

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

ANIELLE BOSQUESI MARANGONI

AVALIAÇÃO DA MICROFILTRAÇÃO COMO PROCESSO ALTERNATIVO À
PASTEURIZAÇÃO DA CERVEJA ARTESANAL

PATOS DE MINAS

2018

ANIELLE BOSQUESI MARANGONI

AVALIAÇÃO DA MICROFILTRAÇÃO COMO PROCESSO ALTERNATIVO À
PASTEURIZAÇÃO DA CERVEJA ARTESANAL

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao curso de Engenharia de Alimentos da
Universidade Federal de Uberlândia - *Campus*
de Patos de Minas como parte dos requisitos
para conclusão do curso.

Orientadora: Prof^a Dr^a Daniele do Espírito
Santo Loredó da Silva

PATOS DE MINAS

2018

AVALIAÇÃO DA MICROFILTRAÇÃO COMO PROCESSO ALTERNATIVO À
PASTEURIZAÇÃO DA CERVEJA ARTESANAL

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
para obtenção do título de Bacharel no curso
de Engenharia de Alimentos da Universidade
Federal de Uberlândia - *Campus* de Patos de
Minas, pela banca examinadora, formada por:

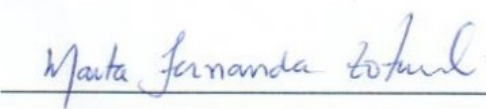
Patos de Minas, 19 de Março de 2018.



Prof.^a Dr.^a Daniele do Espirito Santo Loreda da Silva – UFU/MG



Prof.^a Dr.^a Líbia Diniz Santos – UFU/MG



Prof.^a Dr.^a Marta Fernanda Zotarelli – UFU/MG

Dedico esse trabalho aos meus pais Luiz e Maribel, e aos meus irmãos Marielle e Eduardo com toda minha gratidão, por todo apoio ao longo da graduação.

Agradecimentos

Agradeço primeiramente a Deus, que me guiou em todos os momentos ao longo de minha vida.

Aos meus pais, Luiz e Maribel, pelo amor, incentivo, confiança, conforto e orientações em todos os momentos, mesmo com a distância. E também por todo o reconhecimento, entendendo o motivo de minha ausência em certos momentos.

Aos meus irmãos, Marielle e Eduardo, pelo ombro amigo e apoio em qualquer circunstância. A vocês, minha eterna gratidão por todo o auxílio para que eu concluísse essa importante etapa da minha vida.

Aos meus amigos, que me deram suporte em cada passo e contribuíram cada um de alguma maneira durante essa etapa.

A minha orientadora, Prof.^a Dr.^a Daniele do Espírito Santo Loredó da Silva, pela oportunidade e orientação na elaboração deste trabalho.

Ao Paulo Hartman, proprietário da Namtrah Cerveja Artesanal, e ao César, colaborador da empresa DÖHLER®, pela doação dos materiais, tornando possível o desenvolvimento da presente pesquisa.

A toda equipe técnica dos laboratórios da Engenharia de Alimentos da Universidade Federal de Uberlândia, *campus* Patos de Minas.

A Prof.^a Miria Espanhol, por conceder o uso do Laboratório de Engenharia Química na Universidade Federal de Uberlândia.

A todos os professores do curso, que foram tão importantes na minha vida acadêmica e no desenvolvimento deste Trabalho de Conclusão de Curso, contribuindo para minha formação profissional, com todo o incentivo e aprendizado.

Enfim, a todos que, direta ou indiretamente, fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigada.

RESUMO

Os processos de separação por membranas (PSM) são utilizados na indústria de alimentos como alternativa aos processos convencionais. A microfiltração, por exemplo, pode ser empregada em indústria cervejeira substituindo a filtração e pasteurização em uma única etapa, otimizando o processo. No entanto, os PSMs apresentam limitações como a polarização de concentração e incrustações na membrana. O objetivo do presente trabalho foi avaliar o processo de microfiltração como alternativa para a pasteurização e clarificação da cerveja artesanal. Um sistema de microfiltração com módulo de membrana plana (0,05 μm) foi utilizado para estudar a influência da vazão e temperatura no processamento da cerveja. A eficiência do processo foi avaliada através do fluxo permeado, coloração da bebida obtida e análises microbiológicas qualitativas. Também foi analisado se houve diferenças significativas nos valores de pH, acidez total, densidade, teor de sólidos solúveis, extrato seco e teor alcoólico na bebida. A cerveja microfiltrada apresentou redução de cor, turbidez, acidez total, sólidos solúveis, extrato seco e aumento de pH, quando comparada com a cerveja não microfiltrada. Além disso, a microfiltração mostrou-se um processo eficaz na esterilização da bebida, garantindo a sua qualidade microbiológica.

Palavras chaves: Clarificação; Cerveja artesanal; Membranas.

ABSTRACT

Membrane separation processes (MSP) are used in the food industry as an alternative to conventional processes. Microfiltration, for example, it can be applied to the brewing industry by replacing filtration and pasteurization in a single step, optimizing the process. However, the MSPs present limitations such as concentration polarization and membrane encrustation. The objective of this work was to evaluate the microfiltration process as an alternative for pasteurization and clarification of craft beer. A microfiltration system with a flat membrane module (0.05 μm) was used to study the influence of flow and temperature on beer processing. The efficiency of the process was evaluated through permeate flow, color of the obtained beverage and qualitative microbiological analyzes. Total acidity, pH, density, soluble solids content and dry extract in the beverage were also analyzed in order to see if there were significant differences. The microfiltered beer showed color, turbidity, total acidity, soluble solids, dry extract reduction and increase of pH, when compared to not microfiltered beer. Besides that, a microfiltration being effective in sterilization and guaranteeing the microbiological quality of the beverage.

Key words: Clarification; Craft beer; Membrane.

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Fluxo permeado da cerveja em diferentes condições.....	35
Gráfico 2 - Fluxo permeado das microfiltrações operadas a 10 mL/min	37
Gráfico 3 -Fluxo permeado das microfiltrações operadas a 30 mL/min	37
Gráfico 4 - Fluxo permeado das microfiltrações operadas a 20 mL/min	38
Gráfico 5 - Fluxo de permeado antes e após a limpeza da membrana	38
Gráfico 6 - Valores de L^* obtidos para as cervejas PA e S.....	45
Gráfico 7 - Valores de L^* obtidos para as cervejas permeadas e retidas	45
Gráfico 8 - Turbidez das cervejas PA e S.....	47
Gráfico 9 - Turbidez das cervejas permeadas e retidas	48
Gráfico 10 - pH da cerveja PA e S	49
Gráfico 11 - pH das cervejas permeadas e retidas	49
Gráfico 12 - Acidez total das cervejas PA e S.....	51
Gráfico 13 - Acidez total das cervejas permeadas e retidas	51
Gráfico 14 - Densidade das cervejas PA e S	53
Gráfico 15 - Densidade das cervejas permeadas e retidas.....	53
Gráfico 16 - Sólidos solúveis (°Brix) da cerveja PA e S.....	54
Gráfico 17 - Sólidos solúveis (°Brix) das cervejas permeadas e retidas	55
Gráfico 18 - Extrato seco das cervejas PA e S	56
Gráfico 19 - Extrato seco das cervejas permeadas e retidas.....	57

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Esquema do Processo de Separação por Membranas (PSM).....	20
Figura 2 - Fluxograma da produção de cerveja pasteurizada e microfiltrada	22
Figura 3 - Resistência da membrana.....	24
Figura 4 - Bomba Dosadora DMC 100-1	28
Figura 5 - Módulo de membrana plana	28
Figura 6 - Análises microbiológicas das amostras S (a) e PA (b)	39
Figura 7 - Análises microbiológicas das amostras P1 (a), P2 (b), P3 (c), P4 (d), P5 (e), P6 (f) e P7 (g)	41
Figura 8 - Análises microbiológicas das amostras R1 (a), R2 (b), R3 (c), R4 (d), R5 (e), R6 (f) e R7 (g)	42
Figura 9 - Coloração das amostras PA, S, permeadas e retidas.....	44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Tipos de Processos de Separação por Membranas	21
Tabela 2 - Planejamento experimental	26
Tabela 3 – Codificação das microfiltrações	26
Tabela 4 – Codificação das amostras	27
Tabela 5 - Fluxo da cerveja permeada e rendimento (R%) das microfiltrações.....	34
Tabela 6 - Colorimetria da cerveja	44
Tabela 7 - Turbidez da cerveja	47
Tabela 8 - pH da cerveja.....	48
Tabela 9 - Acidez total da cerveja	50
Tabela 10 - Densidade da cerveja.....	52
Tabela 11 - Sólidos solúveis da cerveja.....	54
Tabela 12 - Extrato seco da cerveja.....	56

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 OBJETIVOS	13
2.1 Objetivo geral	13
2.2 Objetivos específicos	13
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
3.1 Cerveja	14
3.2 Matérias-primas	14
3.2.1 Água	15
3.2.2 Malte	15
3.2.3 Lúpulo	15
3.2.4 Adjuntos	16
3.2.5 Levedura	16
3.3 Processamento da cerveja	16
3.3.1 Moagem do malte	16
3.3.2 Mosturação	17
3.3.3 Filtração do mosto	17
3.3.4 Fervura	17
3.3.5 Decantação e resfriamento	17
3.3.6 Fermentação e maturação	18
3.3.7 Filtração, gaseificação e envase	18
3.3.8 Pasteurização	18
3.4 Estabilidade microbiológica da cerveja	19
3.5 Processo de Separação por Membranas	20
3.6 Parâmetros de controle	23
4 METODOLOGIA	25
4.1 Cerveja	25
4.2 Planejamento experimental	25
4.3 Microfiltração	27
4.4 Limpeza da membrana	29
4.5 Análises microbiológicas	29
4.6 Análises físico-químicas	29
4.6.1 Colorimetria	30
4.6.2 Turbidez	30
4.6.3 Determinação do pH	30
4.6.4 Densidade	31
4.6.5 Sólidos solúveis	31

4.6.6 Acidez total	31
4.6.7 Extrato seco total	32
4.6.8 Concentração de etanol	32
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	33
5.1 Microfiltração	33
5.2 Limpeza da membrana	38
5.3 Análises microbiológicas	39
5.4 Análises físico-químicas	43
5.4.1 Colorimetria	43
5.4.2 Turbidez	46
5.4.3 pH	48
5.4.4 Acidez total	50
5.4.5 Densidade	52
5.4.6 Sólidos solúveis	53
5.4.7 Extrato seco	55
5.4.8. HPLC	57
6 CONCLUSÃO	59
REFERÊNCIAS	60

1 INTRODUÇÃO

Cerveja é a bebida obtida pela fermentação alcoólica de mosto oriundo do malte da cevada e água potável, por ação de levedura e com adição de lúpulo. Segundo a Associação Brasileira da Indústria da Cerveja (2005), o Brasil é o terceiro maior produtor de cerveja do mundo, perdendo apenas para a China e Estados Unidos. O crescimento da indústria cervejeira foi motivado pelo incremento da demanda, que vem apresentando uma taxa de crescimento constante em torno de 5% ao ano (VANINI, 2016).

Diante do grande crescimento desse mercado, um dos principais fatores envolvidos é a qualidade do produto, a qual está aliada à satisfação do consumidor. Por isso, a cerveja deve apresentar uma boa qualidade visual e aspecto límpido, sem a deposição de sedimentos no fundo das embalagens (RONCONI, 2016).

Em seu processo produtivo, a filtração é conhecida como a etapa de finalização do processo, que tem como objetivo eliminar as partículas em suspensão, como leveduras, partículas coloidais, resíduos de lúpulo, ou seja, todo o material causador da turbidez. Esse processo ocorre mediante a passagem da cerveja maturada por um meio filtrante sem que haja alterações na qualidade do produto final, conferindo um aspecto límpido e cristalino (NETA; HABERT; BORGES, 2005).

Outra etapa de grande importância é a pasteurização, operação que envolve o uso de altas temperaturas em um curto período de tempo, a fim de proporcionar estabilidade microbiológica à cerveja. Contudo, o processo de pasteurização ocupa grande espaço na área industrial, requer um alto consumo de água, vapor e energia elétrica, além de afetar as propriedades sensoriais da cerveja (NETA; HABERT; BORGES, 2005).

Uma das alternativas encontrada para otimizar o processo de produção da cerveja são os Processos de Separação por Membranas (PSM), como a microfiltração, pois apresentam um menor custo operacional e são capazes de garantir a estabilidade físico-química e microbiológica da bebida, substituindo a filtração e pasteurização em uma única etapa (NETA; HABERT; BORGES, 2005).

A eliminação microbiana é atribuída à diferença de tamanho entre os microrganismos deteriorantes da cerveja e o poro da membrana filtrante e devido às propriedades seletivas das membranas, as quais são capazes de remover qualquer tipo de bactéria ou levedura prejudiciais à qualidade do produto final (NETA; HABERT; BORGES, 2005).

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

O intuito desse estudo é avaliar o processo de microfiltração como alternativa para a pasteurização da cerveja artesanal, por meio dos efeitos dos principais parâmetros operacionais, bem como a estabilidade microbiológica e turvação do produto, visando um menor custo operacional e menor alteração das características do produto final.

2.2 Objetivos específicos

- Avaliar os efeitos dos parâmetros operacionais, temperatura (T) e vazão, no fluxo de permeado durante a microfiltração;
- Realizar as análises microbiológicas da cerveja microfiltrada e pasteurizada, a fim de verificar a eficácia do processo em relação a estabilidade microbiológica da bebida;
- Analisar a turbidez da cerveja microfiltrada e pasteurizada, a fim de comparar os resultados para verificação da eficiência da microfiltração em relação à clarificação da bebida.
- Caracterizar o produto obtido por meio de análises físico-químicas, como pH, cor, densidade, sólidos solúveis, acidez total e extrato seco.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Cerveja

A bebida obtida pela fermentação alcoólica de mosto oriundo do malte da cevada e água potável, por ação de levedura e com adição de lúpulo, é denominada cerveja. Parte do malte de cevada pode ser substituído por adjuntos, como cevada, arroz, trigo, centeio, milho, aveia, sorgo ou por carboidratos de origem vegetal, transformados ou não (VENTURINI FILHO; CURI; NOJIMOTO, 2009).

Existem diversos tipos de cerveja que se diferenciam pelo tipo de matéria-prima e pelas condições de processo utilizadas, como tempo, temperatura, fermentação e maturação. Elas são classificadas de acordo com o tipo de fermentação que ocorre, que, por sua vez, influenciam diretamente nas propriedades sensoriais do produto final, como sabor, aroma, cor, turvação e formação de espuma (PAIVA, 2011).

