifenóis. Esta etapa realiza-se a baixas temperaturas, de modo a evitar a redissolução dos colóides. No final do processo a cerveja está límpida, pronta para ser enviada para os tanques de cerveja filtrada (TCF's).

## Secção de Enchimento

A etapa final de produção de cerveja é o enchimento; a cerveja é acondicionada em garrafas e barris. Para garantir a eliminação de todos os microrganismos aplica-se o método de pasteurização. Os últimos passos na secção do enchimento são: rotulagem e embalagem.

A realização do trabalho concretizou-se na Unidade da Adega da fábrica. Acompanhou-se o desempenho da etapa de filtração de cerveja, mais precisamente no filtro de KG. O objectivo principal da filtração através de KG é eliminar substâncias e microrganismos causadores de turvação.

## Linha de filtração

A cerveja turva percorre um conjunto de equipamentos até ser transformada em cerveja límpida, este conjunto organizado designa-se por linha de filtração. Existem duas linhas de filtração de cerveja na UNICER: Orion e Schenk. Nas figuras 1 e 2 encontram-se esquematizadas as duas linhas de filtração existentes.

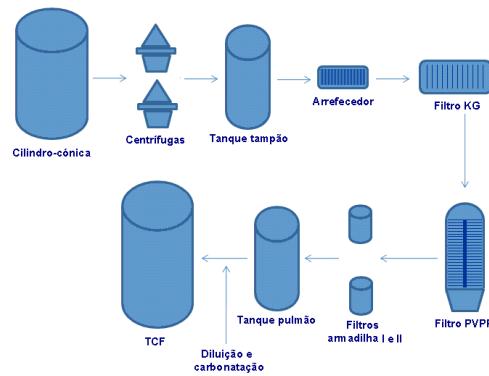


Figura 1 - Esquema representativo da linha de filtração Orion.

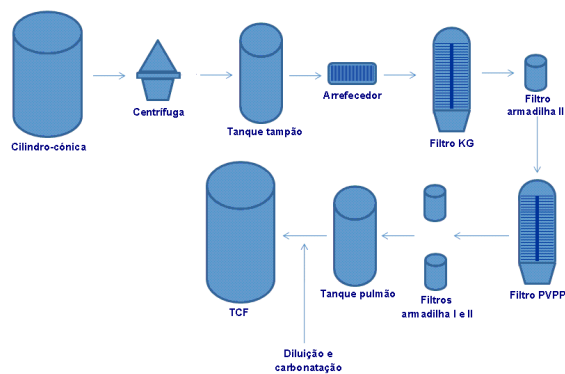


Figura 2 - Esquema representativo da linha de filtração Schenk.

### Cilindro-cônica

Após a fermentação, a cerveja permanece na cilindro-cônica (CC) até ser filtrada. A CC depois da etapa de fermentação, contém uma elevada concentração de levedura, que decanta sendo posteriormente retirada. Designa-se este processo por purga de levedura. Realizam-se duas purgas para retirar a levedura existente: a primeira é enviada para o tanque de armazenamento de levedura para ser reutilizada, a segunda purga é enviada para o tanque de levedura rejeitada para recuperação de cerveja. No caso do tanque que recebe a segunda purga de levedura estar repleto, a cerveja purgada é enviada para uma CC disponível para este propósito. Se no final desta purga a cerveja contida na CC não for utilizada durante várias horas é feita uma nova purga antes de entrar no filtro, de pequeno volume. O controlo das purgas é visual, depende da percepção de cada operador; a purga termina quando este verifica visualmente que a cerveja não tem muita levedura. Acontece frequentemente as cubas não serem filtradas do início ao fim, quando isto acontece é necessário encher a linha até à CC com água desarejada.

### **Centrífuga**

A cerveja segue a linha de tubagem até chegar à centrífuga, aí elimina-se grande parte da levedura e partículas de maiores dimensões que não decantaram na CC. Na linha Schenk utiliza-se uma centrífuga com capacidade de 50 000 l/h, enquanto na linha Orion recorre-se a duas centrífugas de 25 000 l/h. A centrífuga exerce uma força rotativa sobre a cerveja e expelle as partículas de maior densidade.

### **Tanque tampão e Arrefecedor**

A cerveja sai da centrífuga e entra no tanque tampão, este acondiciona a cerveja e regula o caudal enviado para o arrefecedor.

A cerveja é arrefecida até  $-1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  num permutador de placas verticais; esta temperatura garante que não ocorre a redissolução de colóides no produto final.

### **Filtro KG**

A eliminação de células de levedura pela centrífuga é parcial. A função principal do filtro de KG é eliminar todas células de levedura e partículas de maiores dimensões, suspensas na cerveja. Os equipamentos e o modo de funcionamento dos filtros de KG variam consoante a linha de filtração. Na linha Orion o filtro de KG é constituído por placas verticais e caixilhos dispostos alternadamente, apoiados em dois barramentos. Na linha Schenk utiliza-se um filtro de placas horizontais acondicionadas numa cavidade cilíndrica. Em ambos os filtros antes da filtração são preparadas camadas de KG, acondicionadas nas placas verticais na linha Orion e sustentadas pelas placas horizontais na linha Schenk.

Na etapa de filtração de cerveja utilizam-se três granulometrias de KG: fino (2-10  $\mu\text{m}$ ), médio (10-20  $\mu\text{m}$ ) e grosso (20-40  $\mu\text{m}$ ), o aumento de pressão do filtro e a turvação final do produto final são dependentes do tipo de KG adicionado. O KG fino provoca aumentos de pressão maiores e turvações de cerveja mais baixas; com utilização de KG grosso o aumento de pressão no filtro é menor mas resulta em turvações no produto mais altas.

Na fábrica, geralmente a adição contínua de KG é conseguida através de KG novo de granulometria média, no entanto a linha Schenk também utiliza KG regenerado.

As pré-camadas são elaboradas em dois tanques diferentes, cada tanque acondiciona KG (100 e 80 kg, para a primeira e segunda pré-camadas respectivamente) diluído em 500 L de água desarejada, estas soluções são homogeneizadas através de um agitador. A solução correspondente à primeira pré-camada é enviada para o tanque doseador, que a encaminha de seguida para o filtro. O KG fica a recircular cerca de 10 minutos no interior do filtro para garantir que a camada fica uniforme. Proceda-se da mesma forma na elaboração da segunda pré-camada; esta fica sobreposta na anterior. Na linha Schenk adiciona-se em acréscimo 10 kg de celulose em pó no tanque homogeneizador da primeira pré-camada. Na linha Orion

as pré-camadas são feitas com água desarejada que fica em recirculação até ao momento de entrada de cerveja; na linha Schenk as pré-camadas são elaboradas com água que no final é drenada com pressão de CO<sub>2</sub>.

### **Filtro PVPP**

O filtro PVPP nas duas linhas de filtração é de placas horizontais. As placas deste filtro servem de suporte às pré-camadas elaboradas antes de cada filtração. A filtração com recurso a PVPP designa-se por estabilização. Estabilização refere-se ao tratamento da cerveja por materiais adsorventes, que removem percursoros de turvação, que de outro modo poderiam tomar lugar no produto final. A adição de PVPP e de sílica gel permite adsorver polifenóis e proteínas respectivamente. Na fábrica, o PVPP é regenerado do final de cada ciclo de filtração.

### **Filtros armadilha**

Segue-se na linha de filtração o filtro armadilha, este filtro assegura a remoção total de turvação da cerveja e elimina possíveis partículas de KG e PVPP que tenham passado por entre os filtros. Os filtros armadilha I e II não funcionam em simultâneo, é escolhido um, se o seleccionado entrar em alarme durante o ciclo de filtração é substituído automaticamente pelo outro. A linha Schenk tem um filtro armadilha adicional entre os filtros de KG e PVPP, isto acontece porque o filtro de KG deixa passar partículas de KG, deste modo evita-se que o filtro PVPP desta linha fique com porções KG.

### **Tanque pulmão**

Depois da passagem pelos filtros a cerveja segue para o tanque pulmão, neste tanque é amortecida utilizando CO<sub>2</sub> em contra pressão.

### **Diluição e carbonatação**

A cerveja proveniente do tanque pulmão sofre correcção do extracto e dos valores de CO<sub>2</sub>, esta operação é realizada em série. O extracto é corrigido de acordo com o tipo de cerveja. O CO<sub>2</sub> tem o papel fundamental na melhoria do gosto e aparência da cerveja, cervejas mais carbonatadas têm maior brilho.

### **Cerveja filtrada**

O envio da cerveja filtrada para o TCF é a última etapa do processo de filtração. De cada TCF são retiradas amostras para controlo de qualidade do produto final, são medidos: extracto, pH, O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, cor, turvação, amargo e efectua-se a prova. Se o produto estiver dentro dos parâmetros de qualidade segue para a linha de enchimento.

## Ciclo de filtração

Um ciclo de filtração tem a duração normal entre 8 e 16 h e sofre influência de diversas variáveis: tipo de cerveja, tempo de estabilização, eficiência de purgas, rendimento do filtro de KG e rendimento do filtro de PVPP. Por norma, a linha Orion permite filtrar maior volume de cerveja. A cerveja é filtrada a um caudal de 40 000 L/h e segue para um TCF seleccionado. Cada TCF tem uma capacidade de 150 000 L, e enche normalmente num período de 3 horas.

Durante a filtração são corrigidos parâmetros de acordo com o tipo de cerveja: SO<sub>2</sub> com metabissulfito de potássio (KMS), unidades de amargo com extracto de lúpulo e a cor com extracto de malte ou corantes de caramelo.

Em princípio, o fim de filtração deve ocorrer quando a quantidade de PVPP termina, mas na maior parte das vezes tal não acontece. Verifica-se que muitas vezes a filtração termina devido a pressão alta no filtro de KG; quanto se verifica que a pressão deste filtro está perto do limite desliga-se a entrada de água desarejada para fazer subir o extracto. No final a correcção de extracto faz-se com adição de água. Este procedimento tem como vantagem não desperdiçar cerveja no final da filtração.

## 1.2 Contributos do trabalho

### Purga de levedura

A levedura é recolhida da CC antes da cerveja ser enviada para a filtração. Esta é recolhida após sedimentação do fundo das CC. Se a levedura for recolhida sendo o caudal de cerveja retirado elevado ou se o ângulo do cone da CC for pequeno, a levedura não consegue deslizar suavemente e formam-se “funis” no cone da CC, prejudicando a eficiência da purga de levedura. Esta conclusão foi obtida no âmbito deste projecto.

### Filtração com KG

Foram acompanhados ciclos de filtração na Unidade de Adega e analisaram-se as variáveis que influenciavam os ciclos de filtração: tipo de cerveja, eficiência de purgas de levedura, aumento de pressão nos filtros de KG e PVPP, tempo de estabilização da cerveja e temperatura de estabilização. Na filtração de cerveja utilizam-se dois filtros em série: os filtros de KG e PVPP; esta etapa é responsável por controlar a turvação do produto final.

A diminuição do KG para ter êxito tem de permitir obter cerveja com valores de turvação dentro do limite admitido.

## 2 Estado da Arte

### 2.1 Etapa de filtração da cerveja

Filtração é o processo de remoção das partículas suspensas na cerveja. Estas partículas podem ser: microrganismos, levedura, colóides e material derivado do fabrico do mosto. O propósito desta etapa é tornar a cerveja estável química e biologicamente, de modo a não ocorrerem mudanças durante vários meses. Antes da filtração, a cerveja encontra-se turva, no final ostenta-se clara e brilhante. A lei de Darcy descreve o comportamento das variáveis que influenciam a filtração,

$$\Delta P = \frac{\mu \times v \times \ell}{\pi} \quad (1)$$

onde  $\Delta P$  representa a diferença de pressão no filtro,  $\mu$  a viscosidade do fluido,  $v$  a velocidade do fluido,  $\ell$  a espessura do bolo de filtração e  $\pi$  o coeficiente de permeabilidade do leito. Durante a filtração os sólidos presentes na cerveja ficam retidos no meio filtrante, este fenómeno determina que a camada filtrante aumente de espessura e diminua a porosidade; conseqüentemente a pressão diferencial aumenta. Existirá um momento em que o bolo de filtração enche o filtro, neste momento a filtração termina e procede-se à remoção do bolo. Segue-se a este procedimento, limpeza e esterilização do equipamento e preparam-se novas pré-camadas; o processo reinicia-se.

Para assegurar o brilho e transparência da cerveja são utilizados dois filtros em série, o primeiro de KG seguido do filtro de PVPP. Estes dois compostos, KG e PVPP, poderiam estar juntos no mesmo tanque de doseamento e serem adicionados num filtro em simultâneo, no entanto, adicionados em série como se utiliza na fábrica traduz um melhor rendimento e permite regenerar o PVPP.