Frente ao grande crescimento no consumo de cerveja, houve o aparecimento de diversos tipos dessa bebida no mercado. Segundo a legislação brasileira, as cervejas podem ser nomeadas como Pilsen, Export, Larger Dortmunder, München, Bock, Malzbier, Ale, Stout, Porter, Weissbier, Alt, além de outras designações referentes aos estilos conhecidos mundialmente (PAIVA, 2011).

Esse contexto possibilitou ainda o surgimento de cervejas artesanais elaboradas por microcervejarias, nas quais se diferem no processo e emprego de matérias-primas quando comparadas às cervejas produzidas em grande escala, além de apresentar um processo de produção mais lento, fornecendo ao consumidor um produto com propriedades originais e que fogem aos padrões de mercado (FERREIRA; BENKA, 2014).

As diferentes fases do processo de produção de cerveja e cerveja artesanal podem ser agrupadas nas seguintes etapas: produção e adequação do mosto, fermentação, maturação e engarrafamento, as quais podem variar de acordo com o tipo de cerveja e as características desejadas ao produto final.

3.2 Matérias-primas

O processo de elaboração da cerveja é cada vez mais controlado. São necessários muitos cuidados que vão desde condições de higiene adequadas até a escolha correta dos ingredientes,

a fim de garantir a qualidade do produto final. Os ingredientes básicos para a produção na maioria das cervejas são cevada maltada, água, lúpulo e levedura, podendo ser acrescidas de adjuntos.

3.2.1 Água

A água é o principal ingrediente da cerveja, sendo responsável por cerca de 90% da bebida (MORADO, 2009). Para o processo cervejeiro, a água deve ser insípida, inodora e o seu pH deve estar entre 6,5 e 8, permitindo a ação das enzimas do malte (MATOS, 2011).

Ainda deve ser livre da turbidez provocada por pequenas partículas em suspensão, apresentar alcalinidade preferencialmente inferior a 25 mg/L e possuir concentração de cálcio aproximada de 50 mg/L (FERREIRA; BENKA, 2014). Além de possuir um controle do processo e um plano de higienização na unidade industrial (ROSA; AFONSO, 2015).

3.2.2 Malte

O malte é obtido obrigatoriamente a partir de germinação de cereais sob condições controladas de temperatura, aeração e umidade, sendo uma etapa fundamental para a qualidade e a personalidade da cerveja. Os maltes mais comuns na produção de cerveja são os de trigo e cevada, sendo que a sua composição é responsável pelo sabor e a cor do produto final. (MORADO, 2009).

No entanto, o mais utilizado na indústria cervejeira é a cevada, devido à alta capacidade de maltagem, alto teor de amido e baixo teor de lipídios, além de conter enzimas que auxiliam na produção do mosto e proteínas que auxiliam na formação de espuma. Além disso, possui um custo mais baixo e maior facilidade de malteação que os outros cereais como trigo, arroz, milho e aveia (FERREIRA; BENKA, 2014). Segundo a Embrapa (2012), cerca de 75 % da cevada produzida no Brasil destina-se para fabricação do malte e 95 % deste malte é destinado para produção de cerveja.

3.2.3 Lúpulo

O lúpulo, classificado como *Humulus lupulus*, é uma planta trepadeira, na qual suas flores são usadas para a fabricação da cerveja. O lúpulo possui óleos essenciais altamente voláteis que, juntamente com o malte, proporcionam sabor e aroma característicos às cervejas

(MORADO, 2009). Além disso, o lúpulo tem papel fundamental na conservação da bebida, uma vez que alguns de seus componentes possuem ações bacteriostáticas, inibindo o crescimento de bactérias gram-positivas (SACHS, 2001).

3.2.4 Adjuntos

Segundo o Decreto Nº 6.871, de 4 de junho de 2009, que regulamenta a Lei nº 8.918, de 14/07/1994 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (BRASIL, 2009), até 45% do malte pode ser substituído por adjuntos cervejeiros. São considerados adjuntos os cereais malteados (trigo, aveia, arroz e milho) ou não malteados, amidos e açúcares de origem vegetal. Eles são utilizados por serem matérias-primas mais baratas e por aportar características diferentes ao mosto.

3.2.5 Levedura

O tipo de cepa empregada, pH, temperatura e concentração do mosto são fatores que influenciam diretamente nas propriedades da cerveja (RONCONI, 2016). As leveduras são responsáveis por produzir vários compostos a partir do açúcar, como dióxido de carbono, ésteres, diacetil, cetonas e ácidos graxos, sendo que grande parte deles atribuem sabor e aroma à bebida (PALMER, 1999).

No processo cervejeiro, as leveduras mais utilizadas são as *Saccharomyces cerevisiae*, nas quais atribuem características consideradas como originais dessa bebida. Contudo, existem leveduras que causam alterações desejáveis ou não ao produto final, por exemplo espécies dos gêneros *Acetobacter*, *Lactobacillus* e *Pediococcus* promovem odor de mel, ou ainda aromas frutados (PALMER, 1999).

3.3 Processamento da cerveja

3.3.1 Moagem do malte

Na produção da cerveja, primeiramente é realizada a moagem do malte, a qual tem como objetivo a quebra e exposição do grão de amido, aumentando a superfície de contato e possibilitando a atuação de enzimas na próxima etapa do processo (MORADO, 2009).

Algumas cervejarias umidificam o malte com solução aquosa durante a quebra, a fim de evitar a danificação da casca no processo de moagem. A água resultante dessa etapa pode ser utilizada na mosturação, por conter grande quantidade de sólidos solúveis e insolúveis de interesse para o processo, aumentando o extrato recuperado no mosto (VENTURINI FILHO; NOJIMOTO, 1999).

3.3.2 Mosturação

A mosturação, considerada a principal etapa da produção de cerveja, é um conjunto de operações que objetiva a produção do mosto. É constituída pela mistura do malte, água e adjuntos com um rígido controle da temperatura e pH por um determinado período de tempo, assim é capaz de ativar todas as enzimas contidas no malte (SACHS, 2001).

3.3.3 Filtração do mosto

Após a mosturação, o mosto é filtrado a fim de separar os compostos não desejáveis, como proteínas e enzimas coaguladas, resquícios de amido não modificado, material graxo, silicatos e polifenóis, os quais podem prejudicar o sabor, cor e aroma do produto final. A própria casca do malte depositada no fundo do recipiente pode atuar como meio filtrante, e o resíduo é lavado com água quente para extrair o máximo dos sólidos solúveis do mosto (MATOS, 2011).

3.3.4 Fervura

A fervura ocorre aproximadamente a 100°C, tem por finalidade inativar o sistema enzimático, evitar o desenvolvimento de microrganismos, estabilizar o mosto e extrair os aromas e sabores do lúpulo. Nessa etapa, grande parte das proteínas se coagulam e parte dos taninos presentes no lúpulo reagem com as proteínas e também se precipitam, além de ocorrerem diversas reações químicas entre as substâncias do mosto (MATOS, 2011).

3.3.5 Decantação e resfriamento

Após a fervura, ocorre a decantação e resfriamento do mosto. O lúpulo e os materiais coagulados depositados no fundo do recipiente, denominados *trub*, são retirados a fim de evitar

um sabor indesejável. O resfriamento do mosto é necessário devido à temperatura adequada da levedura utilizada na fermentação (MATOS, 2011).

3.3.6 Fermentação e maturação

A fermentação da cerveja consiste na inoculação da levedura no mosto resfriado, o qual age sobre os açúcares transformando-os em álcool e dióxido de carbono. Os processos de fermentação são específicos para cada tipo de cerveja e devem ser levados em conta alguns fatores como temperatura, tempo de processo, tipo e quantidade de levedura. A formação de diacetil, quantidade de álcool gerado e o fim da produção de CO₂ indicam o término da fermentação e início da maturação (MATOS, 2011).

Durante a maturação ocorre a sedimentação das leveduras e precipitação de proteínas e outras partículas em suspensão, promovendo a redução da concentração de diacetil, acetaldeído e ácido sulfídrico, além de clarificar e melhorar o sabor da cerveja (MATOS, 2011).

3.3.7 Filtração, gaseificação e envase

Com o objetivo de eliminar as leveduras, complexos taninos-proteicos e resinas do lúpulo, é realizada uma filtração, proporcionando cristalinidade e estabilidade à cerveja, sem alterar a composição e o sabor da bebida (MATOS, 2011). Muitas das cervejas produzidas de forma artesanal não passam pelo processo de filtração, apresentando assim um aspecto mais turvo.

Posteriormente, acontece a gaseificação por injeção de CO₂ ou por *priming*, que consiste no consumo de açúcares fermentáveis adicionados no interior das garrafas e liberação de CO₂, por leveduras restantes. Então a bebida é envasada em latas, garrafas ou barris, previamente esterilizados (MATOS, 2011).

3.3.8 Pasteurização

A pasteurização da cerveja é uma operação que consiste em elevar a bebida à alta temperatura por um curto período de tempo e, em seguida resfria-la a uma temperatura inferior, proporcionando um ganho na estabilidade microbiológica e evitando a ocorrência de alteração no sabor e aroma do produto final (MATOS, 2011).

A resistência térmica e/ou enzimas que se deseja inativar, a sensibilidade do produto ao calor, bem como sua composição química e o tempo de prateleira desejável são fatores que interferem no tempo e temperatura empregados na etapa de pasteurização. Existem dois tipos de pasteurização, a lenta (*Low Temperature Long Time* - LTLT) e a rápida (*High Temperature Short Time* - HTST). A pasteurização HTST é a mais utilizada, por ser um processo rápido e de controle mais eficaz na inativação microbiana, sendo empregado em indústrias de laticínios, sucos e cervejas (LAVARDA, 2011).

3.4 Estabilidade microbiológica da cerveja

A cerveja é uma bebida que apresenta características desfavoráveis para a multiplicação de vários microrganismos, devido à presença de álcool, baixo pH, ação bacteriostática de alguns componentes do lúpulo, baixo nível nutricional e a presença do dióxido de carbono. Sendo, portanto, reconhecida como um produto de considerável estabilidade microbiológica (CARRERA, 2015).

Porém, algumas espécies de microrganismos, incluindo bactérias gram-positivas, gram-negativas e leveduras selvagens são capazes de se multiplicar nesta bebida, conferindo características indesejáveis, tais como turbidez e mudanças sensoriais, as quais prejudicam a qualidade do produto final (DRAGONE et al., 2007).

Entre as bactérias gram-negativas deteriorantes da cerveja estão: *Acetobacter*, *Glucanobacter*, *Citrobacter*, *Enterobacter*, *Pectinatus*, *Megasphaera* e *Zymomonas*. Entre as gram-positivas estão: *Lactobacillus*, *Pediococcus*, *Bacillus* e *Micrococcus*. Já as leveduras selvagens que podem ser encontradas na cerveja são qualquer levedura diferente daquela que seja adicionada deliberadamente e sob condições controladas ao mosto (CARRERA, 2015).

No processo cervejeiro, é necessário manter os microrganismos contaminantes em níveis adequados, exigindo um rigoroso controle ao longo de todo processo de elaboração e das matérias-primas. Sendo assim, é preciso controlar adequadamente as condições gerais do ambiente produtivo, dos manipuladores e dos processos de higienização, garantindo a qualidade desejada para o produto final (RODOLFO, 2015).

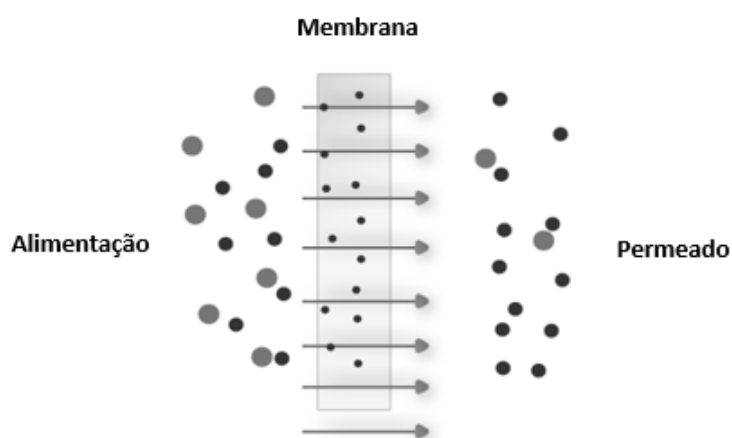
A técnica utilizada atualmente para proporcionar uma estabilidade microbiológica e evitar o crescimento desses microrganismos contaminantes e deteriorantes é a pasteurização. Entretanto, existem componentes termossensíveis, que quando expostos à temperaturas mais elevadas podem alterar aroma, cor e sabor do produto final.

Uma alternativa que vem sendo estudada e amplamente utilizada em diversos setores industriais é a microfiltração, principalmente nas indústrias de bebidas como sucos, vinhos, cervejas e laticínios, devido a sua capacidade de reter sólidos suspensos, enzimas responsáveis pelo escurecimento da bebida e bactérias deteriorantes, obtendo um produto final altamente clarificado e estabilizado (KASTER, 2009).

3.5 Processo de Separação por Membranas

O Processo de Separação por Membranas (PSM) consiste em separar dois componentes através de uma barreira seletiva com atuação de uma força motriz, restringindo, total ou parcialmente, componentes químicos e microbiológicos, como pode ser visualizado na Figura 1. Além disso, o processo ocorre à temperatura ambiente, o que preserva as propriedades sensoriais do produto, e envolve baixo custo energético no processamento (KASTER, 2009).

Figura 1 – Esquema do Processo de Separação por Membranas (PSM)



Fonte: A autora.

Entre os PSMs mais comuns estão a microfiltração, a ultrafiltração, a nanofiltração e a osmose inversa, no qual se diferem de acordo com a intensidade da pressão aplicada, o tamanho dos poros da membrana e pelo mecanismo de transporte (SANTIN, 2004), como mostra na Tabela 1.

Tabela 1 - Tipos de Processos de Separação por Membranas

Processo	Tamanho dos poros	Força motriz (ΔP)
Microfiltração (MF)	5 a 0,05 μm	0,5 a 2 atm
Ultrafiltração (UF)	50 a 3 nm	1 a 7 atm
Nanofiltração (NF)	5 a 10 $\text{\AA}$	5 a 25 atm
Osmose inversa (OI)	Membranas densas	15 a 80 atm

Fonte: Habert; Borges; Nobrega (2006).