Estudos anteriores já foram realizados para otimizar as linhas de filtração da Fábrica de Cerveja de Leça do Balio. Efectuaram-se estudos na utilização de KG regenerado na linha de filtração Schenk e optimizaram-se consumos de água e PVPP durante a filtração de cerveja.

De seguida abordam-se os conceitos mais importantes na filtração com KG.

#### Turvação

A turvação é medida em EBC (European Brewery Convention) e quantifica a existência de sólidos suspensos na cerveja. Geralmente, a turvação no produto final é causada pela presença de proteínas ricas em prolina e polifenóis que polimerizam. Estes compostos podem

encontrar-se na forma de complexos proteínas-polifenóis, proteínas activas e polifenóis activos. Outros materiais precursores de turvação são: células de levedura, metais pesados e bactérias.

A turvação do produto final pode ser melhorada tomando em consideração alguns aspectos importantes no processo de fabrico de cerveja. Na fermentação e maturação alguns polifenóis são adsorvidos pelas células de levedura, verifica-se que quanto mais tempo de vida da célula de levedura menor a adsorção <sup>[3]</sup>. O bom procedimento na etapa de filtração de cerveja tem um papel essencial no controlo da turvação. Esta etapa deve operar a uma temperatura mais baixa quanto possível, mas evitando o congelamento; este procedimento evita a formação de precipitados na cerveja filtrada. A incorporação de oxigénio durante esta etapa tem de ser mínima, de forma a evitar que metais como o ferro e cobre entrem na cerveja limpa, provenientes do KG.

### **Kieselguhr**

Também designado por terra de diatomácea, é uma rocha sedimentar que se forma a partir plantas aquáticas unicelulares de tamanho microscópico. Devido à sua extrema porosidade e boas propriedades filtrantes utiliza-se em grande escala na indústria alimentar. A filtração de cerveja utilizando KG pretende eliminar células de levedura, algumas proteínas, complexos proteína-polifenóis e outras substâncias em suspensão. A acumulação sucessiva destes materiais no filtro faz diminuir a permeabilidade do leito; para contrariar este fenómeno adiciona-se KG na alimentação de cerveja.

O sistema de filtração com recurso a este aditivo constitui-se por: um suporte mecânico constituído por uma fina malha de metal; uma camada inicial de KG grosso designada de primeira pré-camada, uma segunda pré-camada composta por KG fino e a adição continuada de KG no circuito da alimentação.

### **Retenção de sólidos**

A cerveja entra no filtro, e devido à diferença de pressão existente no filtro, atravessa a camada de KG. As partículas em suspensão na cerveja ficam retidas no KG. A retenção das partículas acontece na superfície ou no interior da camada de KG. Os mecanismos de retenção no KG encontram-se representados na figura 3.

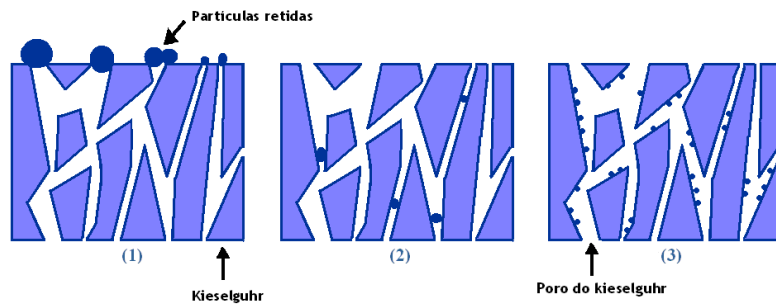


Figura 3 - Representação dos mecanismos de retenção de sólidos no KG.

A retenção de partículas na superfície (1) e no interior dos poros das partículas de KG (2) são os mecanismos mais significativos <sup>[4]</sup>. A desvantagem da filtração na superfície do KG deve-se à acumulação de sólidos na sua superfície. Esta acumulação de sólidos leva ao declínio do fluxo de permeado, conseqüentemente os ciclos tornam-se menores. De outra perspectiva, se a escolha do grau de KG for bem efectuada podem-se obter bons resultados ao nível da turvação da cerveja. Durante a adição contínua de KG durante o ciclo, os sólidos suspensos na cerveja não filtrada ficam retidos no interior dos poros deste material, de acordo com as suas dimensões (2). Existem partículas de dimensões reduzidas que são adsorvidas na superfície do KG (3); estas partículas estão em concentrações muito reduzidas nas cervejas. Desta forma, o mecanismo de retenção por adsorção não é normalmente expressivo na filtração das cervejas.

### Pré-camadas

Para que o filtro tenha um bom desempenho são necessárias pré-formar duas camadas de KG. A primeira camada utiliza KG grosso e não tem uma função filtrante; actua como suporte para a segunda. A segunda pré-camada utiliza KG fino, permite remover os sólidos de menores dimensões que, por alguma razão não foram bloqueados no KG adicionado na alimentação de entrada. A primeira pré-camada deve constituir 70 % da pré-camada total <sup>[5]</sup>. A homogeneidade das pré-camadas e a conjugação dos diferentes graus de KG durante toda a filtração manifesta-se no rendimento do filtro durante o ciclo de filtração.

### Adição contínua de KG na alimentação

À medida que a cerveja entra no filtro, injectam-se continuamente quantidades de KG no circuito, o objectivo é manter a permeabilidade do leito impedindo a obstrução total do filtro. O caudal adicionado de KG deve ser regulado de modo a permitir que a diferença de pressão do filtro aumente linearmente com o volume de cerveja filtrada, e deverá ser em média cerca de 0,2 a 0,3 bar por hora <sup>[5]</sup>. Baixas permeabilidades traduzem aumentos

acentuados de pressão diferencial. Por segurança, deve começar-se alimentar um caudal de KG maior e só depois diminuir.

Existem dois métodos que podem ser utilizados para determinar a concentração óptima de KG a ser adicionado: a) pela turvação e b) contagem de células de levedura, na alimentação de entrada no filtro. A concentração óptima de KG deve estar entre 100 a 150 g/hl de cerveja <sup>[4]</sup>.

Os filtros de KG têm um limite máximo de sólidos que podem acumular no seu interior; a redução da quantidade de KG adicionada durante a filtração resulta num aumento de cerveja filtrada por ciclo.

O bolo filtrante não consegue bloquear totalmente partículas com tamanho inferior a 1  $\mu\text{m}$  <sup>[4]</sup>. Estas migram lentamente através do bolo, durante o ciclo. Para evitar este problema pode utilizar-se uma segunda pré-camada de KG fino, desta forma estas partículas ficam acumuladas na superfície do meio de filtração. Contudo, isto é possível porque partículas com estas dimensões estão presentes na cerveja em quantidade muito reduzida, insuficiente para provocar o bloqueio completo do filtro. Se for utilizada a mesma granulometria de KG na segunda pré-camada e na injeção contínua, a segunda pré-camada poderá ser mais permeável que a camada formada durante a filtração. Isto acontece porque a segunda pré-camada é desprovida de partículas sólidas retidas, tendo portanto maior permeabilidade. Escolher um grau ligeiramente mais fino para a segunda pré-camada será uma boa opção para compensar a diferença de permeabilidades. Por outro lado, se a segunda pré-camada for formada com KG mais grosso comparado com o KG que se adiciona ao longo do ciclo, os sólidos apenas serão bloqueados parcialmente no interior desta pré-camada.

### **Filtro KG da linha Orion**

O filtro de KG da linha Orion é composto por placas sulcadas e caixilhos interpostos entre si. As pré-camadas e doses de KG são sustentadas pelas placas e suportes. As placas são rígidas para prevenir flexibilidade. A alimentação entra pela parte debaixo do filtro, distribui-se pela parte vazia das placas e passa através destas, tornando-se em cerveja limpa. Recolhe-se por uma unidade tubular situada na parte de cima do filtro que a encaminha para a saída. O bolo de filtração condiciona-se sobre as telas, aumenta progressivamente até atingir a carga máxima do filtro; quando isto acontece é necessário abrir o filtro e assegurar que todo o bolo é removido das placas. Alguma ajuda manual, com uma mangueira com água por vezes é utilizada para remover o bolo na totalidade.

## **Filtro KG da linha Schenk**

O filtro de KG da linha Schenk é constituído por placas horizontais suportadas num eixo central de uma cavidade cilíndrica. A cerveja entra pela base do filtro, sobe através da cavidade central tubular e enche o filtro. Esta cerveja atravessa as pré-camadas, entra em orifícios existentes nas placas e segue para a saída do filtro. O bolo de filtrado forma-se na superfície das placas. A remoção do bolo no final da filtração realiza-se por rotação das placas; bolo é expelido contra a parede da cavidade do tanque e deslocado de seguida para uma unidade de saída.

Automatizar a etapa de filtração reduz custos de operação e procedimentos incorrectos. Ao nível das lavagens a linha Orion está menos automatizada que a linha Schenk.

## **2.2 Processos de separação por membranas (PSM)**

O KG tem sido utilizado com sucesso durante várias décadas na etapa de filtração de cerveja. Esta substância tem excelentes propriedades filtrantes, remove todas as células de levedura e outras partículas microscópicas. As mesmas propriedades que o tornam tão excepcional para a filtração tornam-no difícil de reciclar e eliminar depois de utilizado. É recolhido em minas a céu aberto e de um ponto de vista ambiental, constitui um recurso natural finito. Por outro lado, o seu manuseamento engloba riscos para a saúde dos operadores, se inalado. Consequentemente, indústrias de cerveja por todo o mundo procuram uma alternativa prática para este problema. Novas tecnologias surgem de forma a tornar este processo mais seguro e com menos riscos ambientais.

Os PSM têm vindo a ser investigados na indústria alimentar. A utilização de microfiltração (MF) é cada vez mais vista como uma alternativa ao processo convencional com utilização de KG. Na prática este processo só substituirá o método convencional se: produzir uma cerveja com qualidade semelhante à obtida com recurso à filtração por KG tanto a nível de transparência como estabilidade biológica, se for efectiva num único passo sem recurso a aditivos, operar a baixas temperaturas e por último, se for economicamente viável.

Uma membrana é uma superfície selectiva, caracterizada pela capacidade de separar partículas/espécies químicas consoante dimensões/propriedades que exibem, em conjugação com efeitos hidrodinâmicos. A força motriz do processo de MF é da diferença de pressão existente entre os dois lados da membrana. A eficiência de uma membrana descreve-se seguindo critérios de permeabilidade, selectividade e fluxo.

As membranas utilizadas para filtração de cerveja são sintéticas e podem ser inorgânicas (cerâmicas) ou orgânicas (poliméricas). As cerâmicas são mais resistentes a altas temperaturas e pH's, ataque biológico <sup>[6]</sup> e têm maior vida útil; as desvantagens remetem para o elevado custo, menor área específica e por serem pouco resistentes ao choque <sup>[7]</sup>.

Membranas poliméricas são mais flexíveis e de menor custo, geralmente são as mais usadas a nível industrial [7].

No caso da filtração da cerveja por um processo de MF, a alimentação é bombeada ao processo dividindo-se numa corrente de permeado e numa de retido, dando-se a acumulação do bolo de filtração sobre a membrana. Na figura 4 esquematizam-se dois tipos de filtração: convencional utilizando KG e fluxo tangencial, utilizando uma membrana de MF.

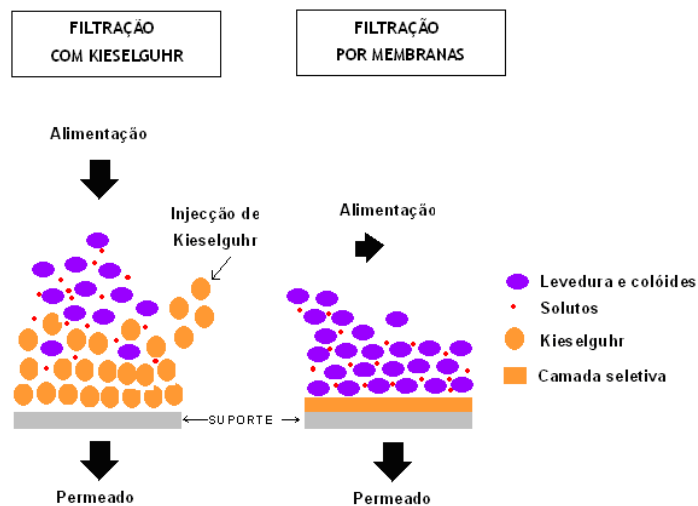


Figura 4 - Esquema representativo de filtração com KG e filtração através de membranas.

O desempenho de operações que envolvem membranas é comprometido pelo fenómeno designado de colmatção. A membrana para além da levedura e complexos proteínas-polifenóis retém também componentes aromáticos, suspensões e macromoléculas [8]. Esta retenção alargada reflecte-se no fluxo de permeado, que diminui ao longo do tempo de filtração. Existem três tipos de resistências à passagem de permeado: colmatção interna, colmatção externa e da membrana antes da filtração. A resistência interna deve-se ao bloqueio dos poros por fenómenos de adsorção e deposição no interior dos poros, este tipo de bloqueio é o mais difícil de eliminar. A resistência externa localiza-se na superfície da membrana e resulta da concentração por polarização e crescimento da camada de bolo filtrante. Nas figuras 5 e 6, ilustra-se a deposição das partículas na membrana por colmatção externa e interna, respectivamente.

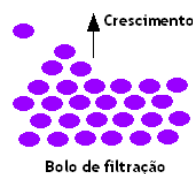


Figura 5 - Ilustração de colmatção externa, perspectiva lateral da membrana.

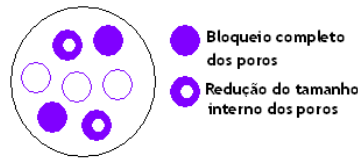


Figura 6 - Ilustração de colmatação interna, perspectiva em corte da membrana.

Vários métodos e técnicas têm sido investigados para atenuar e eliminar o problema da colmatação nestes processos, o objectivo principal é aumentar o fluxo de permeado ao longo do ciclo de filtração. Foram estudados: modos em co-corrente, fluxo por impulsos, fluxo invertido, paragens periódicas da pressão diferencial, promotores de turbulência e utilização de ultra-sons. De seguida faz-se uma descrição das técnicas mais utilizadas.

### Impulsos invertidos e Fluxo invertido

Fluxo por impulsos invertidos consiste numa série de impulsos de fluxo repetidos no sentido inverso ao da saída de permeado; utilizam-se para aumentar o fluxo de permeado. Normalmente a duração de um impulso invertido é inferior a 1 segundo e têm frequência e pressão definidas [9]. O conceito de fluxo invertido é similar ao de impulsos invertidos. No fluxo invertido a duração do fluxo inverso é muito maior e aplica-se com uma frequência muito menor durante o ciclo de filtração. Estas técnicas contêm inconvenientes; existe uma perda de permeado que engloba o permeado que passa do produto final para o lado da alimentação. Esta porção não é contabilizada no fluxo total de permeado.

### Promotores de turbulência

Esta técnica cria um movimento na membrana, pela introdução de mecanismos causadores de turbulência na superfície da membrana. O efeito de turbulência é independente da espessura do bolo de filtração [8]; utiliza-se para o efeito um sistema que provoca vibração na membrana e um impulsor que controla a abertura da superfície da membrana [10]. A figura 7 esquematiza um sistema de filtração dinâmica.

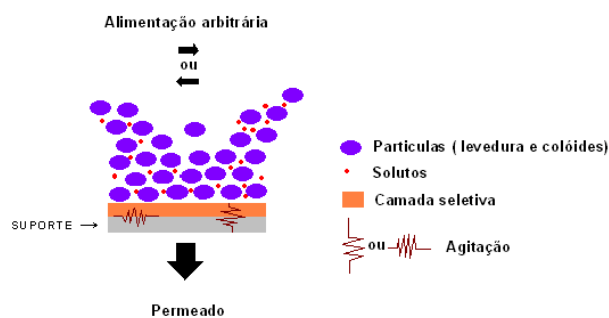


Figura 7 - Esquema representativo de filtração dinâmica por membranas.

Na prática estas membranas não alcançam um bom rendimento. A colmatação da camada selectiva reflecte-se na diminuição de fluxo durante o ciclo de filtração. Verifica-se que poros maiores traduzem taxas de permeado maiores <sup>[10]</sup>. As incrustações relacionadas com a adsorção e bloqueio no interior dos poros não se conseguem eliminar. Mesmo com o desenvolvimento desta técnica os PSM não conseguem obter um fluxo de permeado rentável.

### Ultra-sons

O uso de ultra-sons remete para ondas sonoras com frequência superior às audíveis pelos seres humanos. A utilização de ultra-sons para eliminar as incrustações nas membranas é recente, porém tem despertado interesse como alternativa aos métodos acima descritos. Estes podem ser utilizados tanto em membranas cerâmicas como poliméricas sem afectar a permeabilidade intrínseca destas. No entanto, são mais efectivos quando aplicados a membranas poliméricas <sup>[11]</sup>.

Como todas as ondas, o ultra-som propaga-se através de ondas de compressão e descompressão. Provoca fenómenos de: cavitação, fluxo acústico e pressão de radiação. A cavitação descreve-se como um processo hidromecânico de remoção de partículas, e consiste de uma forma explicativa simples, na criação e destruição de pequenas bolhas no interior de líquidos. Este fenómeno ocorre quando uma onda ultra-sónica atravessa o fluido e cria bolhas de tamanho muito reduzido, o gás existente nas bolhas é adsorvido no líquido ou na interface deste; durante a etapa de compressão este gás não retorna completamente ao líquido, resultando num aumento do volume da matéria, ao atingir o tamanho crítico as bolhas colapsam, o que leva a que ocorra uma mistura vigorosa por todo o fluido. São vários os parâmetros que influenciam a eficiência da radiação ultra-sónica: intensidade, frequência, propriedades e velocidade da alimentação, temperatura, pressão e propriedades da membrana. Os ultra-sons são gerados por transdutores electromecânicos que transmitem energia sintonizável; as vibrações são amplificadas e transferidas para uma sonda que se encontra em contacto com o fluido. Aumentando a frequência dos ultra-sons diminui a intensidade de cavitação <sup>[10]</sup>. Estas ondas de som inactivam enzimas e bactérias, a destruição torna-se mais eficaz quando a operar a baixas temperaturas <sup>[6]</sup>. A eficiência desta técnica é reduzida na eliminação de colmatação no interior dos poros. No entanto, executada juntamente com fluxo invertido de permeado torna-se eficaz para recuperar a taxa de fluxo de permeado.

A empresa ALFA LAVAL tem apostado no desenvolvimento de membranas para filtração de cerveja, com o objectivo de obter taxas de permeado economicamente rentáveis. Esta empresa lançou no mercado, uma membrana para MF de cerveja que elimina eficazmente

levedura e turvação e com um baixo consumo de energia durante a operação. A eliminação de colmatação na membrana é levada a cabo por criação de turbulência, e permite um fluxo de permeado entre 100 hl/h e 500 hl/h.

## 3 Apresentação e discussão dos Resultados

### 3.1 Optimização dos Consumos de KG

O KG é um produto utilizado em grande escala na indústria da cerveja. O aumento do preço deste composto é elevado e certamente aumentará à medida que a escassez progride. Desta forma qualquer diminuição no seu consumo é de grande importância a nível económico e ambiental. Durante a filtração de cerveja utilizam-se três tipos de KG: fino e grosso na elaboração das pré-camadas e médio utilizado na adição ao longo do ciclo de filtração. A optimização de KG focou-se na diminuição do consumo de KG médio e concretizou-se nas cervejas tipo: Super Bock, Carlsberg, Super Bock Sem Álcool e Cristal Branca.

### 3.2 Situação actual

No início do projecto foram acompanhados ciclos de filtração e analisadas as variáveis que influenciavam os ciclos de filtração. Verificou-se que a filtração de cerveja é um processo com grande desenvoltura a nível de automação de procedimentos, no entanto existem procedimentos que são os técnicos de produção que manualmente põem em prática. A nível da optimização dos ciclos de filtração e diminuição dos consumos de KG averiguou-se que, a eficiência das purgas de levedura que decanta na CC e a escolha da concentração de KG durante a filtração são dependentes da percepção do operador.

O tipo e volume de cerveja filtrada num ciclo são definidos pelo programa proposto pela linha de enchimento, baseado no programa existente.

Um ciclo de filtração de cerveja envolve várias etapas nas duas linhas de filtração. Na tabela 1 descrevem-se as etapas dos ciclos de filtração nas duas linhas.

Tabela 1 - Etapas dos ciclos de filtração.

Ordem	Linhas	
	Orion	Schenk
1	Regeneração filtro de PVPP	Regeneração do filtro de KG
2	Enxaguamento do filtro armadilha I/II	Enxaguamento do filtro armadilha III
3	Esterilização do filtro de KG e tubagem	Enxaguamento do filtro armadilha I/II
4	Formação das pré-camadas do filtro KG	Esterilização do filtro de KG e tubagem
5	Filtração	Regeneração do filtro de PVPP
6		Formação das pré-camadas do filtro KG
7		Filtração

A linha Schenk envolve dois passos acrescidos devido à utilização de KG regenerado. O programa referente à filtração envolveu maior estudo e trabalho. No entanto, foi também analisado o procedimento de formação das pré-camadas, por serem determinantes no desempenho do filtro ao longo do ciclo.

A combinação da granulometria do KG é feita de acordo com as características das cervejas, e.g. nas cervejas pretas apenas se injecta KG grosso ao longo da filtração. Geralmente os ciclos de filtração de cerveja iniciam-se com Super Bock. Este tipo de cerveja, para além de ter grande saída no mercado, não manifesta problemas de turvação alta. Por outro lado, a cerveja do tipo Cristal Branca precisa de uma camada de bolo filtrante menos porosa, para as turvações finais não ultrapassem o valor limite. O início do ciclo de filtração com cerveja do tipo Super Bock é uma estratégia; faz com que a camada de bolo de filtração fique mais compacta pela acumulação dos sólidos suspensos existentes na cerveja não filtrada. Poderia se preparar a segunda pré-camada com KG ainda mais fino, no entanto para outros tipos de cerveja em que este problema não ocorre, o aumento de pressão ao longo do ciclo seria maior.

Termina-se o ciclo de filtração de cerveja como consequência da pressão alta nos filtros ou por terminar o PVPP, é também possível que termine deliberadamente. Na figura 8 estão representadas as causas que levam a abortar a filtração nas linhas de filtração, no período entre Agosto e Dezembro de 2008.

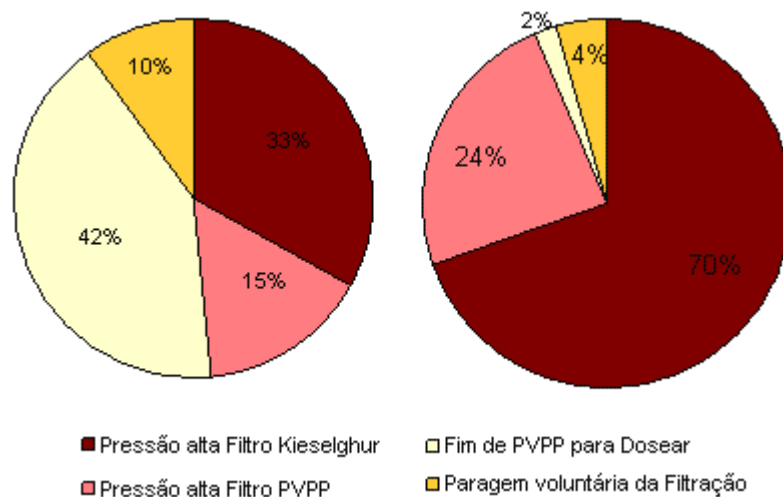


Figura 8 - Representação das razões percentuais para abortar a filtração nas linhas Orion e Schenk respectivamente.

Verifica-se que o motivo principal para abortar a filtração na linha Schenk é a pressão alta no filtro de KG, e na linha Orion o final de filtração ocorre tanto pelo facto de se atingir a pressão limite do filtro de KG, como pelo esgotamento de PVPP no tanque doseador. A paragem voluntária da filtração acontece ou por falta de TCF's livres para armazenar cerveja filtrada ou porque o volume de cerveja filtrada é suficiente para a ordem de fabrico. São vários os ciclos de filtração que terminam por se atingir a pressão máxima no filtro de PVPP, na linha Schenk. Como já foi referido neste trabalho existe um filtro armadilha III antes do filtro de PVPP nesta linha de filtração, para evitar passagem de KG. No entanto, o filtro armadilha colmata inúmeras vezes e como não tem substituto é eliminado do circuito de filtração, ou seja, a cerveja é enviada do filtro de KG directamente para o filtro de PVPP. Outra razão para o aumento de pressão no filtro de PVPP remete para o grande número de regenerações de PVPP, que originam o fraccionamento deste produto em partículas muito pequenas deste; o problema soluciona-se pela remoção destas partículas por fluidização.

Foram analisadas amostras à saída dos filtros de KG em ambas as linhas de filtração, num microscópio óptico de varrimento, *Nikon Eclipse E600 W*, com ampliação de 400 X. Foram identificadas partículas de KG nas amostras. Na figura 9, evidenciam-se as partículas de KG presentes nas imagens obtidas por visualização microscópica.