As membranas empregadas nesse processo podem ser de materiais orgânicos (poliméricos) ou inorgânicos (não poliméricos). Geralmente as membranas sintéticas comerciais são feitas de materiais poliméricos, sendo os mais utilizados acetato de celulose, polisulfona, polietersulfona, polifluoreto de vinilideno, poliacrilonitrila, polieteramida e policarbonato (KASTER, 2009). Elas podem ser classificadas quanto a sua natureza, biológicas ou sintéticas, e morfologia, isotrópicas ou anisotrópicas.

Essas membranas são produzida em módulos, sendo que os principais formatos são espiral, placa e quadro, tubular e fibra oca. O módulo contém três canais, um para alimentação e dois para a remoção do produto. Na remoção, a fração que atravessa a membrana é denominada permeada ou microfiltrada e a fração que não atravessa é denominada retida ou concentrada (KASTER, 2009).

Durante a filtração, o fluxo pode ser escoado paralelamente à membrana, chamado de tangencial, ou pode ser pressionado contra a membrana, chamado de convencional. O fluxo convencional geralmente se acumula na superfície da membrana reduzindo o desempenho de filtração, enquanto no tangencial, ocorre o arraste das moléculas que não ultrapassam a barreira, sendo mais vantajoso (KASTER, 2009).

Baseado nisto, o PSM vem sendo muito estudado e empregado como um processo alternativo às técnicas convencionais utilizadas nas indústrias de bebidas, como sucos, vinhos, cervejas e laticínios. Uma vez que é capaz de promover a estabilidade microbiológica e clarificação sem grandes alterações no produto final. Ao contrário da pasteurização que envolve o aumento de temperatura, acarretando em alteração do aroma, cor e sabor, devido à alguns componentes responsáveis por esses atributos serem termossensíveis.

Oliveira et al. (2012) realizou a filtração do suco de maracujá em módulo tubular e em membrana de fibra oca. Notou-se que o teor de sólidos solúveis, a cor, absorvância e propriedades de turvação teve uma redução significativa, em relação à polpa de alimentação e

o permeado obtido. No estudo de Pagliero; Ochoa; Marchese (2011), a microfiltração aplicada ao suco de laranja promoveu uma remoção completa dos sólidos totais, enquanto que as outras propriedades físico-químicas analisadas não apresentaram diferenças significativas entre o suco de alimentação e o suco microfiltrado.

Lira et al. (2009) microfiltraram o soro de leite de búfala como alternativa ao processo de pasteurização. Os resultados obtidos pelos autores indicaram uma redução da carga microbiana média de 4,04 log UFC/mL, mostrando-se mais eficiente que o processo de pasteurização lenta.

Embora seja um processo pouco empregado no processo de produção da cerveja, a microfiltração pode acoplar duas operações do processo convencional, promovendo a clarificação e estabilidade microbiológica da bebida em uma única etapa, otimizando o processo, como pode ser visto na Figura 2.

Figura 2 - Fluxograma da produção de cerveja pasteurizada e microfiltrada



Fonte: A autora.

Como pode ser visto no estudo de Neta; Habert; Borges (2005), a microfiltração da cerveja maturada promoveu uma acentuada redução da carga microbiológica. Apenas uma quantidade ínfima de microrganismos foi detectada na bebida microfiltrada, além de clarificar em 25%. Gan et al. (2001) e Cimini; Francesco; Perretti (2017) utilizaram o emprego da

microfiltração no processo de produção da cerveja e constataram que houve a clarificação da bebida, sendo, portanto, um processo válido para as cervejarias.

3.6 Parâmetros de controle

O conjunto de variáveis que influenciam na permeação resulta na redução da eficiência do módulo pela deposição de sólidos próximo aos poros, diminuindo assim o tempo de vida útil da membrana. Por isso é fundamental o conhecimento dos parâmetros de uma filtração, tornando o processo mais viável.

A variável mais importante em questão é o fluxo permeado, quantidade de solução permeada por unidade de área e tempo, no qual indicará o desempenho do processo da membrana (KASTER, 2009). O fluxo permeado pode ser calculado pela seguinte equação:

$$J = \frac{V}{t \cdot A_p} \quad (1)$$

onde: J = fluxo permeado (L/h.m²); V = volume permeado (L); t = tempo (h); A_p = área de permeação da membrana (m²).

A polarização de concentração é o nome que se dá à colmatagem dos poros, no qual os sólidos rejeitados pela filtração formam um gradiente de concentração. Esses sólidos rejeitados podem formar uma camada de gel sobre a membrana, sendo chamado de *fouling* (KASTER, 2009).

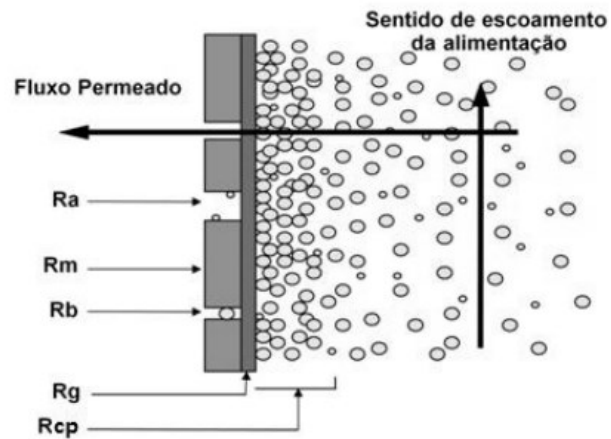
Os efeitos dessa polarização de concentração e da camada de gel podem ser controlados por condições operacionais, como temperatura, velocidade tangencial e concentração da alimentação, que visam também a viabilidade econômica, buscando uma alta taxa de permeação e baixo consumo de energia. Em temperaturas mais altas, por exemplo, o fluxo permeado é maior, devido a relação da viscosidade e densidade dos fluidos, gerando uma redução do depósito de partículas sobre os poros (KASTER, 2009).

Outro fator que interfere no PSM é a pressão transmembrana, no qual um alto gradiente de pressão eleva o fluxo permeado reduzindo o depósito de partículas sobre os poros. Porém, em soluções com muitas partículas formadoras de colmatagem, o aumento da pressão irá compacta-las e diminuirá o fluxo (KASTER, 2009).

No entanto, além da polarização de concentração e do *fouling*, a resistência total também interfere no fluxo permeado (J), sendo calculada pela soma de resistência intrínseca da membrana (R_m), resistência devido à adsorção (R_a), resistência devido ao bloqueio de poro (R_b),

resistência devido a formação de camada de gel (R_g) e resistência devido à polarização de concentração (R_{cp}) (SILVA, 2015). Na Figura 3 estão apresentadas as resistências que podem estar presentes em um Processo de Separação por Membranas.

Figura 3 - Resistência da membrana



Fonte: Habert; Borges; Nobrega (2006).

4 METODOLOGIA

A metodologia do trabalho consistiu na obtenção da matéria-prima, testes de microfiltração, estudo dos parâmetros de controle (vazão e temperatura) e a caracterização do produto obtido por análises físico-químicas e microbiológicas.

4.1 Cerveja

Para o desenvolvimento do trabalho, foi utilizada como matéria-prima a cerveja artesanal Saison (ou Farmhouse Ale), doada pela Namtrah Cerveja Artesanal, localizada na cidade de Patos de Minas – MG. A cerveja possui adição de tangerina, equilibrando o doce do malte, o amargor do lúpulo e a acidez da fruta, e apresentava um teor alcoólico de 6,2%.

A bebida foi obtida já envasada em garrafas de vidro devidamente sanitizadas, porém antes de ser submetida ao processo de pasteurização. As amostras foram armazenadas em condições adequadas, de 5 a 10°C, para evitar o crescimento de microrganismos deteriorantes desse produto. Também foram retiradas amostras, do mesmo lote, da cerveja pasteurizada, a fim de comparar os resultados das análises físico-químicas e microbiológicas.

4.2 Planejamento experimental

O planejamento experimental foi condicionado a um lote de produção e foi avaliado a influência de duas variáveis durante a microfiltração, temperatura e vazão, como mostra a Tabela 2. O planejamento possibilitou a combinação das variáveis independentes e permitiu a avaliação dos efeitos de uma ou mais variáveis. Os experimentos contiveram 3 repetições em pontos intermediários das variáveis, a fim de verificar sua reprodutibilidade.

Tabela 2 - Planejamento experimental

Microfiltração	Vazão (mL/min)	Temperatura (°C)
MF1	10	5
MF2	10	10
MF3	30	5
MF4	30	10
MF5	20	7
MF6	20	7
MF7	20	7

Os experimentos receberam a codificação MF_i, em que MF significa microfiltração e o subscrito i refere-se ao número da microfiltração, conforme apresentado na Tabela 3.

Tabela 3 – Codificação das microfiltrações

MF1	Microfiltração 1
MF2	Microfiltração 2
MF3	Microfiltração 3
MF4	Microfiltração 4
MF5	Microfiltração 5
MF6	Microfiltração 6
MF7	Microfiltração 7
MF8	Microfiltração 8

Cada microfiltração gera uma amostra permeada e uma amostra retida, assim receberam a codificação P_i e R_i, em que P e R significam permeado e retido, respectivamente, e o subscrito i indica o número da microfiltração realizada que gerou a amostra, conforme apresentado na Tabela 4. A cerveja pasteurizada e a cerveja que não foi submetida à pasteurização e microfiltração também foram codificadas conforme apresentado na Tabela 4.

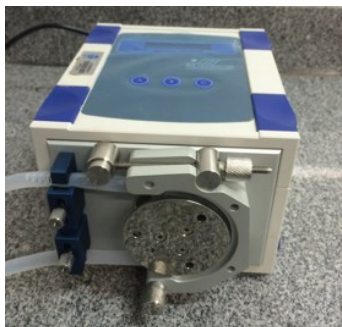
Tabela 4 – Codificação das amostras

PA	Pasteurizada
S	Sem pasteurização e sem microfiltração
P1	Permeada da MF1
P2	Permeada da MF2
P3	Permeada da MF3
P4	Permeada da MF4
P5	Permeada da MF5
P6	Permeada da MF6
P7	Permeada da MF7
R1	Retida da MF1
R2	Retida da MF2
R3	Retida da MF3
R4	Retida da MF4
R5	Retida da MF5
R6	Retida da MF6
R7	Retida da MF7

4.3 Microfiltração

O processo de microfiltração foi realizado em escala piloto no Laboratório de Engenharia de Alimentos da Universidade Federal de Uberlândia (UFU), *campus* Patos de Minas. O sistema foi integrado por uma Bomba Dosadora DMC 100-1, mangueiras de silicone adquiridas no comércio de Patos de Minas (MG) e um módulo de membrana plana, desenvolvido e doado pela Faculdade de Engenharia Química da Universidade Federal de Uberlândia, apresentados na Figura 4 e Figura 5, respectivamente.

Figura 4 - Bomba Dosadora DMC 100-1



Fonte: A autora.

Figura 5 - Módulo de membrana plana



Fonte: A autora.

Neste sistema, foram realizados testes com água destilada a fim de verificar possíveis erros experimentais associados e promover a hidratação da membrana. A membrana utilizada no experimento foi doada pela Faculdade de Engenharia Química, da Universidade Federal de Uberlândia. A mesma é de Polietersulfona (PES), com porosidade $0,05 \mu\text{m}$ e área filtrante de $0,00605 \text{ m}^2$. Leva-se em consideração, ainda, que o sistema é de um único passe.

A microfiltração aconteceu com aproximadamente 500 mL de cerveja em cada experimento realizado, de acordo com o planejamento e delineamento experimental. Foram registrados o tempo percorrido a cada 25 mL da bebida permeada, para a realização do cálculo dos fluxos. O fluxo de permeado (J) foi determinado em função do tempo pela equação abaixo:

$$J = \frac{V}{t \cdot A} \quad (2)$$

Onde: V é o volume coletado em um determinado tempo (litros), t é o tempo no qual a amostra foi coletada (hora) e A é a área de filtração da membrana (m^2). Assim, foi construída a curva do fluxo permeado.

Ao final do processo as amostras foram coletadas em frascos autoclavados, a fim de evitar qualquer tipo de contaminação, para realização das análises. Em seguida, as amostras

foram armazenadas em torno de 5°C para retardar o desenvolvimento de microrganismos deteriorantes da cerveja.

4.4 Limpeza da membrana

A fim de preservar a membrana e recuperar sua permeabilidade, após cada ensaio realizou-se a limpeza da mesma, na qual consistiu em três etapas: circulação contrária de água deionizada, circulação contrária de solução de NaOH à 1% m/v e novamente circulação contrária de água deionizada, conforme realizada por Kaster (2009).

4.5 Análises microbiológicas

Foram realizadas análises microbiológicas para os principais microrganismos deteriorantes da cerveja, a fim de verificar a eficácia da microfiltração aplicada ao seu processo de produção em substituição à pasteurização. O meio de cultura utilizado nas análises foi o caldo NBB[®]-A, doado pela DÖHLER[®] - Natural Food & Beverage Ingredients.

O NBB[®]-A é um meio, já preparado e estéril, específico para a determinação das principais bactérias deteriorantes em cervejas, especialmente *Lactobacilli*, *Pediococci*, *Pectinatus* e *Megasphaera*. É um método qualitativo, indicando somente presença/ausência de microrganismos deteriorantes, no qual o crescimento é facilmente visualizado através da mudança de cor do meio, alterando de vermelho para amarelo. A técnica utilizada foi a de isolamento e cultivo e a incubação ocorreu a 27°C por 7 dias (RODOLFO, 2015).

4.6 Análises físico-químicas

A aparência visual do produto é um dos parâmetros de qualidade mais importantes, sendo um dos critérios utilizados para a aceitação de um alimento. É uma característica que permite detectar alterações no produto, causados por processamento ineficiente, armazenamento inadequado ou indicando deterioração do mesmo, auxiliando no controle de qualidade.

Sendo assim, as cervejas, tanto pasteurizada quanto a que foi sujeita ao processo de microfiltração, foram submetidas às análises de cor, turbidez, pH, densidade, sólidos solúveis, acidez total, extrato seco total e teor alcoólico, e os resultados foram comparadas entre si.

A fim de verificar se houve diferenças significativas nos resultados das análises físico-químicas e se houve influência de algum dos parâmetros controlados (temperatura e vazão), as amostras permeadas (Pi) foram analisadas estatisticamente à 5% de significância, pelo *software* STATISTICA 7.0.