Figura 9 - Fotografias de amostras de cerveja à saída do filtro de KG da linha Orion e Schenk respectivamente, ampliação de 400 X.

Para melhor entender a dimensão da situação, foram analisadas amostras ao longo de um ciclo de filtração; retiraram-se à saída dos filtros de KG, nas duas linhas de filtração. Efectuaram-se análises granulométricas através de um aparelho designado de Coulter, *LS 230*. Os resultados obtidos nesta análise estão representados nas figuras 10 e 11.

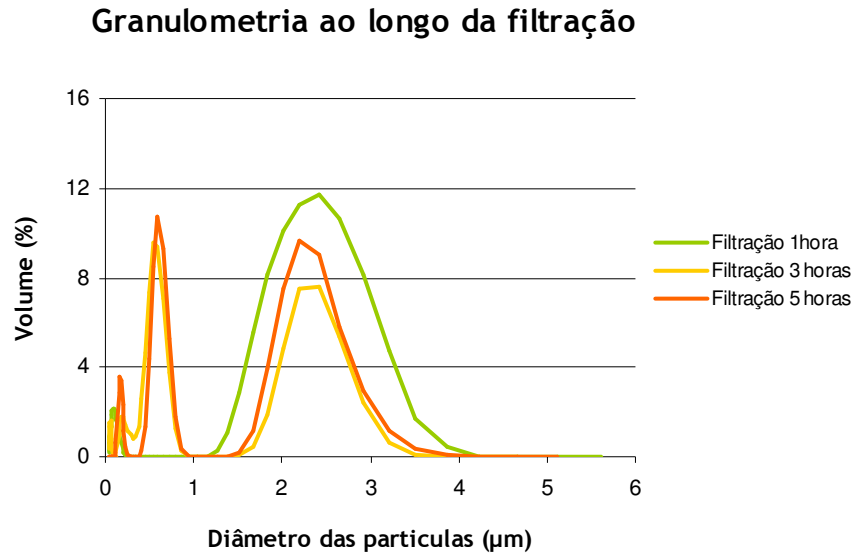


Figura 10 - Distribuição granulométrica das partículas de kieselguhr na linha de filtração Orion.

Na figura 10, relaciona-se a fracção de volume e diâmetro das partículas de KG, existentes nas amostras. A partir das figuras presentes no anexo 1, calculou-se a percentagem em número das partículas, os resultados apresentam-se na tabela 2.

Tabela 2 - Relação entre distribuição granulométrica e número de partículas de kieselguhr na linha de filtração Orion.

Amostra	Diâmetro das partículas ( $\mu\text{m}$ )	Número (%)
Filtração 1 hora	0,04 - 1,00	99,54
	1,00 - 5,10	0,46
Filtração 3 horas	0,04 - 1,00	99,81
	1,00 - 5,10	0,19
Filtração 5 horas	0,04 - 1,00	98,88
	1,00 - 5,10	1,12

Nas três amostras analisadas a maior contribuição em número é marcada pela existência de partículas de KG com diâmetro inferior a 1  $\mu\text{m}$ ; partículas maiores estão presentes em número muito reduzido.

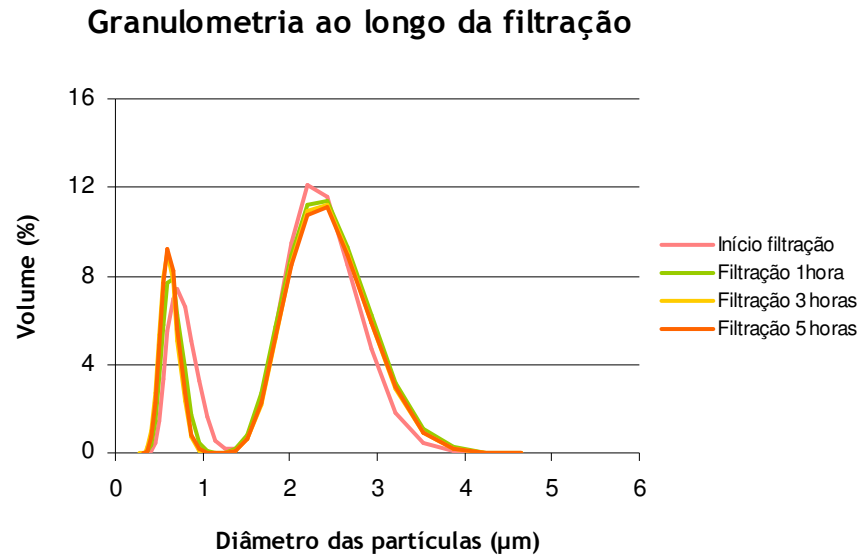


Figura 11 - Distribuição granulométrica das partículas de kieselguhr na linha de filtração Schenk.

Da figura 11, concluiu-se que a maior contribuição volúmica de KG nas amostras deve-se à presença de partículas com diâmetros de 1,5 a 3,5  $\mu\text{m}$ .

A informação obtida pelos gráficos do anexo 2 foi transposta para a tabela 3. A granulometria das partículas em cada amostra dividiu-se em três intervalos.

Tabela 3 - Relação entre distribuição granulométrica e número de partículas de kieselguhr na linha de filtração Schenk.

Amostra	Diâmetro das partículas ( $\mu\text{m}$ )	Número (%)
Início de filtração	0,2 - 1,0	88,05
	1,0 - 3,0	11,93
	3,0 - 5,1	0,02
Filtração 1 hora	0,2 - 1,0	91,05
	1,0 - 3,0	8,95
	3,0 - 5,1	1,62
Filtração 3 horas	0,2 - 1,0	92,06
	1,0 - 3,0	7,94
	3,0 - 5,1	0,17
Filtração 5 horas	0,2 - 1,0	91,69
	1,0 - 3,0	8,31
	3,0 - 5,1	0,04

A percentagem em número revelou-se semelhante para as quatro amostras, a maior contribuição deve-se a partículas com diâmetro inferior a 1 µm. Partículas com diâmetro superior a 1 µm estão presentes nos primeiros minutos do início da filtração, o que permite inferir que a disposição das pré-camadas não foi homogénea.

Para contabilizar o grau de contaminação do filtro de PVPP com KG, nas duas linhas de filtração, retiram-se amostras de PVPP para análise. Na tabela 4 quantifica-se a percentagem de PVPP existente em cada amostra.

Tabela 4 - Teor em PVPP

Linha de filtração	% de PVPP
Orion	99
Schenk	90

A contaminação do filtro de PVPP da linha Orion é baixa. Na linha Schenk, o problema de passagem de KG tem uma proporção maior.

No acompanhamento dos ciclos de filtração verificou-se que, por vezes no momento de entrada de cubas no filtro a pressão aumentava significativamente. Retiraram-se amostras para contagem de células de levedura no momento que as cubas entravam no filtro e na saída do filtro. A concentração de levedura antes do filtro foi analisada através de um contador electrónico de partículas, *Beckman Coulter*, disponível no laboratório de microbiologia da fábrica. A contagem de células de levedura após o filtro de KG efectuou-se com recurso ao microscópio óptico de varrimento, *Nikon Eclipse E600 W* com ampliação de 400 X. Os dados obtidos descrevem-se nas tabelas 5 e 6.

Tabela 5 - Concentração de células de levedura na alimentação de entrada e saída do filtro de KG.

Data de recolha	Nº da CC	Centrifuga	Tipo de cerveja	Entrada do filtro de KG ( $10^6 \cdot n_{\text{células}} \cdot \text{mL}^{-1}$ )	Saída do filtro de KG ( $10^6 \cdot n_{\text{células}} \cdot \text{mL}^{-1}$ )
15-12-2008	61	Schenk	Super Bock	2,5	0
15-12-2008	87	Schenk	Super Bock	3,0	0
15-12-2008	61	Schenk	Super Bock	2,0	0

Tabela 6 - Concentração de células de levedura na alimentação de entrada e saída do filtro de KG.

Data de recolha	Nº da CC	Centrifuga	Tipo de cerveja	Entrada do filtro de KG ( $10^6 \cdot n_{\text{células}} \cdot \text{mL}^{-1}$ )	Saída do filtro de KG ( $10^6 \cdot n_{\text{células}} \cdot \text{mL}^{-1}$ )
18-12-2008	86	Schenk	Cristal Branca	1,8	0
18-12-2008	52	Schenk	Cristal Branca	1,5	0

Concluiu-se que à entrada do filtro, em algumas situações, a concentração de levedura era um pouco superior à estabelecida; o valor máximo estabelecido é de  $2 \times 10^6$  células·mL<sup>-1</sup> de cerveja e obtiveram-se algumas amostras com  $3 \times 10^6$  células·mL<sup>-1</sup> de cerveja. Desta forma foi identificado um dos problemas que torna os ciclos de filtração pequenos; obstrução parcialmente do filtro de KG, pela entrada de elevada concentração de células de levedura.

### 3.3 Critérios de decisão

Identificaram-se procedimentos para melhoria dos ciclos de filtração, a sua concretização contou com a ajuda dos técnicos de filtração. Tornaram-se as purgas de levedura antes de entrar no filtro mais eficientes, aumentando o volume e reduzindo o caudal, propôs-se copar as CC's sobretudo no momento de entrada de novas e diminuiu-se a concentração de PVPP adicionada no filtro de PVPP.

A redução do material auxiliar de filtração KG, efectuou-se em simultâneo com as alterações acima descritas. Verificou-se que a concentração de KG durante o ciclo não deve ser homogênea, maiores concentrações deste produto devem ser injectadas no momento de entrada de CC novas para a filtração. Só depois de ter saído da CC um volume de 15 000 hl foi possível reduzir a concentração. A adição de KG no momento de entrada de cubas novas foi realizada com a bomba de adição com caudal a 100 %, para manter a permeabilidade do leito e controlar o aumento de pressão, depois reduziu-se a potência da bomba para 40 % de caudal de envio de KG no caso das cervejas tipo Super Bock, Carlsberg e Super Bock Sem Álcool, e 60 % nas tipo Cristal Branca.

Na tabela 7 apresentam-se os resultados conseguidos no procedimento de purga de levedura depois das alterações efectuadas. A concentração de levedura foi determinada com auxílio do microscópio óptico de varrimento, *Nikon Eclipse E600 W* com ampliação de 400 X.

Tabela 7 - Concentração de células de levedura na alimentação de entrada do filtro de KG.

Data de recolha	Nº da CC	Centrífuga	Tipo de cerveja	Entrada do filtro de ( $10^6 \cdot n_{\text{células}} \cdot \text{mL}^{-1}$ )
17-02-2009	13	Schenk	Super Bock	0,8
17-02-2009	42	Schenk	Cristal Branca	0,1
18-02-2009	42	Orion	Cristal Branca	0,2

Pela comparação com os dados anteriores relativos à concentração de levedura, enunciados nas tabelas 5 e 6, conclui-se que as purgas tornaram-se mais eficazes.

De seguida, nas figuras 12 e 13, enunciam-se as causas e razões que levam a abortar os ciclos de filtração na linha Orion, depois de efectuadas as alterações.

### Linha Orion

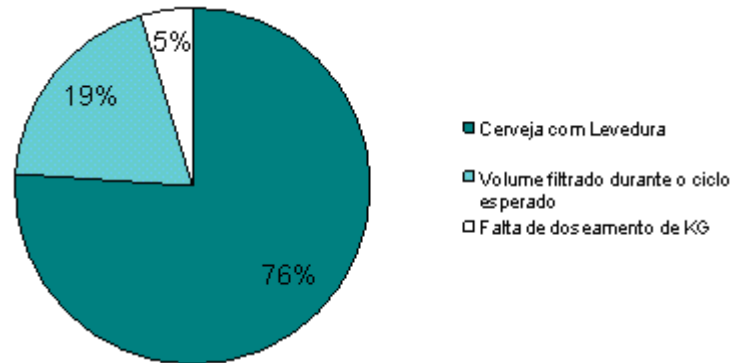


Figura 12 - Representação percentual das causas que levam a abortar a filtração na linha Orion.

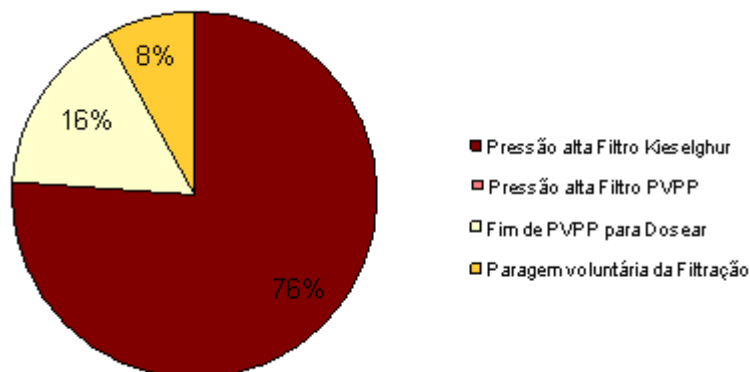


Figura 13 - Representação das razões percentuais para abortar a filtração na linha Orion.