4.6.1 Colorimetria

Para verificar a intensidade da cor de cada amostra, utilizou-se o colorímetro portátil digital Konica Minolta CR-400, onde, através da luminosidade (L^*) obtida, verifica-se o potencial de clarificação. Os maiores valores de L^* indicam uma amostra mais clarificada.

A cor é relatada por três parâmetros diferentes: L^* , a^* e b^* . O parâmetro L^* varia de 0 a 100, onde zero representa a coloração preta e 100 a cor branca. A variável a^* indica variação entre a coloração vermelha ($+a^*$) e verde ($-a^*$), enquanto b^* qualifica colorações do amarelo ($+b^*$) ao azul ($-b^*$) (KONICA MINOLTA, 2017).

4.6.2 Turbidez

A turbidez é causada pela presença de materiais em suspensão, de origem orgânica ou inorgânica, cuja presença interfere na passagem de luz, reduzindo a transparência da bebida. Assim, pode ser um indicador de contaminantes, como colônias de microrganismos. A determinação de turbidez foi realizada em turbidímetro digital de bancada e o resultado expresso no próprio equipamento em unidades NTU. Esta análise foi realizada no Laboratório de Bioprocessos da Faculdade de Engenharia Química da Universidade Federal de Uberlândia.

4.6.3 Determinação do pH

A determinação do pH foi feita em pHmetro mPA-210 Digital. O equipamento foi calibrado com as soluções padrão de pH 4,0 e 7,0. Posteriormente as amostras foram transferidas em béquero de 50 mL para as análises de imersão direta. O eletrodo foi lavado entre as medidas a fim de eliminar qualquer interferência entre as amostras.

4.6.4 Densidade

A densidade baseia-se na relação existente entre o peso específico da amostra à 20°C em relação ao peso específico da água à 20°C. Para análise da densidade foi utilizado um picnômetro de 25 mL, previamente lavado, enxaguado com álcool etílico e pesado. Em seguida, pesou-se o picnômetro com água destilada e com a amostra, de forma que o líquido completou todo o picnômetro (BRASIL, 1986). Calculou-se a densidade da bebida através da seguinte equação:

$$D = \frac{P_{am} + P_c}{P_{H_2O} + P_c} \quad (3)$$

em que: D = densidade relativa a 20°C; P_{am} = massa do volume de amostra deslocado pelo corpo de submersão, em gramas; P_{H₂O} = massa do volume de água deslocado pelo corpo de submersão, em gramas e P_c = massa do corpo de submersão em gramas.

4.6.5 Sólidos solúveis

O teor de sólidos solúveis contidos em uma amostra indica a presença de sólidos dissolvidos na água, como o açúcar, sais e proteínas. Para sua determinação foi utilizado um refratômetro digital de bancada e o resultado expresso no próprio equipamento em °Brix.

4.6.6 Acidez total

A acidez representa o teor de ácidos orgânicos presentes em uma amostra, os quais influenciam no sabor, cor e odor. Para a sua determinação pipetou-se 10 mL de amostra de cerveja descarbonatada em um erlenmeyer de 250 mL contendo 100 mL de água. Em seguida, foi adicionado 0,5 mL de fenolftaleína 1% (3 a 5 gotas) e titulou-se com hidróxido de sódio padronizado 0,1 N para neutralização dos ácidos com a solução alcali, até atingir a coloração rósea persistente com pH 8,2-8,4 (BRASIL, 1986). Assim, a acidez pode ser expressa em meq/L pela equação:

$$A_t = \frac{1000 \cdot n \cdot N}{V} \quad (4)$$

em que: At = acidez total em meq/L; n = volume da solução de hidróxido de sódio gasto na titulação, em mL; N = normalidade da solução de hidróxido de sódio e V = volume da amostra em mL.

4.6.7 Extrato seco total

O extrato seco total representa o teor de matéria seca do alimento, no qual é obtido através da pesagem do resíduo após evaporação. Sendo assim, para sua determinação, os cadinhos de porcelana foram aquecidos em estufa à 105°C por uma hora, em seguida resfriados em dessecador e pesados.

Para cada análise foram transferidos 20 mL de amostra de cerveja para os cadinhos e levando-os em banho-maria para evaporação, até o resíduo estar aparentemente seco. Posteriormente, o resíduo foi levado para estufa a 105°C por uma hora, resfriado em dessecador e pesado. Repetiu-se esta operação até obter-se um peso constante da amostra (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 2008).

O extrato seco é calculado pela equação:

$$Es (\%) = \frac{N*100}{V} \quad (5)$$

em que: Es = extrato seco total em porcentagem; N = massa de resíduo seco em gramas e V = volume da amostra em mL.

4.6.8 Concentração de etanol

A cromatografia líquida de alta eficiência – CLAE (ou *High Performance Liquid Chromatography* - HPLC) é um método de separação de compostos químicos de uma solução e é distribuído em duas fases, uma móvel e outra estacionária. O método consiste no uso de elevadas pressões forçando a passagem do solvente através de colunas fechadas, nas quais contém partículas muito finas capazes de promover uma eficiente separação (HARRIS, 2007).

Neste trabalho, o HPLC foi utilizado para verificar se houve retenção de álcool pela membrana. Sendo assim, determinou-se o teor alcoólico da cerveja de alimentação (S) e de uma das amostras microfiltradas (P1).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A eficiência do processo de microfiltração na clarificação e em substituição à pasteurização da cerveja foi avaliada através do fluxo de permeado, em condições estabelecidas, rendimento do permeado recuperado, coloração da bebida obtida e análises microbiológicas qualitativas. Também foi analisado se houve diferenças significativas nos valores de pH, acidez total, densidade, teor de sólidos solúveis, extrato seco e teor alcoólico na bebida.

5.1 Microfiltração

A cerveja foi microfiltrada no módulo de membrana plana e os fluxos permeados dos sete experimentos realizados, conforme o planejamento experimental, foram analisados em função do tempo de recolhimento para cada 25 mL. Os fluxos permeados estão apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 - Fluxo da cerveja permeada e rendimento (R%) das microfiltrações

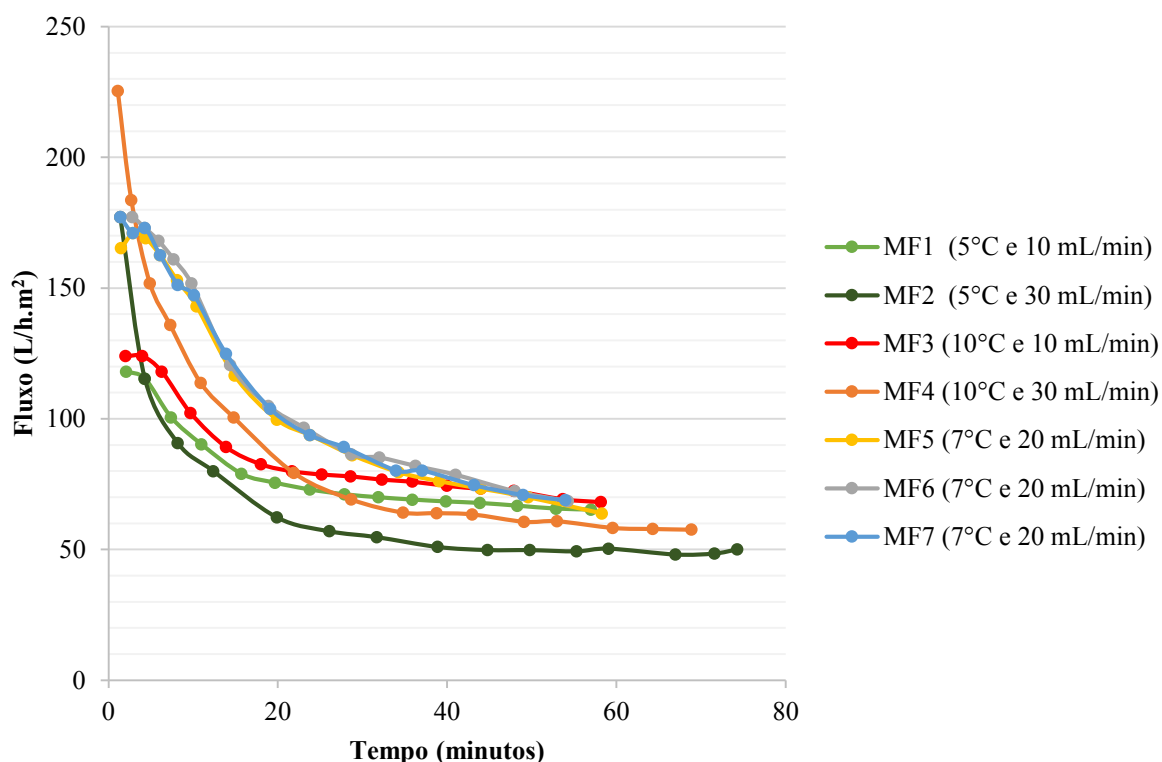
V (ML)	MF1		MF2		MF3		MF4		MF5		MF6		MF7	
	5°C e 10 mL/min		5°C e 30 mL/min		10°C e 10 mL/min		10°C e 30 mL/min		7°C e 20 mL/min		7°C e 20 mL/min		7°C e 20 mL/min	
	Tempo (min)	Fluxo (L/h.m ²)	Tempo (min)	Fluxo (L/h.m ²)	Tempo (min)	Fluxo (L/h.m ²)	Tempo (min)	Fluxo (L/h.m ²)	Tempo (min)	Fluxo (L/h.m ²)	Tempo (min)	Fluxo (L/h.m ²)	Tempo (min)	Fluxo (L/h.m ²)
25	2,10	118,06	1,40	177,10	2,00	123,97	1,10	225,39	1,50	165,29	1,40	177,10	1,40	177,10
50	4,30	115,32	4,30	115,32	4,00	123,97	2,70	183,65	2,90	170,99	2,80	177,10	2,90	170,99
75	7,40	100,51	8,20	90,71	6,30	118,06	4,90	151,80	4,40	169,05	4,30	172,98	4,30	172,98
100	11,00	90,16	12,40	79,98	9,70	102,24	7,30	135,85	6,10	162,58	5,90	168,09	6,10	162,58
125	15,70	78,96	19,90	62,29	13,90	89,18	10,90	113,73	8,10	153,05	7,70	161,00	8,20	151,18
150	19,70	75,51	26,10	57,00	18,00	82,64	14,80	100,51	10,40	143,04	9,80	151,80	10,10	147,29
175	23,80	72,92	31,70	54,75	21,70	79,98	21,90	79,25	14,90	116,48	14,40	120,52	13,90	124,86
200	27,90	71,09	38,90	50,99	25,20	78,71	28,70	69,11	19,90	99,67	18,90	104,95	19,10	103,85
225	31,90	69,95	44,80	49,81	28,60	78,02	34,80	64,12	23,80	93,76	23,10	96,60	23,80	93,76
250	35,90	69,06	49,80	49,79	32,30	76,76	38,80	63,90	28,80	86,09	28,70	86,39	27,80	89,18
275	39,90	68,35	55,30	49,32	35,90	75,97	43,00	63,42	34,30	79,51	32,00	85,23	34,00	80,21
300	43,90	67,77	59,10	50,34	40,00	74,38	49,10	60,59	39,10	76,09	36,30	81,96	37,10	80,19
325	48,30	66,73	67,00	48,11	44,00	73,25	53,00	60,81	44,00	73,25	41,00	78,61	43,20	74,61
350	52,90	65,62	71,60	48,48	47,90	72,47	59,60	58,24	49,60	69,98	48,00	72,31	49,00	70,84
375	57,00	65,25	74,30	50,05	53,70	69,26	64,30	57,84	58,30	63,79	54,30	68,49	54,00	68,87
400	-	-	-	-	58,20	68,16	68,9	57,58	-	-	-	-	-	-
R%	75%		75%		80%		80%		75%		75%		75%	

* As MF1, MF2, MF5, MF6 e MF7 não puderam ter seus volumes recolhidos até 400 mL, devido ao término da cerveja na alimentação do módulo.

O rendimento da microfiltração foi calculado com base no volume de alimentação dos sistema e no volume de cerveja permeada recuperada. Observou-se que não houve diferença entre as condições empregadas, apresentando 75%, exceto a MF3 e MF4 que apresentaram 80%.

A viabilidade econômica e a eficiência da microfiltração por membranas são avaliadas principalmente pela relação entre a retenção e permeação de compostos de interesse e pelos valores de fluxo permeado (HABERT; BORGES; NOBREGA, 2006). Portanto, as curvas de fluxo permeado para as condições operacionais utilizadas podem ser visualizadas no Gráfico 1.

Gráfico 1 - Fluxo permeado da cerveja em diferentes condições



Nos experimentos realizados, observou-se nitidamente a influência das diferentes vazões estudadas. As vazões 20 e 30 mL/min apresentaram um fluxo inicial maior que aqueles realizados a 10 mL/min, uma vez que a entrada da bebida a ser permeada ocorre em maior quantidade em relação ao tempo. No entanto, pode-se observar que as curvas seguem um comportamento de queda de fluxo em função do tempo de operação atingindo $63,17 \pm 6,99$ L/h.m².

De acordo com Alves (2006), a polarização de concentração acarreta a queda do fluxo, que deveria cessar quando alcançado o estado estacionário. Porém, observa-se um decréscimo contínuo do fluxo em relação ao tempo, indicando a formação de *fouling* ou incrustação. Este

fenômeno ocorre quando a deposição do soluto sobre a membrana vira um gel, sendo que os parâmetros que influenciam são as características da membrana, características da alimentação e as condições hidrodinâmicas do sistema.

Neta; Habert; Borges (2005) avaliaram o processo e qualidade da cerveja microfiltrada. Os autores observaram uma redução do fluxo permeado nos primeiros minutos de filtração, indicando os efeitos de polarização de concentração. A redução contínua do fluxo permeado indicou a presença de incrustações, corroborando com o presente trabalho.

Paraense; Auler; Figueiredo (2017) constataram a queda do fluxo permeado em 48,6% na microfiltração do suco de melancia, reduzindo de 61 L/h.m² para 21,5 L/h.m² em 42 minutos, atribuindo essa queda à resistência da membrana, resistência causada pelos efeitos de polarização de concentração, formação de torta e incrustação, o que está de acordo com os resultados obtidos neste estudo.