As duas figuras anteriores têm forçosamente de ser analisadas em conjunto. As causas que levam a abortar a filtração (figura 12), podem ter origem diversa e manifestam-se em: pressão alta nos filtros de KG ou PVPP, fim de PVPP para dosear ou paragem voluntária do ciclo filtração (figura 13).

A entrada de cerveja com levedura é a principal causa para abortar um ciclo de filtração na linha Orion e traduz-se num aumento de pressão no filtro de KG. Apesar da maior atenção no procedimento de purgas de levedura, a existência de levedura em grandes quantidades na cerveja continua a ser o maior obstáculo para a optimização dos ciclos de filtração de cerveja. A decantação da levedura na base do fermentador varia segundo: o tipo de cerveja, diagrama de fermentação, tempo de estabilização a frio e temperatura de estabilização a frio. Por vezes verifica-se visualmente que existe levedura em suspensão em

todo o volume de cerveja da CC que entra no filtro, ou seja, a levedura não decanta na totalidade, tornando a purga de levedura pouco eficaz. Outro factor que interfere no desempenho do filtro é o momento que uma CC esgota o seu volume, nestas circunstâncias células de levedura que se uniram às paredes do tanque de fermentação desprendem-se e seguem para o filtro. As figuras 14 e 15 representam a comparação do volume de cerveja filtrada antes e depois das alterações efectuadas.

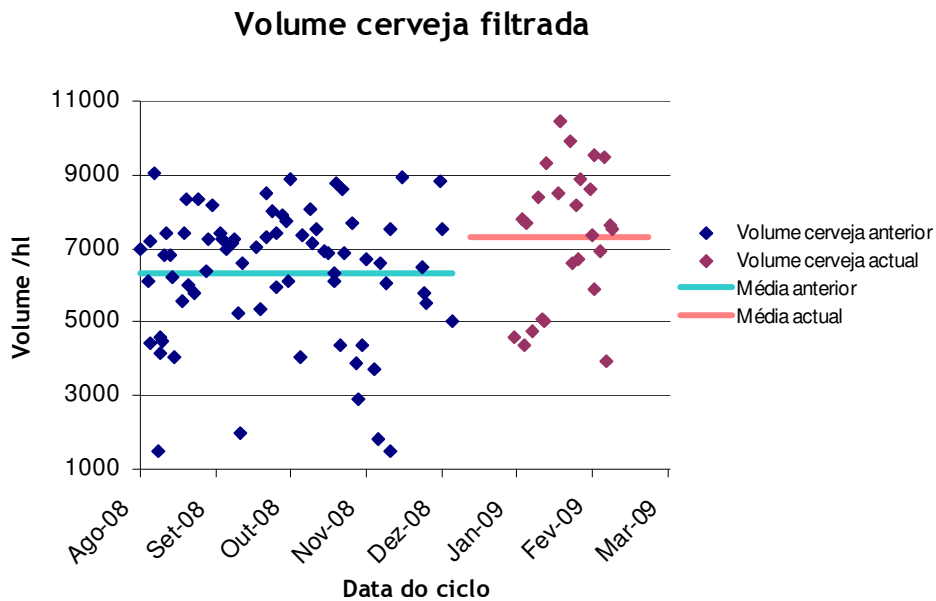


Figura 14 - Representação gráfica do volume de cerveja filtrada antes e depois das alterações.

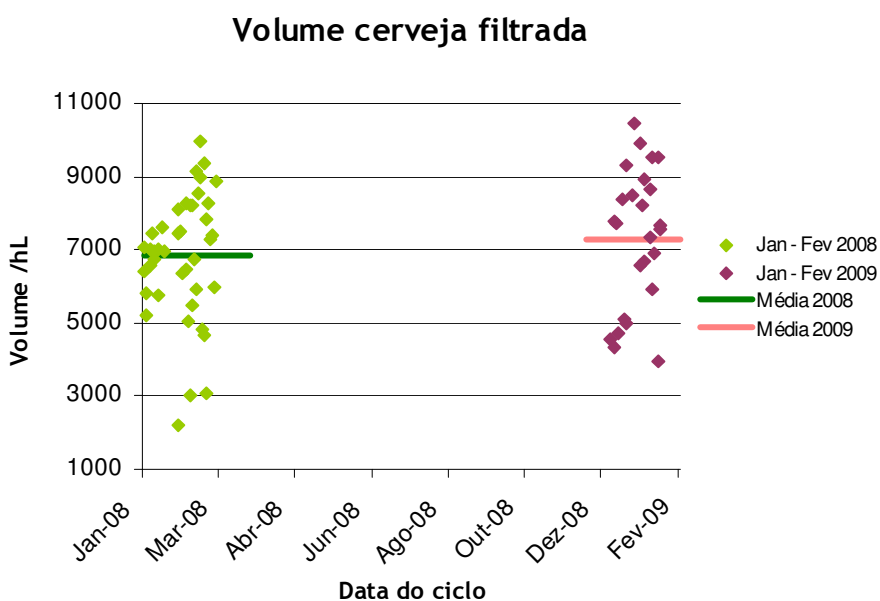


Figura 15 - Comparação do volume de cerveja filtrada na mesma época do ano em 2008.

Na tabela 8 apresentam-se os valores médios do volume de cerveja filtrada, antes e depois das alterações na linha de filtração Orion.

Tabela 8 - Valores médios do volume de cerveja na linha Orion e desvio padrão.

Período filtração	Volume médio de cerveja filtrada (hl)	Desvio padrão ( $\sigma$ )
Jan - Fev 2008	6822	1712
Ago - Dez 2008	6341	1808
Jan - Fev 2009	7287	1867

Os ciclos de filtração na linha Orion aumentam cerca de 15 % em relação aos ciclos anteriores e cerca de 7 % em comparação com o mesmo período de filtração em 2008. Os dados obtidos foram comparados com o mesmo período de 2008 uma vez que as cervejas têm diferentes tempos de estabilização consoante a época do ano; produz-se menos cerveja em Janeiro e Fevereiro, época baixa, o que implica tempos de estabilização maiores e consequentemente existência de mais tempo para as células de levedura decantarem.

Nas figuras 16 e 17 comparam-se os valores da concentração de KG adicionada na filtração antes e depois das alterações efectuadas na linha Orion.

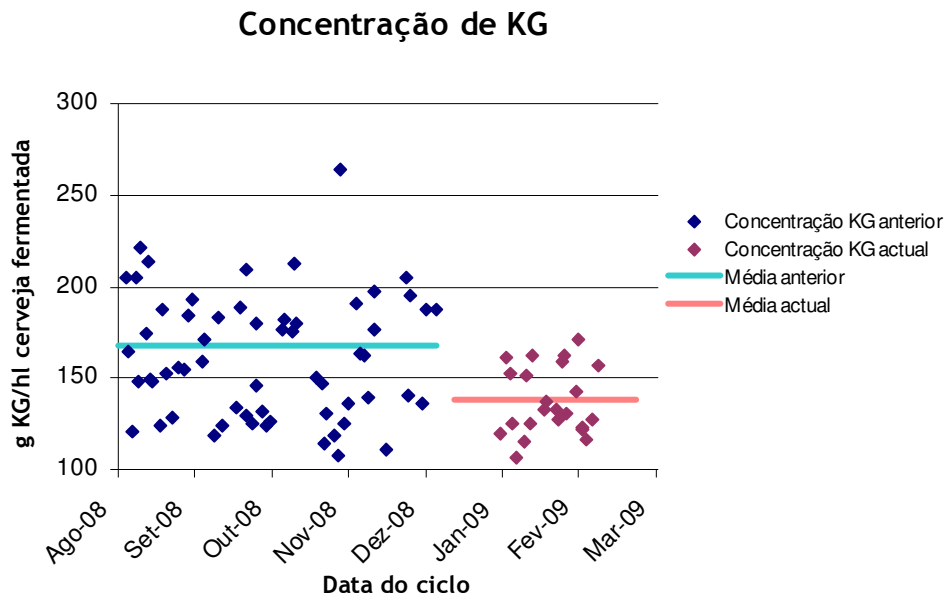


Figura 16 - Representação gráfica da concentração de KG adicionada na filtração de cerveja antes e depois das alterações.

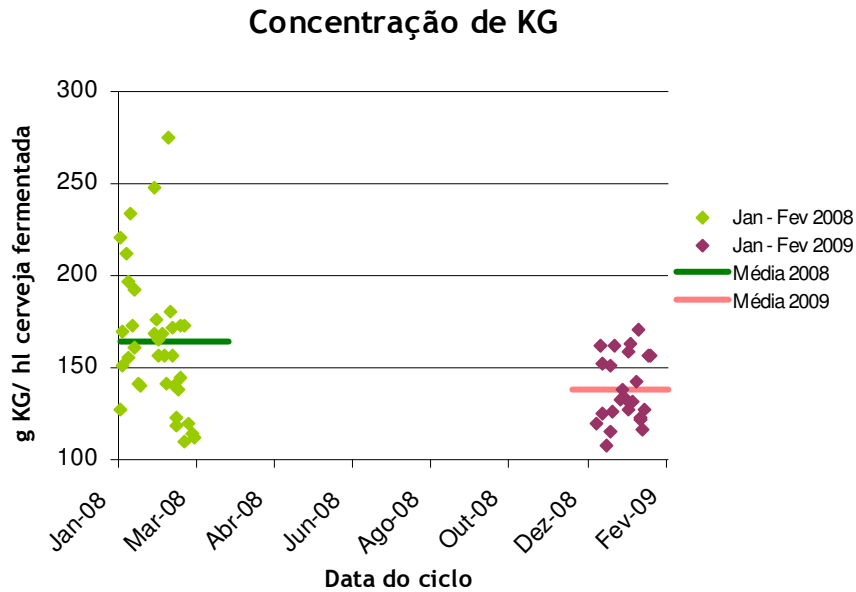


Figura 17 - Comparação da concentração de KG adicionada durante a filtração de cerveja na mesma época do ano em 2008.

Na tabela 9 apresenta-se os valores médios da concentração de KG adicionada antes e depois das alterações, na linha de filtração Orion.

Tabela 9 - Valores médios de KG adicionado na linha Orion e desvio padrão.

Período filtração	Kieselguhr médio adicionado (g/hl)	Desvio padrão ( $\sigma$ )
Jan - Fev 2008	164	38
Ago - Dez 2008	168	49
Jan - Fev 2009	138	19

A adição de KG nos ciclos de filtração foi reduzida satisfatoriamente. Reduziu-se a concentração do adjuvante de filtração cerca de 18 % comparando com os ciclos anteriores e cerca de 16 % para a mesma época do ano de 2008. A dispersão dos valores obtidos foi bastante menor em relação aos ciclos obtidos nas outras épocas.

Na figura 18 comparam-se os valores de turvação antes e depois da redução do KG na filtração de cerveja, na linha Orion.

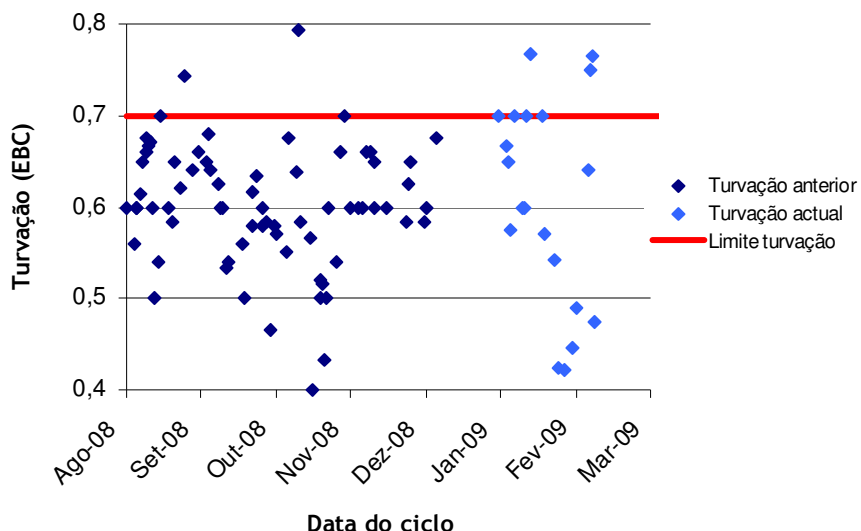


Figura 18 - Turvação média nos ciclos de filtração na linha Orion.