Ficou evidenciado que as microfiltrações operadas em maiores vazões apresentaram um decaimento do fluxo mais repentino. Além disso, as microfiltrações 2 e 4 revelaram maior fluxo, porém, ao decorrer da operação, atingiram um fluxo abaixo dos outros experimentos, ao contrário das microfiltrações realizadas em vazões menores, cuja estabilidade do fluxo permeado é mais alta. Certamente, isso pode ser justificado pela maior pressão transmembrana ocasionada pelas maiores vazões, fazendo com que produza maior compactação da torta formada, sendo a velocidade tangencial incapaz de remover a torta compactada por força de cisalhamento. Habert; Borges; Nobrega (2006) justificam este decaimento pelo fenômeno de polarização da concentração.

Os experimentos de microfiltração realizados mostraram um comportamento compatível com os reportados na literatura. Silva; Rocha; Teran (2011) avaliaram diferentes frequências (Hz) aplicadas ao processo de microfiltração, como processo de tratamento para efluente industrial em abatedouro de bovinos. Neste estudo, os autores verificaram uma queda de fluxo permeado com o aumento da vazão de alimentação. Os mesmos justificaram essa queda de fluxo pelo aumento da pressão transmembrana, causando maior compactação da torta, como no presente trabalho.

Outro parâmetro analisado neste trabalho foi o efeito da temperatura da cerveja durante o processo de microfiltração, onde as vazões de 10 e 30 mL/min foram mantidas fixas e variou-se a temperatura. Para melhor visualização, as curvas de fluxo permeado foram plotadas separadamente para cada vazão operada, representadas no Gráfico 2 e Gráfico 3.

Gráfico 2 - Fluxo permeado das microfiltrações operadas a 10 mL/min

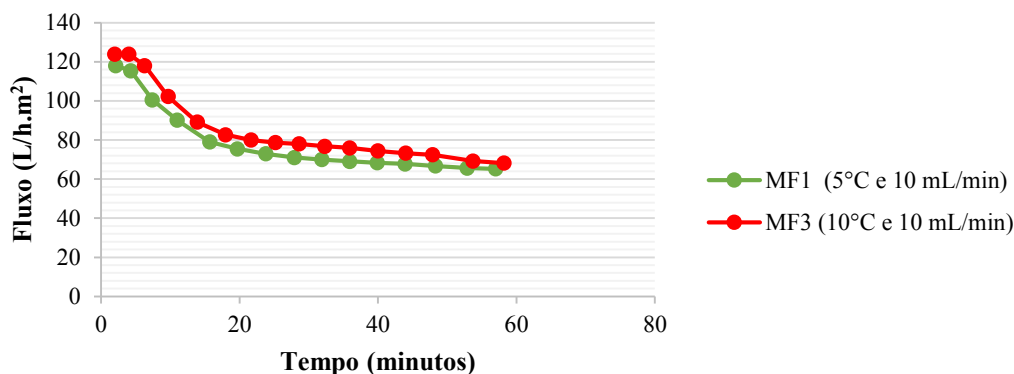
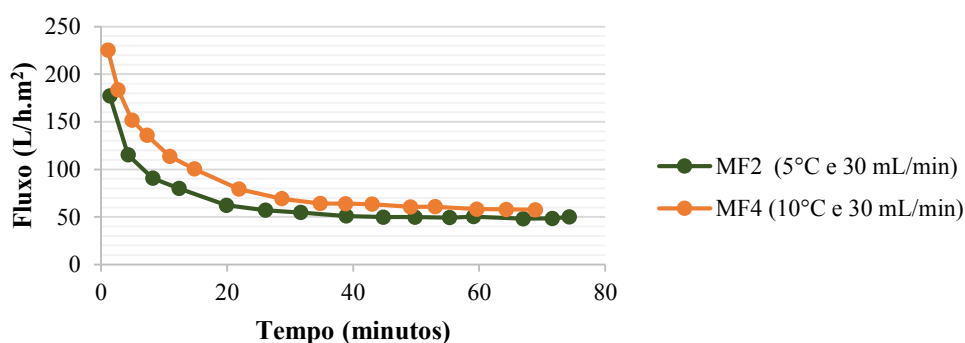


Gráfico 3 -Fluxo permeado das microfiltrações operadas a 30 mL/min



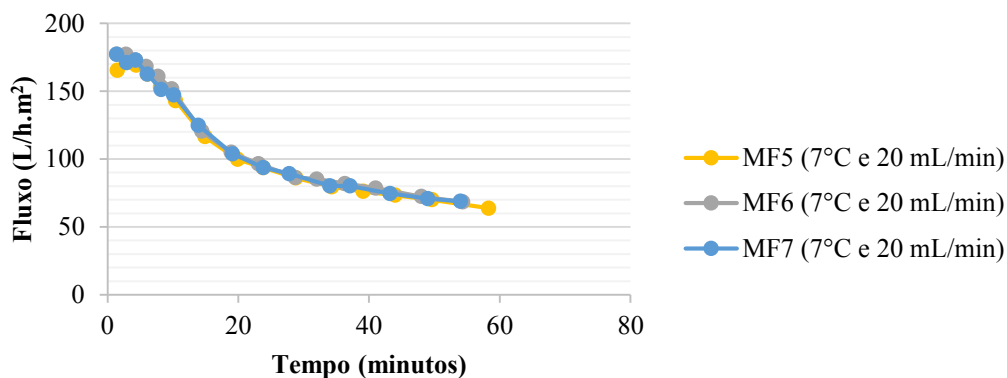
Verificou-se que em operações com temperaturas mais altas o fluxo é maior. Na vazão de 10 mL/min o fluxo foi de aproximadamente 2,91 L/h.m² maior a 10°C que a 5°C, enquanto que na vazão de 30 mL/min o fluxo foi de aproximadamente 6,58 L/h.m² maior na temperatura mais alta. Embora a diferença seja pequena, o aumento do fluxo permeado pode ser justificado pela menor viscosidade dos fluidos quando em temperaturas mais altas, facilitando o escoamento (KASTER, 2009).

Amaral et al. (2013) avaliaram o emprego da microfiltração de polpa celulósica em diferentes temperaturas. Os autores observaram que em temperaturas maiores o fluxo final apresentou um valor um pouco mais alto, que foi justificado pela redução na viscosidade do fluido. Porém a viscosidade apresenta menor influência que a resistência proporcionada pela formação da torta, resultando em uma diferença insignificante nos perfis de fluxo permeado, o que está em concordância com os resultados obtidos.

Analisando-se a condição 7°C e 20 mL/min, feita em triplicata, representado no Gráfico 4, permitiu-se observar uma pequena variação na curva do fluxo permeado, sendo possível constatar a reprodutibilidade do processo de microfiltração da cerveja. Além disso, pode-se verificar que, em operações realizadas com a mesma vazão, o valor do fluxo inicial se manteve

próximo, exceto para 30 mL/min. Essa diferença pode ser explicada por um vazamento do módulo de membrana no início da filtração, no qual cessou logo em seguida.

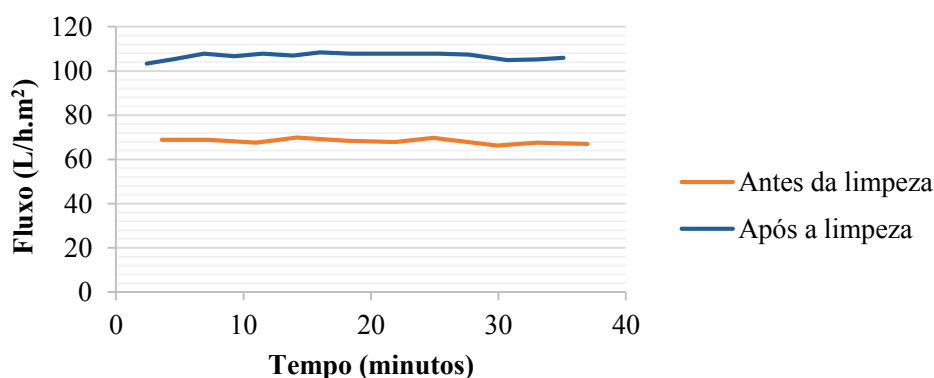
Gráfico 4 - Fluxo permeado das microfiltrações operadas a 20 mL/min



5.2 Limpeza da membrana

A limpeza do módulo é fundamental para manter a eficiência do processo de microfiltração, como a permeabilidade e seletividade da membrana. A fim de recuperar as suas propriedades, foi realizada a limpeza do módulo a cada experimento realizado. Em seguida, testou-se o fluxo com água destilada antes e após a limpeza. A condição de operação testada para verificar a eficiência da limpeza foi de 10 mL/min e temperatura ambiente. O resultado obtido é apresentado no Gráfico 5.

Gráfico 5 - Fluxo de permeado antes e após a limpeza da membrana



De acordo com o resultado, é evidente a recuperação da membrana de permeação, indicando que a redução do fluxo durante o processo é decorrente das incrustações formadas,

que são de caráter reversíveis. Assim, a membrana pode ser reutilizada, reduzindo o custo operacional.

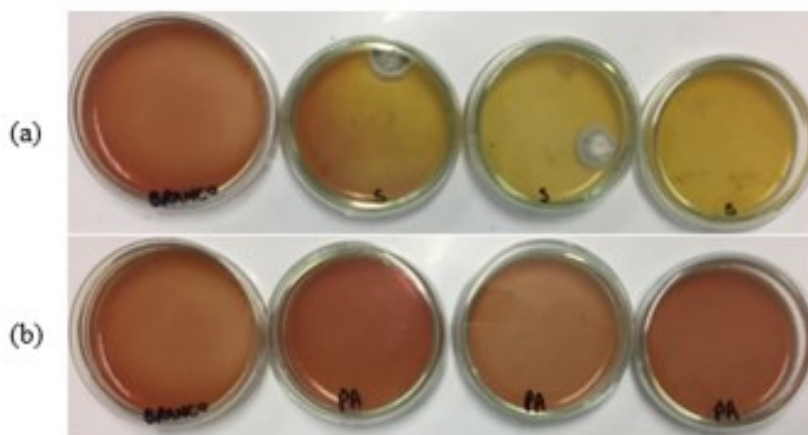
Entre as microfiltrações operadas a 7°C e 30 mL/min realizou-se a retrolavagem do módulo para cada teste. Verificou-se assim, pelos resultados experimentais, que os erros nas medições foram pouco significativos, mostrando mais uma vez, que o procedimento de limpeza foi eficiente, de acordo com o Gráfico 4.

Neta; Habert; Borges (2005) comprovaram que a limpeza da membrana de microfiltração com a utilização de solução de 3% de NaOH por 30 minutos e em seguida com água destilada, até atingir pH 7,0. Gan et al. (1999) também comprovaram uma recuperação máxima de 87% do fluxo inicial em membranas de 0,5 µm, através de diferentes procedimentos de limpeza com uma sequência de agentes químicos, como NaOH, HNO₃, H₂O₂ e Ultrasil 11.

5.3 Análises microbiológicas

A fim de avaliar a eficiência da microfiltração em substituição à pasteurização da cerveja, realizou-se as análises microbiológicas qualitativa com o Caldo NBB-A, doado pela empresa DÖHLER®. Os resultados obtidos, após 7 dias de incubação a 27°C, para essa análise podem ser visualizados nas figuras a seguir.

Figura 6 - Análises microbiológicas das amostras S (a) e PA (b)



Fonte: A autora.

De acordo com a Figura 6-(a), a amostra de cerveja S, que foi obtida antes de ser submetida a etapa de pasteurização e utilizada na alimentação da microfiltração, promoveu a alteração da cor do meio de cultura, passando de vermelho para amarelo. Assim, constatou-se

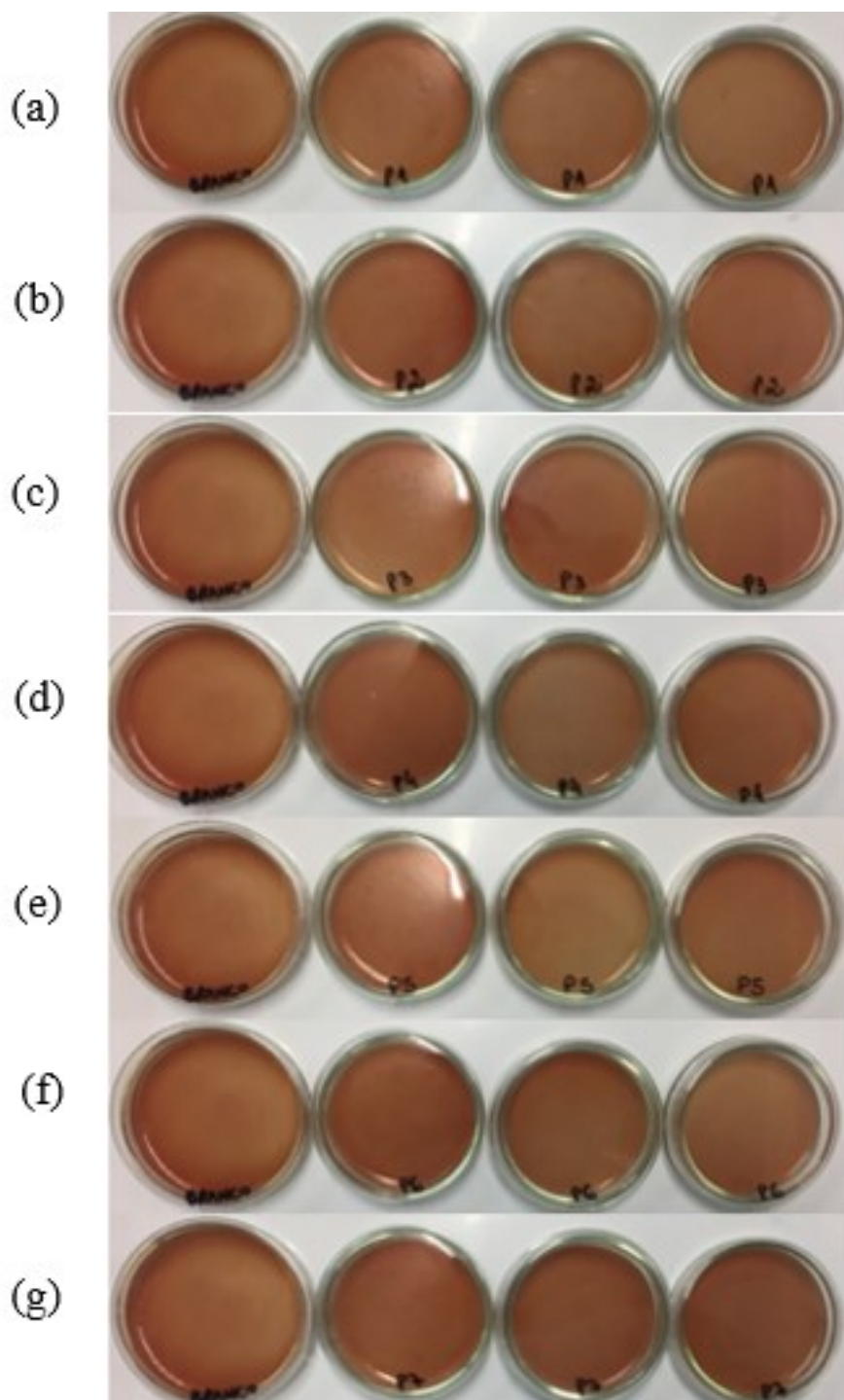
a presença de microrganismos deteriorantes da cerveja, sendo possivelmente *Lactobacilli*, *Pediococci*, *Pectinatus* e/ou *Megasphaera*, nos quais são os principais microrganismos detectados pelo caldo NBB-A utilizado na análise.

Além do mais, notou-se o crescimento de fungos em duas amostras da triplicata realizada para S. Porém, como o meio não é específico para o crescimento de fungos, não foi possível identificar a espécie que pode ter se proliferado durante a incubação, também não se sabe se o fungo observado é uma levedura utilizada na fermentação ou um deteriorante da bebida (levedura selvagem).

Na Figura 6-(b) pode-se observar que a cerveja PA não apresentou alteração na coloração do caldo NBB-A, tendo um aspecto semelhante ao ensaio branco, indicando a ausência de microrganismos deteriorantes da bebida presentes nessa amostra. Portanto, o processo de pasteurização aplicado à cerveja, na Namtrah Cerveja Artesanal, se mostrou eficiente, garantindo a esterilidade da bebida e atendendo a legislação, sendo assim apropriada para o consumo.

A Figura 7 apresenta as análises feitas para as amostras de permeado de todas as condições operacionais utilizadas.

Figura 7 - Análises microbiológicas das amostras P1 (a), P2 (b), P3 (c), P4 (d), P5 (e), P6 (f) e P7 (g)

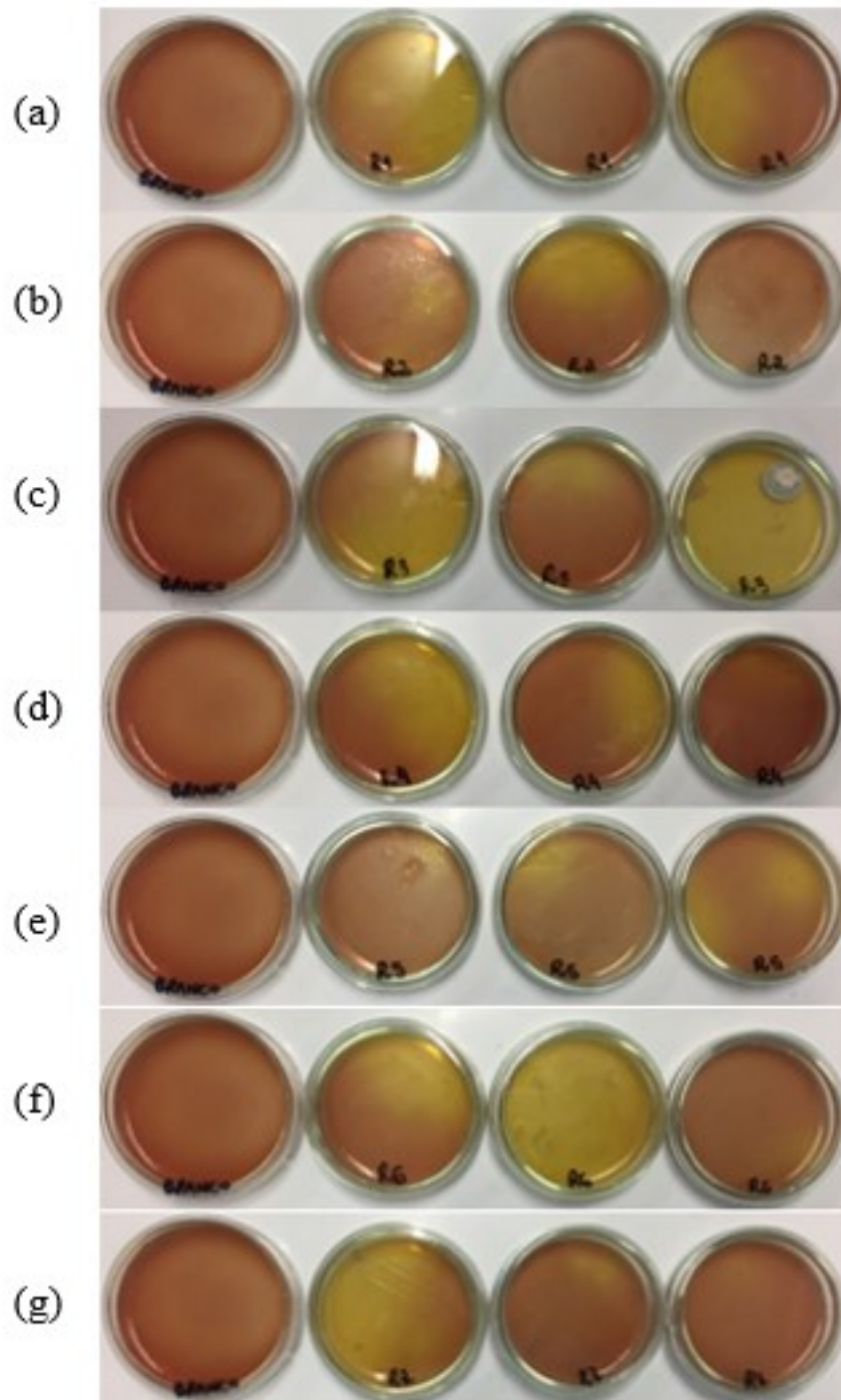


Fonte: A autora.

Como pode ser verificado nas imagens acima, nenhuma das amostras de cerveja microfiltrada apresentaram alteração na cor do meio de cultura utilizado, mantendo-se com a mesma cor do branco. Indicando, assim, a ausência dos principais microrganismos deteriorantes da bebida.

A Figura 8 apresenta as análises feitas para as amostras retidas de todas as condições operacionais utilizadas.

Figura 8 - Análises microbiológicas das amostras R1 (a), R2 (b), R3 (c), R4 (d), R5 (e), R6 (f) e R7 (g)



Fonte: A autora.

Observa-se que, em todas as condições, as amostras apresentaram a mudança de cor, alterando de vermelho para amarelo, o que evidencia a presença de microrganismos deteriorantes, sendo eles *Lactobacilli*, *Pediococci*, *Pectinatus* e/ou *Megasphaera*.

Sendo assim, pode-se afirmar que a membrana reteve esses microrganismos capazes de provocar degradação da cerveja, atribuindo essa eliminação à diferença de tamanho entre os microrganismos e o poro da membrana filtrante. O tamanho de fungos e leveduras podem variar de 10^3 a 10^4 nm (10 – 100 μ m) e as células bacterianas variam de 300 a 10^4 nm (0,3 - 100 μ m) (HABERT; BORGES; NOBREGA, 2006), enquanto que os poros da membrana filtrante utilizada no processo é 0,05 μ m, retraindo os microrganismos deteriorantes.

Portanto, a tecnologia de microfiltração mostrou-se eficiente para esterilização da bebida, podendo ser um processo a frio usado como uma alternativa à pasteurização, uma vez que garante a qualidade microbiológica.

Neta; Habert; Borges (2005) realizaram as análises microbiológicas da cerveja maturada microfiltrada, indicando uma acentuada redução da carga microbiológica presente na bebida. Sendo que, apenas uma quantidade ínfima de microrganismos foi detectada na cerveja microfiltrada.

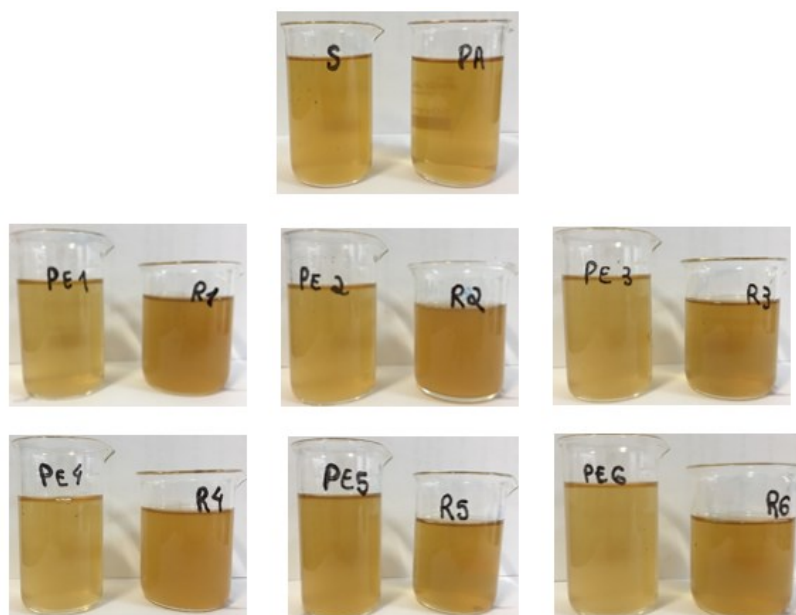
Oliveira; Docê; Barros (2012) demonstraram, através de análises microbiológicas, que a microfiltração do suco de maracujá é um processo eficiente, capaz de substituir a pasteurização, além de clarificar a bebida. Paula et al. (2017) estudaram a microfiltração do suco de maracujá que resultou em um produto límpido, isento de polpa e com qualidade microbiológica dentro dos limites exigidos para a segurança alimentar do consumidor.

5.4 Análises físico-químicas

5.4.1 Colorimetria

A cor da cerveja, além de ser um parâmetro indicador de qualidade para o consumidor, serve como um critério para avaliar a eficiência do processo de microfiltração, como uma medida alternativa para a clarificação da bebida e redução de turbidez da mesma. A coloração das amostras pasteurizada, sem nenhum dos processamentos, permeadas e retidas podem ser visualizadas na Figura 9.

Figura 9 - Coloração das amostras PA, S, permeadas e retidas



Fonte: A autora.

Mesmo que seja visualmente perceptível, o olho humano possui variações e não fornece a intensidade da cor em uma escala de dados. Portanto, realizou-se a colorimetria com o auxílio de instrumentos apropriados. Os resultados obtidos na colorimetria estão expressos na Tabela 6.

Tabela 6 - Colorimetria da cerveja

Amostra	L*	a*	b*
PA	52,46 ± 0,04	0,05 ± 0,02	22,35 ± 0,02
S	51,07 ± 0,01	0,05 ± 0,02	16,96 ± 0,02
P1	59,25 ± 0,01	-0,73 ± 0,02	17,01 ± 0,02
P2	57,69 ± 0,04	-0,44 ± 0,02	17,52 ± 0,02
P3	59,25 ± 0,04	-0,73 ± 0,03	17,01 ± 0,02
P4	57,68 ± 0,01	-0,31 ± 0,02	18,89 ± 0,01
P5	57,07 ± 0,01	-0,27 ± 0,02	21,96 ± 0,02
P6	57,87 ± 0,01	-0,73 ± 0,02	20,88 ± 0,01
P7	57,06 ± 0,02	0,07 ± 0,01	21,05 ± 0,01
R1	44,73 ± 0,01	0,89 ± 0,02	18,37 ± 0,01
R2	49,12 ± 0,01	0,65 ± 0,01	20,69 ± 0,00
R3	44,71 ± 0,02	0,57 ± 0,01	19,36 ± 0,02
R4	49,12 ± 0,01	0,03 ± 0,01	19,93 ± 0,00
R5	48,70 ± 0,01	-0,06 ± 0,01	16,06 ± 0,01
R6	48,39 ± 0,02	0,27 ± 0,02	15,46 ± 0,01
R7	45,06 ± 0,09	0,06 ± 0,01	15,67 ± 0,06

Baseado na Tabela 6, os valores de a^* , que indicam variação entre as cores vermelho (+) e verde (-), não apresentaram alterações consideráveis entre as amostras. Os maiores valores ficaram condicionados às amostras R1, R2 e R3 (0,89, 0,65 e 0,57 respectivamente) e os menores às amostras P1, P2 e P3 (-0,73, -0,44 e -0,73 respectivamente), evidenciando que as partículas que atribuíam uma cor mais vermelha ao produto ficaram retidas na membrana.

Os valores de b^* , variação entre amarelo (+) e azul (-), mostraram que a cerveja microfiltrada obteve uma coloração amarela levemente mais intensa, variando de 17,01 a 21,96, se aproximando mais do valor de b^* obtido para a cerveja pasteurizada. Enquanto as retidas variaram de 15,46 a 20,69 se aproximando mais da cerveja que não passou por nenhum dos processos.

Os valores de L^* obtidos podem ser visualizados no Gráfico 6 e Gráfico 7.

Gráfico 6 - Valores de L^* obtidos para as cervejas PA e S

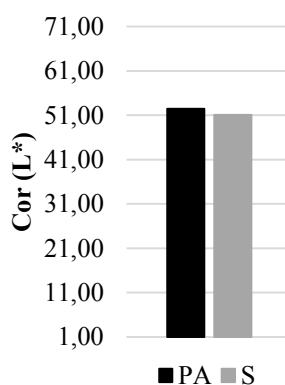
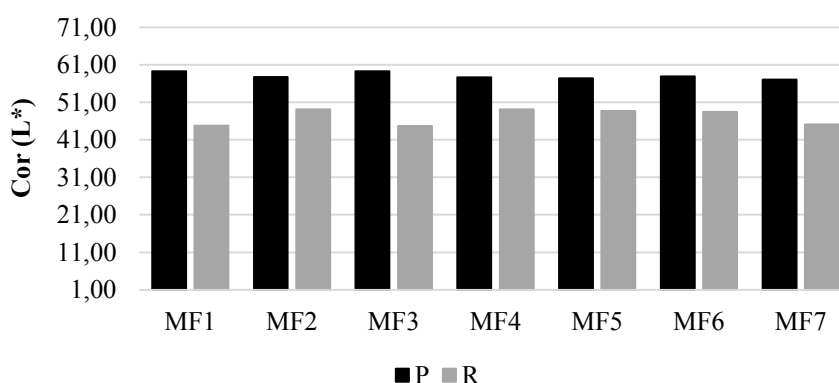


Gráfico 7 - Valores de L^* obtidos para as cervejas permeadas e retidas



A amostra S apresentou uma coloração próxima à cerveja pasteurizada. No entanto, de acordo com os resultados de L^* , foi possível observar que o processo de microfiltração promoveu clarificação do produto, uma vez que valores maiores representam maior

transparência. A condição de processo que promoveu maior clarificação foram MF1 e MF3, operadas à 10 mL/min, sendo ainda mais translúcida que a cerveja pasteurizada.