O controlo dos valores de turvação efectua-se nos filtros de KG e PVPP. Verifica-se que a redução efectuada nos consumos de KG não afectou esta propriedade do produto. Conseguiu-se diminuir a concentração de KG adicionada durante a filtração e obter turvações de cerveja filtrada dentro do limite requerido. O desempenho do filtro de PVPP não foi prejudicado por esta alteração.

Nas figuras 19 e 20, enunciam-se as causas e razões que levam a abortar os ciclos de filtração na linha Schenk, depois de efectuadas as alterações.

**Linha Schenk**

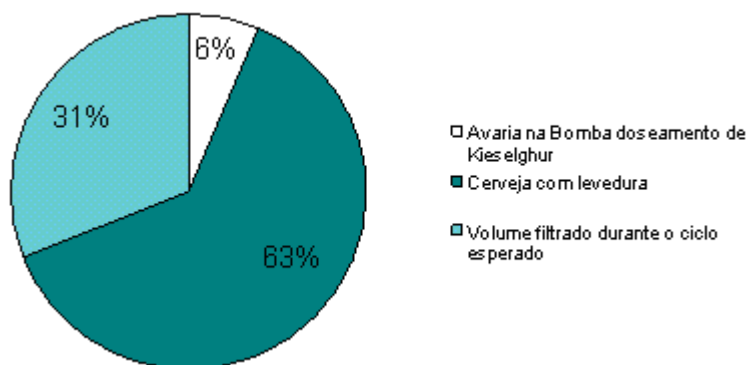


Figura 19 - Representação percentual das causas que levam a abortar a filtração na linha Schenk.

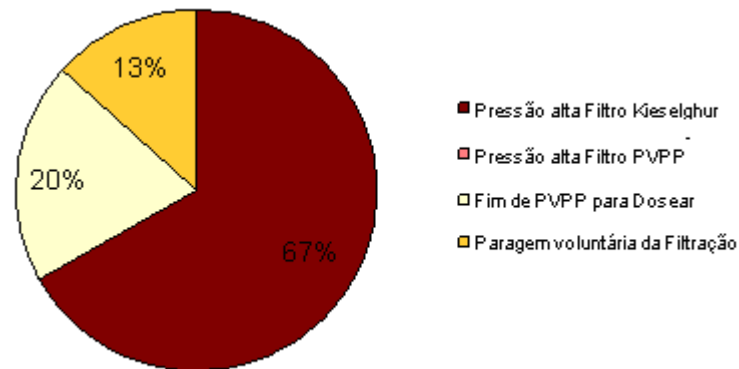


Figura 20 - Representação das razões percentuais para abortar a filtração na linha Schenk.

A causa principal para abortar um ciclo de filtração na linha de filtração Schenk é a entrada de cerveja com elevada concentração de levedura, consequentemente a pressão de entrada aumenta até a obstrução total do filtro de KG.

Nas figuras 21 e 22 comparam-se os volumes de cerveja filtrada antes e depois das alterações efectuadas, na linha Schenk.

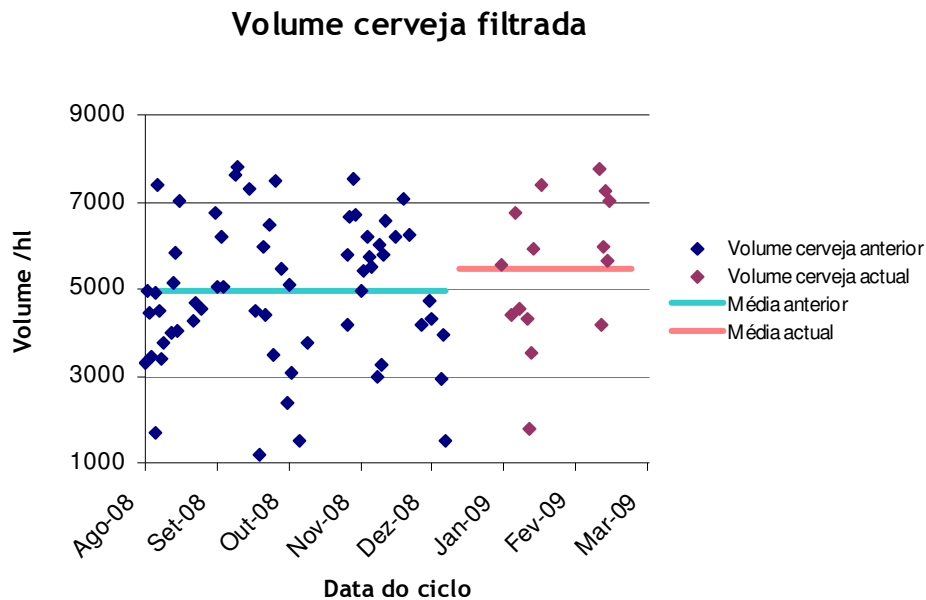


Figura 21 - Representação gráfica do volume de cerveja filtrada antes e depois das alterações.

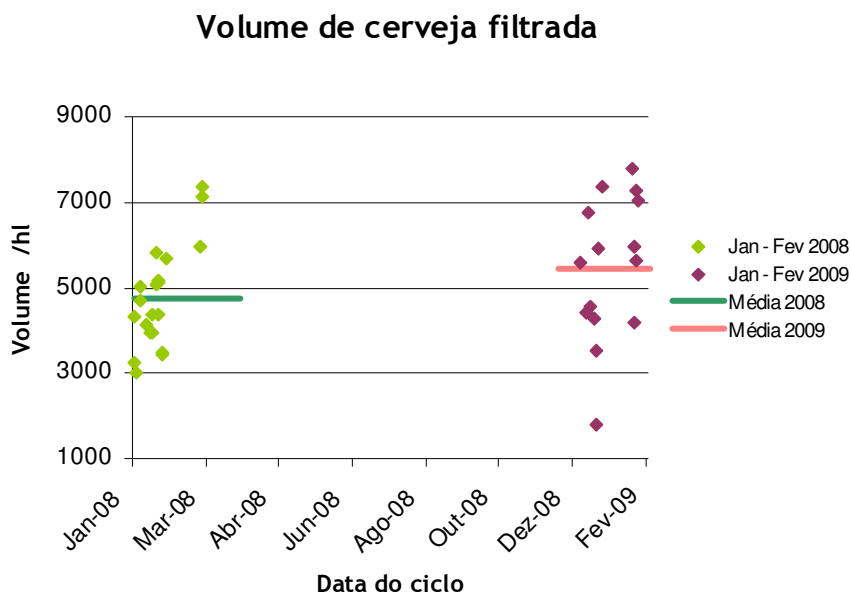


Figura 22 - Comparação do volume de cerveja filtrada na mesma época do ano em 2008.

Na tabela 10 apresentam-se os valores médios de volume de cerveja filtrada, obtidos antes e depois das alterações na linha de filtração Schenk.

Tabela 10 - Valores médios do volume de cerveja filtrado e desvio padrão.

Período filtração	Volume médio de cerveja filtrada (hl)	Desvio padrão ( $\sigma$ )
Jan - Fev 2008	4764	1198
Ago - Dez 2008	4938	1634
Jan - Fev 2009	5464	1671

Os ciclos de filtração na linha Schenk aumentaram cerca de 11 % em relação aos ciclos anteriores e cerca de 12 % em comparação com o mesmo período de filtração em 2008.

As figuras 23 e 24 comparam os valores da concentração de KG adicionada na filtração antes e depois das alterações efectuadas na linha Schenk.

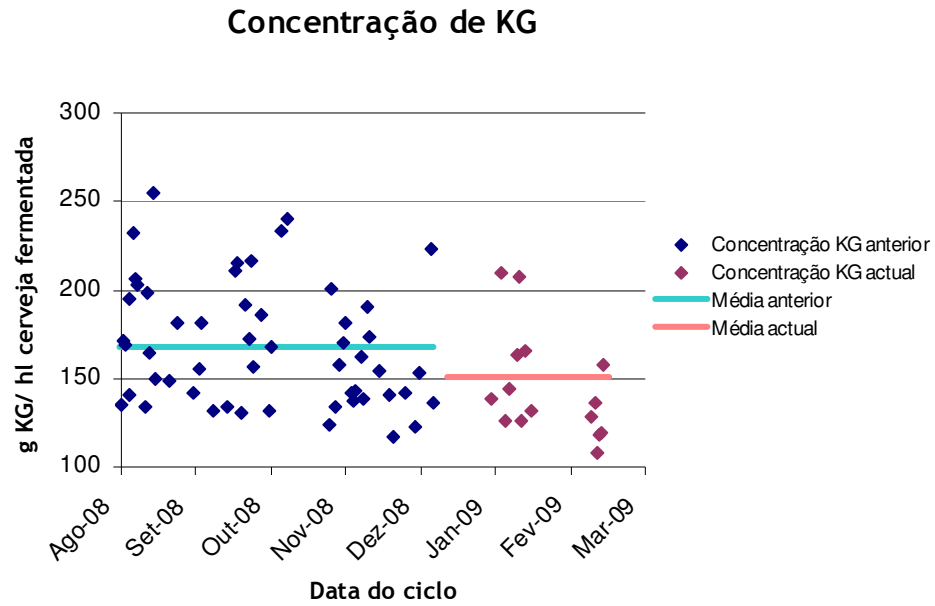


Figura 23 - Representação gráfica da concentração de KG adicionada durante a cerveja antes e depois das alterações.

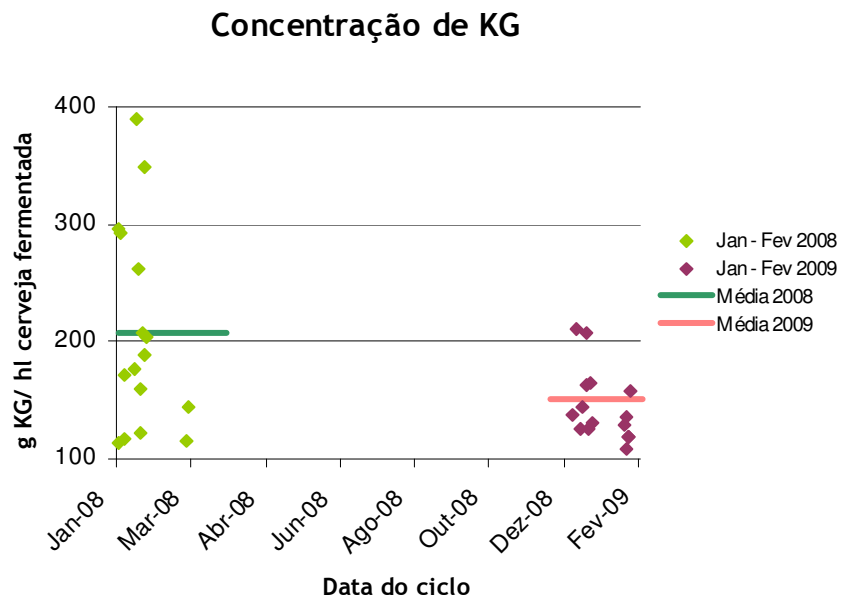


Figura 24 - Comparação da concentração de KG adicionada na filtração da cerveja na mesma época do ano em 2008.

Na tabela 11 apresentam-se os valores médios de concentração de KG adicionada antes e depois das alterações, na linha de filtração Schenk.

Tabela 11 - Valores médios de KG adicionado e desvio padrão.

Período filtração	Kieselguhr médio adicionado (g/hl)	Desvio padrão ( $\sigma$ )
Jan - Fev 2008	208	91
Ago - Dez 2008	168	34
Jan - Fev 2009	150	31

Ao longo do trabalho para diminuir a concentração de KG injectada na cerveja nos ciclos de filtração, verificou-se que o filtro de KG da linha Schenk é mais sensível a mudanças na concentração deste produto quando comparado com o filtro da linha Orion. A pressão oscilava com alterações graduais na concentração deste produto; o que não acontecia na linha Orion. Este facto foi ponderado na redução do adjuvante.

Comparando com os ciclos anteriores reduziu-se a concentração das doses de KG em 11 %, para a mesma época do ano de 2008 a redução foi na ordem dos 28 %. O desvio padrão dos valores foi menor depois de efectuadas as melhorias.

Na figura 25 comparam-se os valores de turvação antes e depois da redução do KG na filtração de cerveja, na linha Schenk.

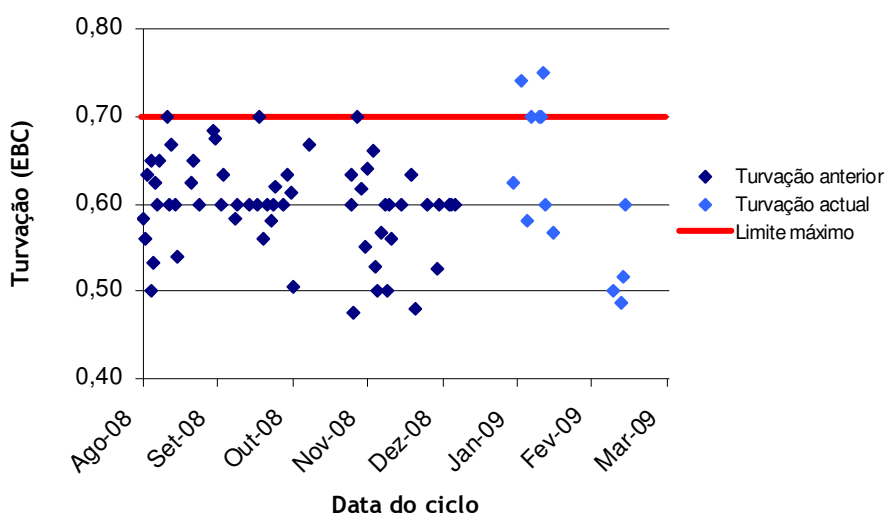


Figura 25 - Turvação média nos ciclos de filtração na linha Schenk.

A turvação de cerveja não sofreu alterações pela redução do KG durante a filtração. Na figura 25 observam-se dois valores que excederam o limite máximo de filtração, porém não tiveram relação com a redução de KG devido-se ao tipo de cerveja filtrada, Cristal Branca.

A optimização da adição do adjuvante de filtração, PVPP, efectuou-se pela redução do caudal da bomba de doseamento deste produto em cerca de 22 %.

As cervejas tipo Super Bock, Super Bock Sem Álcool e Carlsberg depois das alterações permitiram um bom desempenho do filtro na maior parte das vezes.

Pela análise de vários ciclos de filtração, verificou-se que as cervejas tipo Cristal Branca geralmente exibem turvações altas no produto final e que quando entram no filtro a pressão de entrada do filtro de KG aumenta drasticamente. Testou-se adicionar KG fino nas doses de KG durante a filtração desta cerveja, mas não se obtiveram resultados satisfatórios. Conclui-se pela análise de células de levedura na alimentação desta cerveja, na entrada de cubas no filtro, que não é a levedura que está a afectar o rendimento do filtro de KG. Desta forma fez-se uma análise comparativa da concentração de proteínas e polifenóis existentes nestes três tipos de cerveja. As amostras foram retiradas com especial atenção, de forma a evitar a formação de espuma; esta altera as propriedades da cerveja. Foram analisadas por espectrofotometria com recurso a um aparelho destacado para este efeito, *PPT2000 Standard*. A tabela 12 indica os resultados relativos à concentração de polifenóis e proteínas de alto e baixo peso molecular.

Tabela 12 - Concentração de polifenóis e proteínas nas cervejas tipo: Super bock, Carlsberg e Cristal Branca.

Tipo de cerveja	Polifenóis totais (mg/l)	Proteínas alto peso molecular (mg/l)	Proteínas baixo peso molecular (mg/l)
Super Bock	95,56	64,41	192,89
Carlsberg	82,65	63,75	218,73
Cristal Branca	110,12	76,93	143,98

Os resultados obtidos não permitem conclusões claras. Verifica-se que a quantidade de polifenóis e proteínas de alto peso molecular estão em maior concentração na cerveja tipo Cristal Branca. Estas proteínas poderão estar a provocar o entupimento parcial do filtro e consequentemente formação de caminhos preferenciais no filtro; como a cerveja no interior do filtro “procura” locais onde a resistência à passagem é menor, a eficiência da filtração diminui.

O estudo do mecanismo de retenção no filtro de KG, quando alimentada cerveja tipo Cristal Branca suscitou interesse em entender e resolver. No entanto, por limite de tempo o trabalho nesta parte não foi abrangente.

### 3.4 Redução de custos

As empresas pretendem obter produtos dentro dos parâmetros de qualidade exigidos, com os mais baixos custos de fabrico. Desta forma, otimizar procedimentos e/ou etapas ao longo do fabrico de produtos é vantajosa.

Na Tabela 13 são apresentadas estimativas para a redução do número de ciclos de filtração num ano, após efectuadas as melhorias nas linhas Orion e Schenk e apresenta-se também a redução de custos que poderá ser obtida na diminuição de pré-camadas formadas.

Tabela 13 - Quantidade de KG reduzida nas pré-camadas e consequente de custos.

Linha	Redução nº ciclos /ano	Redução de custos (€ /ano)
Orion	35	3024
Schenk	25	2160

O aumento dos ciclos de filtração leva a que, num ano sejam necessários menos ciclos de filtração para produção do mesmo volume de cerveja. Desta forma, o número de pré-camadas de KG necessárias também diminui. A economia média expectável é de 3024 € /ano na linha de filtração Orion e de 2160 € /ano na linha Schenk, tabela 13.

Na Tabela 14 são apresentados os resultados pela redução do consumo de KG médio e a redução de custos que esta diminuição proporciona, indicam-se os valores por ciclo de filtração e estimam-se para o período de um ano.

Tabela 14 - Quantidade de KG médio reduzido e diminuição consequente de custos.

Linha	Redução de consumos de KG		Redução de custos	
	kg de KG /Ciclo	kg de KG /ano	€ /Ciclo	€ /ano
Orion	191	51 172	91	24 563
Schenk	94	24 112	45	11 574

Com base nas folhas de registos da filtração de cerveja do Centro de Produção da UNICER BEBIDAS S.A., estimou-se a redução de custos pela diminuição do adjuvante de filtração KG. Estas alterações permitem uma economia de 24 563 € /ano na linha Orion e 11 574 € /ano na linha de filtração Schenk, tabela 14.

## 4 Conclusões

O presente projecto teve como objectivo otimizar a etapa de filtração de cerveja na fábrica de cerveja Unicer Bebidas S. A.; esta optimização centrou-se em reduzir os consumos de KG e aumentar o volume de cerveja filtrada por ciclo de filtração. O KG é um recurso natural finito; qualquer diminuição no seu consumo é benéfica para o meio ambiente. Numa perspectiva económica, a redução da utilização deste composto é vantajosa para a fábrica.

A optimização dos consumos de KG durante a filtração de cerveja teve em atenção, diversas variáveis operatórias do filtro: concentração de levedura na entrada do filtro, purgas de levedura, tipo de cerveja, controlo da turvação final da cerveja filtrada e pressão no filtro. A duração dos ciclos de filtração de 8 a 16 h implica que a operação seja dividida por mais do que um turno; desta forma o modo de trabalho por vezes não é o mesmo.

No que se refere à diminuição dos consumos de KG, conseguiu-se reduzir 30 g/hl de cerveja na linha Orion, cerca de 18 %, e 18 g/hl de cerveja na linha Schenk, 11 %, sem alterar as características finais da cerveja; a variância da concentração de KG adicionada depois das melhorias foi menor. Com o abaixamento efectuado na concentração de adição de KG durante a filtração, deverá economizar-se 24 563 €/ano na linha de filtração Orion e 11 574 €/ano na linha Schenk. Os ciclos de filtração foram optimizados, aumentaram 15 % e 11 % nas linhas Orion e Schenk, respectivamente; com esta modificação deverá economizar-se 3024 e 2160 €/ano respectivamente nas linhas Orion e Schenk pela redução do número de pré-camadas.

Fez-se ainda um estudo sobre métodos alternativos à filtração com utilização de KG. Conclui-se que os PSM são um bom investimento no futuro; são menos poluentes e possivelmente mais económicos. Apresentaram-se várias técnicas desenvolvidas para resolver problemas da colmatação das membranas.

## 5 Avaliação do trabalho realizado

### 5.1 Objectivos Realizados

Os objectivos principais deste projecto tiveram em vista otimizar os consumos de KG durante a filtração de cerveja e aumentar o volume de cerveja filtrada por ciclo de filtração. Este objectivo do projecto foi alcançado. A adição de KG foi reduzida durante a filtração em cerca de 30 g /hl de cerveja na linha Orion e 18 g /hl cerveja na linha Schenk. Os ciclos de filtração aumentaram em média 15 % na linha Orion e 11 % na linha Schenk. A variância na adição de KG foi diminuída, para ambas as linhas de filtração.

O KG é um recurso natural finito e o seu manuseamento engloba riscos para a saúde dos operadores. A investigação dos PSM foi de grande interesse e permitiu obter outra visão sobre a etapa de filtração de cerveja; constatou-se que os PSM tornam a etapa de filtração de cerveja menos poluente e com menor risco para a saúde dos operadores.

### 5.2 Limitações e Trabalho Futuro

A etapa de filtração de cerveja é uma operação complexa, envolvendo o controlo de muitas variáveis o que tornou a aprendizagem inicial mais demorada.

Destaca-se a necessidade de colocar na linha de filtração Schenk um quarto filtro armadilha, com a função de substituir o filtro armadilha III em situações que este fique obstruído.

Propõe-se que seja automatizada a adição de KG ao longo dos ciclos de filtração para evitar erros de operação e simplificar o procedimento. O estudo da utilização de KG regenerado poderá ainda levar a economias significativas na operação da linha Orion.

No futuro, a utilização dos PSM na etapa de filtração de cerveja será o método a adoptar.

### 5.3 Apreciação final

O trabalho na UNICER BEBIDAS S. A. revelou-se uma boa experiência profissional e pessoal. Foram aplicados conhecimentos adquiridos ao longo do curso na Faculdade de Engenharia, bem como a capacidade de encontrar soluções para problemas existentes.

De uma forma geral, foi uma constante aprendizagem que permitiu o meu amadurecimento a nível profissional.

## 6 Referências

- [1] Hough, J. S. *Biotecnología de la cerveza y de la malta*, Editorial Acribia, S.A.
- [2] Carvalho, B., M., S., *Curso de Produção de Cerveja*, UNICER, Julho, 1985.
- [3] Bamforth, C. W., *Beer Haze*, Department of Food Science and Technology, University of California, 1999.
- [4] European Brewery Convention, *Beer Filtration, Stabilisation and Sterilisation. Manual of Good Practice*, 1999.
- [5] Kunze, W. *Technology Brewing and Malting*, 2<sup>nd</sup> Edition, VLB Berlin, 1999.
- [6] Alicie t., Mendes E., Pereira N., Barros S., Innocenti T., Alves., Análise do uso da membrana cerâmica de 0,2 um na clarificação de cerveja. *Acta Sci. Technol.*, **30**, 181-186 (2008).
- [7] Portal da internet: [labvirtual.eq.uc.pt](http://labvirtual.eq.uc.pt) (acedido 20/01/2009)
- [8] Fillaudeau, L., Boissier, B., Moreau, A., Blanpain-avet, P., Ermolaev, S., Jitariouk, N., Gourdon, A., Investigation of rotating and vibrating filtration for clarification of rough beer. *Journal of Food Engineering*, **80**, 207-217 (2006).
- [9] Wang, W., K., *Membrane Separations in Biotechnology*, 2<sup>nd</sup> Edition, Revised and Expanded.
- [10] Noguè, M., Akbarssyah, I., Bolhuis-Versteeg, L., Lammertink, R., Wessling, M., Vibrating polymeric microsieves: antifouling strategies for microfiltration. *Journal of Membrane Science*, **285**, 323-333 (2006).
- [11] Muthukumar, S., Kentish, S., Lalchandani S., Ashokkumar M., Mawson R., Stevens G., Greieser, The optimisation of ultrasonic cleaning procedures for dairy fouled ultrafiltration membranes. *Ultrasonics Sonochemistry*, **12**, 29-35 (2004).



## Anexo 1 Granulometria ao longo da filtração na linha Orion.

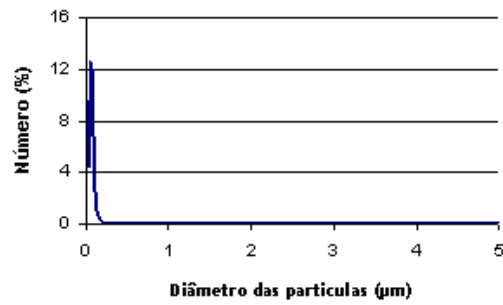


Figura 26 - Relação entre o número e diâmetro das partículas 1 hora após o início de filtração.

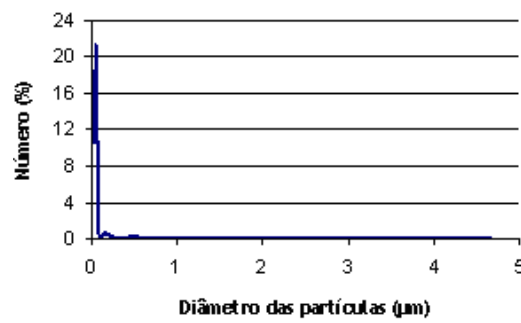


Figura 27 - Relação entre o número e diâmetro das partículas 3 horas após o início de filtração.