Além disso, o parâmetro L^* foi analisado estatisticamente e apresentou diferença entre as amostras permeadas a 5% de significância, sendo que essa diferença foi influenciada pela temperatura. Verificou-se que quanto mais baixa temperatura, maior foi a clarificação da bebida.

Portanto, a microfiltração aplicada à cerveja mostrou-se um processo eficiente para a clarificação, assim como os estudos realizados por Neta; Habert; Borges (2005), cujo processo de microfiltração clarificou em 25% a cerveja Pilsen, tornando-a mais limpa. No trabalho de Gan et al. (2001) ficou evidenciado que a cerveja clarificou com o processo de microfiltração, reduzindo de 14,8 para 9,5 EBC em um tempo de 24 horas. *European Brewery Convention* (EBC) é um tipo de escala aplicada a cor da cerveja. Quanto mais baixo o valor de EBC, mais clara será a bebida (BEER&BIER, 2013).

Cimini; Francesco; Perretti (2017) constataram que a cerveja produzida com 100% de malte, submetida à microfiltração de fluxo cruzado, resultou em uma bebida clarificada, sendo, portanto, um processo válido para as cervejarias. Oliveira et al (2012) realizaram a microfiltração de suco de maracujá em módulo tubular de aço inoxidável e em membrana de fibra oca de poliamida. Foi observado pelos autores que o módulo de fibra oca promoveu maior clarificação do suco.

5.4.2 Turbidez

A eficiência do processo também foi avaliada com base na turbidez das amostras, sendo um parâmetro indicador de qualidade. Uma vez que, a presença de microrganismos deteriorantes dessa bebida, aumentam o valor de sólidos suspensos e, consequentemente, promovem o aumento de turbidez. Os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 - Turbidez da cerveja

Amostra	Turbidez (NTU)
PA	7,5
S	29,5
P1	1,8
P2	2,4
P3	1,8
P4	2,1
P5	3
P6	3,2
P7	3
R1	122
R2	97
R3	129
R4	98
R5	112
R6	111
R7	119

As amostras microfiltradas apontaram valores de turbidez mais baixos que o restante, até mesmo que a PA. Já os valores de turbidez para as amostras retidas foram maiores, indicando, portanto, que a membrana promoveu a retenção de parte dos sólidos suspensos presentes na cerveja de alimentação. Entre as amostras microfiltradas, a condição operacional de 10 mL/min (P1 e P3) apresentou a maior redução na turbidez, de aproximadamente 94%. Os valores de turbidez podem ser visualizados no Gráfico 8 e Gráfico 9.

Gráfico 8 - Turbidez das cervejas PA e S

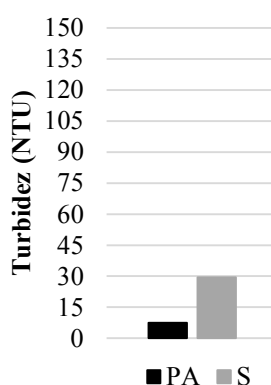
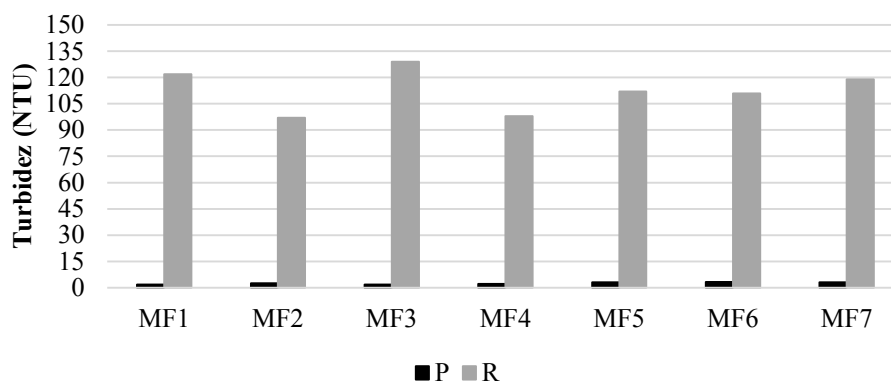


Gráfico 9 - Turbidez das cervejas permeadas e retidas



Analisou-se estatisticamente os valores obtidos para a turbidez e verificou-se que não houve diferença, com um nível de significância de 5%. Sendo assim, a variação dos parâmetros trabalhados durante a microfiltração não influenciaram na turbidez das amostras permeadas.

Neta; Habert; Borges (2005) avaliaram a turbidez da cerveja antes e após a microfiltração, e constataram que houve uma redução de 98% da turbidez na amostra microfiltrada, corroborando com o presente trabalho.

5.4.3 pH

Os valores de pH obtidos podem ser visualizados na Tabela 8.

Tabela 8 - pH da cerveja

Amostra	pH
PA	4,23
S	4,29
P1	4,51
P2	4,52
P3	4,50
P4	4,47
P5	4,49
P6	4,49
P7	4,48
R1	4,25
R2	4,24
R3	4,22
R4	4,25
R5	4,24
R6	4,25
R7	4,24

Nos testes de pH, verificou-se que a cerveja microfiltrada obtida possuiu um caráter menos ácido que o restante das amostras, variando entre 4,47 e 4,51. O pH da cerveja retida variou de 4,22 a 4,25, tendo o seu valor mais próximo da cerveja pasteurizada e de alimentação do processo de filtração. Esses resultados podem ser observados no Gráfico 10 e Gráfico 11.

Gráfico 10 - pH da cerveja PA e S

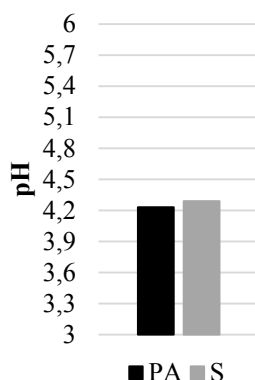
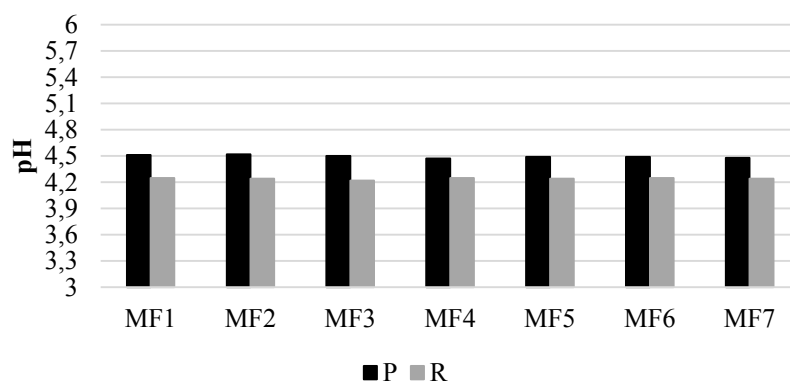


Gráfico 11 - pH das cervejas permeadas e retidas



A cerveja utilizada no trabalho possui adição de tangerina, uma fruta adocicada que contém alto teor de ácido cítrico, o que pode promover a redução do pH da cerveja. De acordo com os resultados, é possível que esse componente da fruta ficou retido na membrana, aumentando o pH da bebida permeada.

Analisou-se estatisticamente os valores de pH obtidos e verificou-se que não houve diferença, com um nível de significância de 5%. Sendo assim, a variação dos parâmetros trabalhados durante a microfiltração não influenciaram no pH das amostras permeadas.

5.4.4 Acidez total

A acidez total pode servir como um parâmetro que determina o quão ácido é a bebida. Representa os ácidos orgânicos capazes de ligarem-se a uma base de concentração conhecida. Os valores e acidez total determinados para as amostras estão na Tabela 9.

Tabela 9 - Acidez total da cerveja

Amostra	Acidez total (meq/L)
PA	48,67 ± 0,6
S	51,33 ± 0,6
P1	20,33 ± 1,0
P2	22,33 ± 0,6
P3	21,67 ± 0,6
P4	23,67 ± 0,6
P5	24,33 ± 0,6
P6	24,00 ± 0,0
P7	24,33 ± 0,6
R1	45,67 ± 1,0
R2	43,00 ± 1,0
R3	44,67 ± 0,6
R4	45,00 ± 0,0
R5	41,33 ± 0,6
R6	44,33 ± 0,6
R7	43,67 ± 0,6

A cerveja pasteurizada apresentou uma acidez média de 48,67 meq/L e a cerveja que não passou por nenhum dos processos apresentou acidez média de 51,33 meq/L. Pode-se verificar que a cerveja microfiltrada mostrou-se menos ácida, variando de 20,33 a 24,33 meq/L, quando comparadas com a cerveja de alimentação e a retida. Essa diferença pode ser observada no Gráfico 12 e Gráfico 13.

Gráfico 12 - Acidez total das cervejas PA e S

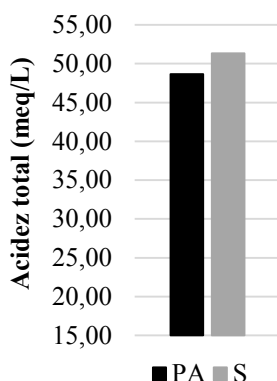
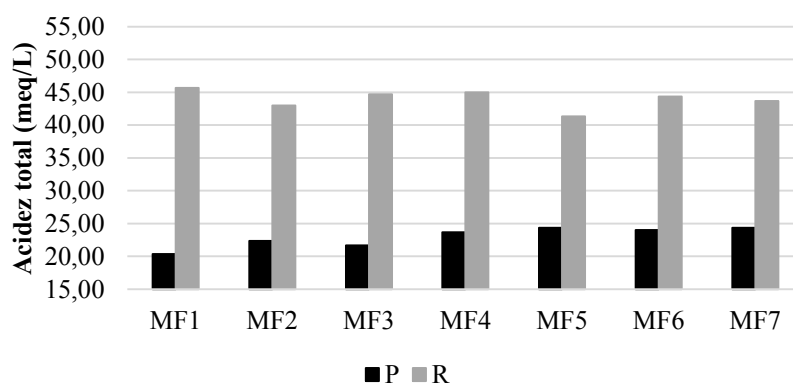


Gráfico 13 - Acidez total das cervejas permeadas e retidas



Nandi; Uppaluri; Purkait (2011) estudaram a microfiltração do suco de mosambi (limão doce) e observaram uma diferença significativa na acidez do suco fresco e permeado. O suco fresco apresentou 0,84 g de ácido cítrico/100 g de amostra, enquanto que o suco permeado foi obtido com um teor mais baixo de acidez, 0,80 g de ácido cítrico/100 g de amostra. No entanto, a redução de acidez no presente trabalho foi mais alta que a redução verificada no suco de mosambi. Isto indica que no processo estudado, além do ácido cítrico, outros componentes que atribuem acidez a cerveja ficaram retidos na membrana.

Desta forma, pode-se dizer que a redução da acidez indica a retenção de ácidos orgânicos pela membrana utilizada no processo, mostrando mais uma vez que o ácido cítrico da fruta pode ter sido retido. Fato este que pode interferir sensorialmente no produto final, uma vez que esses compostos são responsáveis por atribuir sabor e odor à bebida (CECCHI, 2003).

Além disso, analisou-se estatisticamente os valores obtidos de acidez total, com um nível de significância de 5%. Verificou-se diferença nas amostras permeadas, indicando que a variação dos parâmetros trabalhados durante a microfiltração influenciaram na acidez das

amostras permeadas. Quanto maior a temperatura e vazão, maior foram os valores de acidez total.

5.4.5 Densidade

Os valores podem ser observados na Tabela 10.

Tabela 10 - Densidade da cerveja

Amostra	Densidade média (g/cm³)
PA	1,0033 ± 0,0006
S	1,0044 ± 0,0004
P1	1,0030 ± 0,0002
P2	1,0019 ± 0,0002
P3	1,0019 ± 0,0001
P4	1,0016 ± 0,0003
P5	1,0011 ± 0,0004
P6	1,0016 ± 0,0003
P7	1,0012 ± 0,0001
R1	1,0055 ± 0,0002
R2	1,0055 ± 0,0004
R3	1,0051 ± 0,0003
R4	1,0046 ± 0,0004
R5	1,0034 ± 0,0004
R6	1,0041 ± 0,0001
R7	1,0035 ± 0,0001

O valor da massa específica da cerveja pasteurizada foi de $1,0033 \pm 0,0006 \text{ g/cm}^3$, enquanto a cerveja não esterilizada, que não passou pelos processos de pasteurização ou microfiltração, foi de $1,0044 \pm 0,0004 \text{ g/cm}^3$. Nos experimentos de microfiltração a densidade da cerveja permeada variou de $1,0030 \pm 0,0002 \text{ g/cm}^3$ a $1,0011 \pm 0,0004 \text{ g/cm}^3$, enquanto o retido variou de $1,0034 \pm 0,0004 \text{ g/cm}^3$ a $1,0055 \pm 0,0004 \text{ g/cm}^3$. Esses resultados podem ser visualizados no Gráfico 14 e Gráfico 15.

Gráfico 14 - Densidade das cervejas PA e S

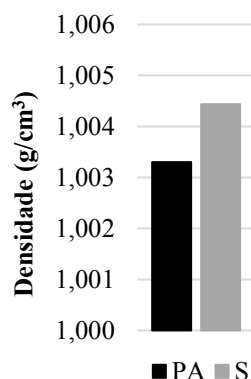
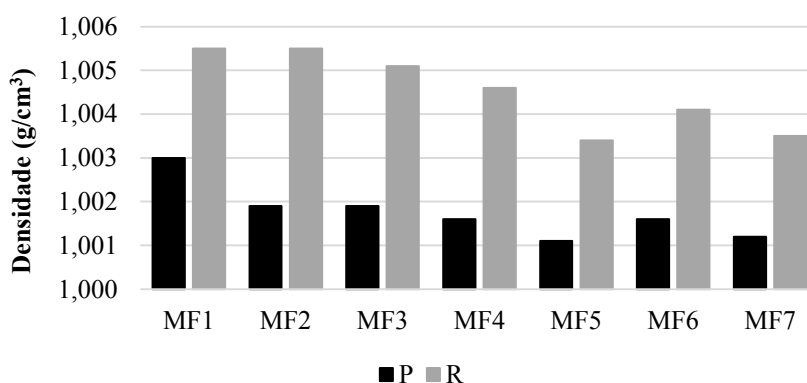


Gráfico 15 - Densidade das cervejas permeadas e retidas



Portanto, o processo realizado apresentou uma variação insignificante na massa específica da bebida após a microfiltração. Esse resultado corrobora com o estudo realizado por Sipoli et al. (2009), no qual verificaram uma pequena diferença de densidade entre o suco de maracujá microfiltrado ($1,034 \text{ g/cm}^3$) e concentrado ($1,08 \text{ g/cm}^3$), também considerada insignificante. Nandi; Uppaluri; Purkait (2011) estudaram a microfiltração do suco de mosambi e constataram que não houve diferença significativa na densidade do suco fresco, permeado e concentrado.