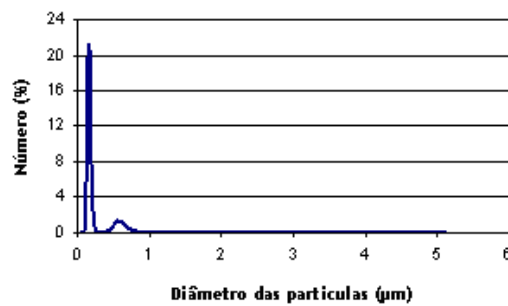


Figura 28 - Relação entre o número e diâmetro das partículas 5 horas após o início de filtração.

## Anexo 2 Granulometria ao longo da filtração na linha Schenk

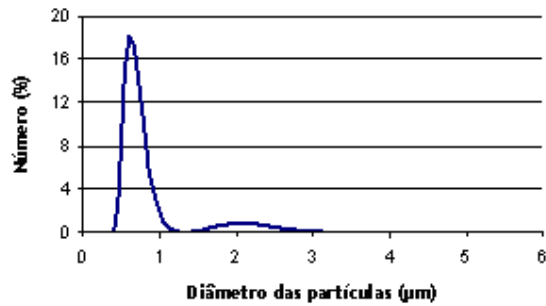


Figura 29 - Relação entre o número e diâmetro das partículas no início de filtração.

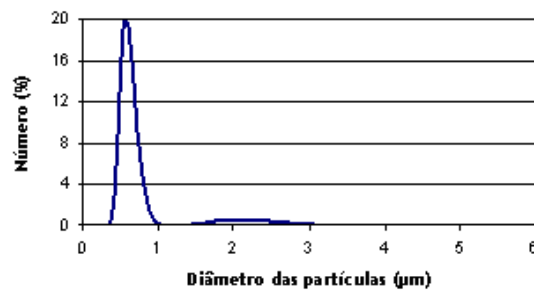


Figura 30 - Relação entre o número e diâmetro das partículas 1 hora após o início de filtração.

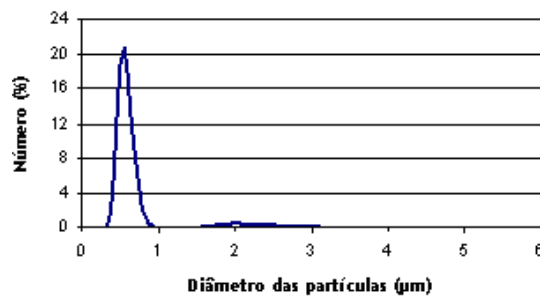


Figura 31 - Relação entre o número e diâmetro das partículas 3 horas após o início de filtração.

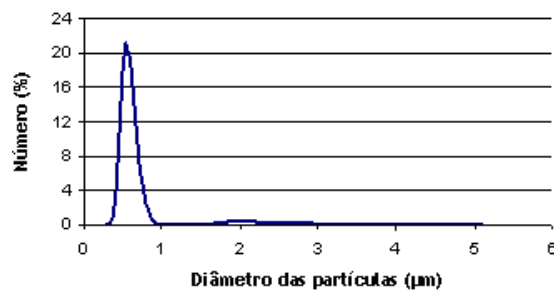


Figura 32 - Relação entre o número e diâmetro das partículas 5 horas após o início de filtração.

### Anexo 3 Programas de formação de pré-camadas e filtração da linha Orion.

Tabela 15 - Programa de formação de pré-camadas da linha Orion.

Passo	Pré-camada KG	Tempo (seg)	P201 (hl/h)
2	Encher filtro com água + transferência para tanque dosagem o KG da 1ª chamada		400
3	Deaeração	330	400
4	1ª pré-camada KG/circulação	45	
5	Fazer 1ª pré-camada KG		1000
6	2ª pré-camada KG: transferência para tanque dosagem/circulação filtro KG	600	1000
7	Fazer 2ª pré-camada		1000
8	Circulação após 2ª pré-camada	600	1000
9.1	Esvaziar filtro KG com pressão de CO <sub>2</sub> pela V221 (drena zona superior filtro)	***	
9.2	Esvaziar filtro KG com pressão de CO <sub>2</sub> pela V220 (drena zona inferior filtro)	***	
10	Esvaziamento da tubagem	60	
11	Encher linha com água desarejada até aos TCF's	300	

Tabela 16 - Programa de filtração na linha Orion.

Passo	Arranque da filtração	Tempo (seg)	LT1101 (%)	FT4001 (hl/h)	FT3201 (hl/h)	PT3201 (hl/h)	M3040 (rpm)	LT5001 (%)
2	Drenar tubagem	60		500				
3	Encher tanque tampão			400				
4	Drenar tubagem até ao filtro			400				
5	Circulação filtro KG. Encher filtro PVPP. Pré-camada PVPP			500				
6	Circulação filtros KG e PVPP	600		500	500		100	
7	Filtração			400		2		50
8	Esvaziar tanque tampão			400		1,5		10
10	Final de filtração. Esterilização	600	FT501 500	TT501 85	BSL08TT01 75			
11	Final de filtração. Encher com água desarejada	300		TT502 35	BSL08TT01 15			

## Anexo 4 Programas de formação de pré-camadas e filtração da linha Schenk.

Tabela 17 - Programa de formação de pré-camadas da linha Schenk.

Passo	Pré-camada KG	Tempo (seg)	Ciclos	LT3001 (%)	FT4001 (hl/h)
4	Deaeração	135	3		800
5	1ª Pré-camada/circulação			5	800
6	Circulação/Transferência 2ª pré-camada	600			800
7	2ª Pré-camada/circulação			5	800
8	Circulação/Transferência do KG da filtração	600			800
9	Circulação com água até filtração com cerveja				500

Tabela 18 - Programa de filtração na linha Schenk.

Passo	Filtração	Tempo (seg)	FT201 (hl/h)	FT202 (hl/h)	LT101 (%)	PT203 (bar)
2	Drenar tubagem	110				
3	Encher tanque tampão				60	
4	Drenar tubagem até ao filtro KG	20				
5	Encher filtro com cerveja					
6	Circulação filtro KG	720	500			
7.1	Circulação filtro KG. Encher filtro PVPP		500	250		
7.2	Pré-camada de PVPP	300	500	700		
7.3	Circulação filtros KG e PVPP	600	500	700		
8	Filtração		400			2
9	Esvaziar tanque tampão		400		3	2
10	Circular	600	400	400		
11	Final de filtração. Empurro com água		400			2
12	Final de filtração. Sem PVPP		500			2
17	Final de filtração. Esterilização	600	FT401 500	TT401 85	BSL09TT01 70	
18	Final de filtração. Encher água desarejada	300		TT402 35	BSL09TT01 15	

## Anexo 5 Automatos

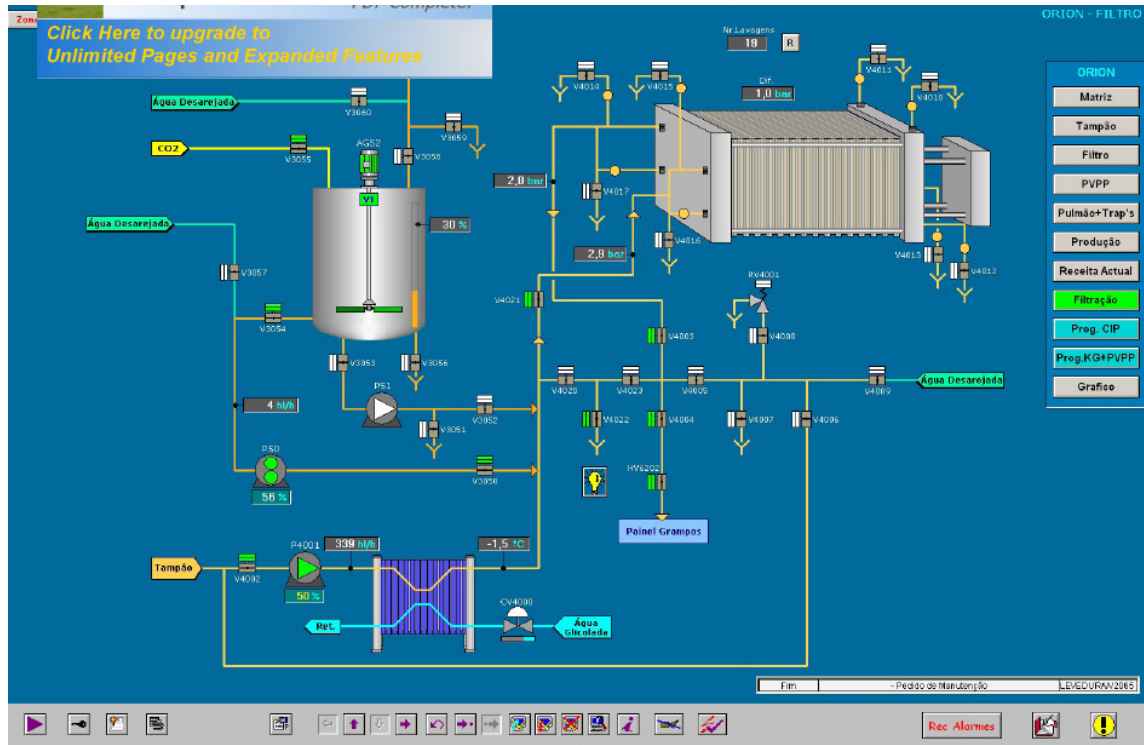


Figura 33 - Imagem do autómato do filtro de KG da linha de filtração Orion.

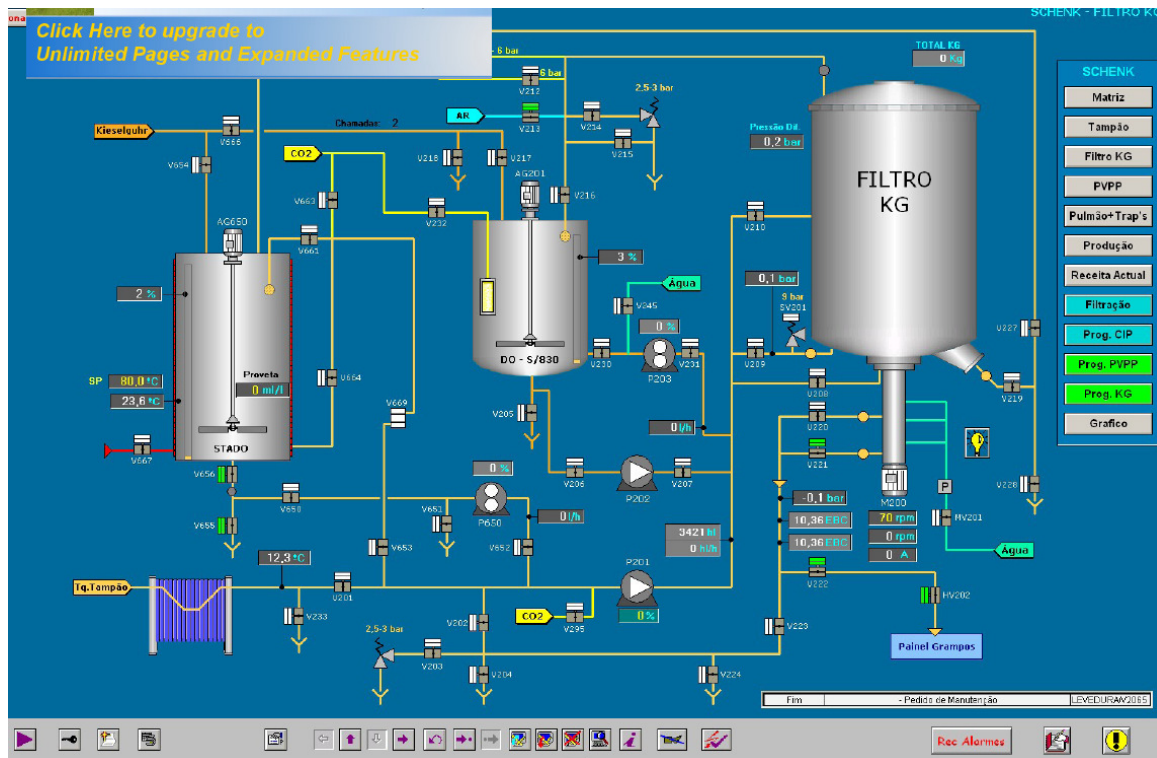


Figura 34 - Imagem do autómato do filtro de KG da linha de filtração Schenk.