Além disso, analisou-se estatisticamente os valores obtidos para a densidade e foi constatado que não houve diferença, com um nível de significância de 5%. Sendo assim, a variação dos parâmetros trabalhados durante a microfiltração não influenciaram na densidade das amostras permeadas.

5.4.6 Sólidos solúveis

Realizou-se a análise de sólidos solúveis para todas as amostras de cerveja, os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 11.

Tabela 11 - Sólidos solúveis da cerveja

Amostra	Sólidos solúveis (°Brix)
PA	5,40
S	5,45
P1	5,25
P2	5,35
P3	5,25
P4	5,30
P5	5,35
P6	5,35
P7	5,35
R1	5,60
R2	5,50
R3	5,60
R4	5,50
R5	5,55
R6	5,60
R7	5,55

De acordo com os dados, pode-se observar que a membrana reteve uma pequena porcentagem dos sólidos dissolvidos na água. As amostras de cerveja permeadas apresentaram valores mais baixos de sólidos solúveis, variando de 5,25 a 5,35. Já as amostras retidas apresentaram maior concentração desses sólidos que as amostras permeadas, PA e S, ficando entre 5,50 e 5,60. Essa diferença pode ser vista no Gráfico 16 e Gráfico 17.

Gráfico 16 - Sólidos solúveis (°Brix) da cerveja PA e S

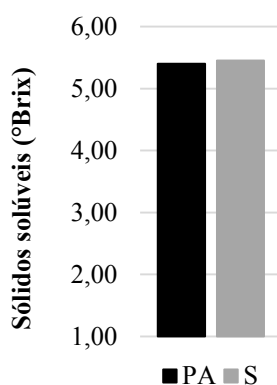
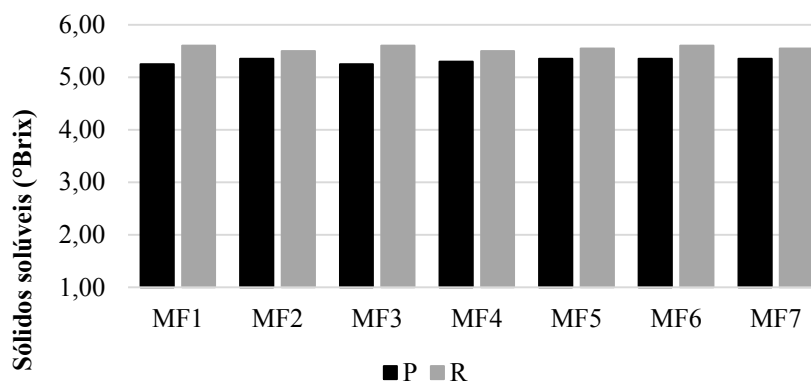


Gráfico 17 - Sólidos solúveis (°Brix) das cervejas permeadas e retidas



A retenção de sólidos solúveis pela membrana de microfiltração pode ser uma das características que justifica a clarificação da bebida, uma vez que esses componentes promovem maior turbidez no produto. Ongaratto; Viotto (2009) estudaram a clarificação do suco de pitanga por micro e ultrafiltração com membranas de polifluoreto de vinilideno e polietersulfona. Os autores verificaram a redução de sólidos solúveis em todas as amostras permeadas (de 2,47 para $2,00 \pm 0,09$), concluindo que os sólidos foram retidos pela membrana e, assim, promoveu a clarificação do suco.

Analisou-se estatisticamente os valores obtidos de sólidos solúveis e observou-se que não houve diferença, com um nível de significância de 5%. Sendo assim, a variação dos parâmetros trabalhados durante a microfiltração não influenciaram no teor de sólidos solúveis das amostras permeadas.

Seguenka et al. (2014) analisaram a micro e ultrafiltração na clarificação do vinho. De acordo com os autores, todas as amostras de vinhos clarificados apresentaram redução de sólidos solúveis. O emprego da microfiltração ($0,1 \mu\text{m}$) reduziu de 5,90 para 5,20°Brix. Magalhães et al. (2005) analisaram a conservação da água de coco verde através de filtração com membrana. Os autores constataram que o uso de microfiltração ($0,1 \mu\text{m}$) promoveu uma redução de 4,2% de sólidos solúveis da bebida.

5.4.7 Extrato seco

Os dados obtidos na determinação de extrato seco estão relatados na Tabela 12.

Tabela 12 - Extrato seco da cerveja

Amostra	Extrato seco (g/L)
PA	$2,69 \pm 0,02$
S	$2,68 \pm 0,03$
P1	$1,98 \pm 0,01$
P2	$2,10 \pm 0,01$
P3	$1,96 \pm 0,02$
P4	$2,29 \pm 0,01$
P5	$2,23 \pm 0,01$
P6	$2,20 \pm 0,00$
P7	$2,39 \pm 0,00$
R1	$2,70 \pm 0,01$
R2	$2,71 \pm 0,02$
R3	$2,66 \pm 0,01$
R4	$2,63 \pm 0,02$
R5	$2,67 \pm 0,01$
R6	$2,60 \pm 0,02$
R7	$2,64 \pm 0,03$

Observou-se que, após a filtração por membrana, as amostras de permeado apresentaram menor quantidade de extrato seco, quando comparadas com as cervejas PA e S. Já as amostras retidas apresentaram resultados próximos às cervejas PA e S. Esses resultados podem ser verificados no Gráfico 18 e Gráfico 19.

Gráfico 18 - Extrato seco das cervejas PA e S

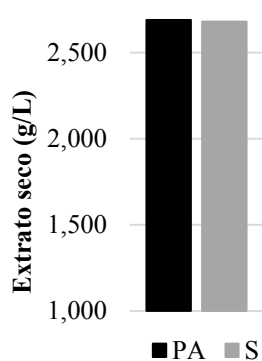
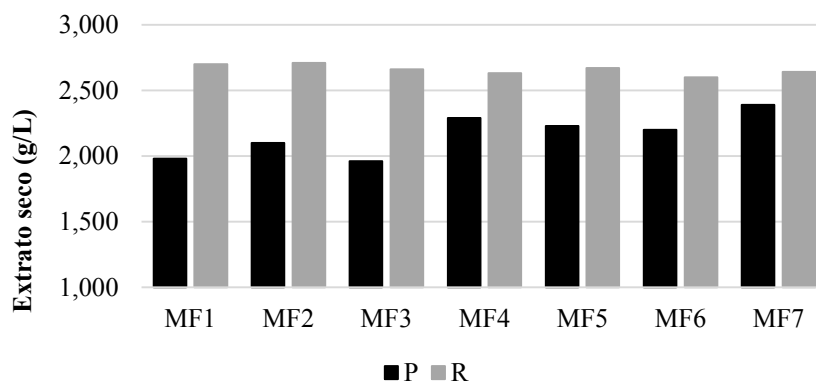


Gráfico 19 - Extrato seco das cervejas permeadas e retidas



Deste modo, verificou-se que a membrana utilizada no processo reteve parte dos componentes presentes na bebida. Seguenka et al. (2014), constataram a redução de extrato seco em vinho tinto submetido à microfiltração, o que corrobora com o presente trabalho.

Ainda, analisou-se estatisticamente os valores obtidos para extrato seco e observou-se que não houve diferença, com um nível de significância de 5%. Sendo assim, a variação dos parâmetros trabalhados durante a microfiltração não influenciaram no teor de extrato seco das amostras permeadas.

Segundo Almeida; Belo (2017), os valores de extrato seco em cervejas devem apresentar entre 2 e 7%, sendo que acima de 3% considera-se uma bebida de melhor qualidade. Portanto, todas as amostras de cerveja apresentaram-se dentro dos valores padrões estabelecidos pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), exceto P1 e P3, cujo valor foi um pouco abaixo de 2%. Além do mais, a cerveja PA apresentou melhor qualidade em relação ao teor de extrato seco. Já entre as amostras permeadas, a P7 apresentou maior valor.

5.4.8. HPLC

Determinou-se o teor alcoólico para as amostras S e P1, e os valores obtidos foram 3,9% e 4,6% respectivamente. A bebida permeada obteve um teor alcoólico de 0,7% maior, no entanto, esse aumento pode ser justificado pela concentração de álcool no fluxo permeado, uma vez que o volume de alimentação não é o mesmo do volume permeado, indicando que a membrana empregada na microfiltração não apresentou retenção do componente em questão.

Observou-se ainda uma redução de álcool na amostra S quando comparada com a cerveja PA, uma vez que o rótulo da bebida utilizada no desenvolvimento do presente trabalho informa conter 6,2% de álcool. Essa diferença pode ser atribuída ao tempo de armazenamento

entre a abertura da garrafa de cerveja para a realização da microfiltração e a realização da análise de HPLC, que foi de duas semanas.

6 CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos, constatou-se que os parâmetros de controle, como vazão e temperatura, interferiram nos fluxos permeados do processo de microfiltração. As melhores condições de microfiltração encontradas foram aquelas operadas em vazões mais baixas, uma vez que a pressão transmembrana exercida é menor, promovendo menor compactação da torta formada e, conseqüentemente, causando menor obstrução dos poros da membrana. Além disso, a limpeza proporcionou a recuperação do fluxo inicial.

De acordo com os resultados obtidos nas análises microbiológicas, pode-se afirmar que o emprego da microfiltração no processo de produção da cerveja garante a qualidade microbiológica da bebida. Observou-se, ainda, que a membrana utilizada apresentou retenção de alguns componentes da cerveja, promovendo diferenças significativas entre as amostras da alimentação, microfiltradas e retidas. Essa retenção ficou evidenciada pela redução de cor, turbidez, acidez total, sólidos solúveis, extrato seco e aumento do pH.

Baseado nos resultados, pode-se concluir que o processo de microfiltração pode ser uma alternativa de esterilização a frio, pois retém os microrganismos deteriorantes da cerveja, além de clarificar a bebida. Sendo assim, a microfiltração é capaz de reduzir a filtração e pasteurização em uma única etapa, otimizando o processo de produção da cerveja artesanal.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, D. S.; BELO, R. F. C. **Análises físico-químicas de cervejas artesanais e industriais comercializadas em Sete Lagoas-MG.** Faculdade Ciências da Vida, 2018.

ALVES, T. L. **Estudo da formação de incrustações inorgânicas em membranas de nanofiltração utilizadas em processos de dessulfatação.** Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

AMARAL, M. C. S. et al. Avaliação do emprego de microfiltração para remoção de fibras do efluente de branqueamento de polpa celulósica. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 18, n. 1, p. 65-74, 2013.

BRASIL. **Decreto Nº 6.871, de 4 de junho de 2009.** Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2009/Decreto/D6871.htm>. Acesso em: 04 jul. 2017.

BRASIL. Ministério da Agricultura. **Portaria nº 76 de 26 de novembro de 1986. Dispõe sobre os métodos analíticos de bebidas e vinagre.** Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, 28 nov. 1986. Seção 1, pt. 2.

BEER&BIER. Entendendo a coloração da cerveja. Disponível em: <<https://www.beerbier.com.br/blog/entendendo-a-coloracao-da-cerveja/>>. Acesso em: jan 2018.

CARRERA, S. C. **Validação do processo CIP como ferramenta para melhorar a qualidade e a produtividade: Estudo de caso em microcervejaria.** Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015.

CECCHI, H. M. **Fundamentos teóricos e práticos em análises de alimentos.** 2. ed. Campinas: Editora da Unicamp, 2003.

CERVBRASIL. **Associação Brasileira da Indústria da Cerveja.** Disponível em: <<http://www.cervbrasil.org.br/>>. Acesso em: set 2017.

CIMINI, A.; FRANCESCO, G.; PERRETTI, G. Effect of crossflow microfiltration on the clarification and stability of beer from 100% low-b-glucan barley or malt. **Food Science and Technology**, v. 86, p. 55-61, 2017.

DRAGONE, G. et. al. Revisão: **Produção de Cerveja: Microrganismos deteriorantes e Métodos de Detecção.** Brazilian Journal of Food Technology, n. 298, 2007.

EMBRAPA. O complexo agroindustrial da cevada. 2012. Disponível em: <http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/do/p_do139_2.htm>. Acesso em: set 2017.

FERREIRA, A. S.; BENKA, C. L. **Produção de cerveja artesanal a partir de malte germinado pelo método convencional e tempo reduzido de germinação.** 2014. 43 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso Superior de Tecnologia em Alimentos) - Universidade Tecnológica Federal Do Paraná. Francisco Beltrão, 2014.

GAN, Q. et al. Beer clarification by microfiltration — product quality control and fractionation of particles and macromolecules. **Journal of Membrane Science**, v.194, p. 185–196, 2001.

GAN, Q. et al. Synergetic cleaning procedure for a ceramic membrane fouled by beer microfiltration. **Journal of Membrane Science**, v.155, p. 277-289, 1999.

HABERT, A.C; BORGES, C.P; NOBREGA, R; **Processos de Separação com Membranas**. E-papers: Rio de Janeiro, 2006.

HARRIS, D. C. **Quantitative Chemical Analysis**. 7. ed. New York: W.H. Freeman and Company. 2007.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. 4. ed. São Paulo, 2008. Disponível em: <
http://www.ial.sp.gov.br/resources/editorinplace/ial/2016_3_19/analisedealimentosial_2008.pdf>. Acesso em: out. 2017.

KAster, B. **Efeitos das condições operacionais na microfiltração do suco de maçã**. 2009. 83 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

KONICA MINOLTA. Sensing Americas. **Entenda o espaço de Cor L*a*b***. Disponível em: <http://sensing.konicaminolta.com.br/2013/11/entendendo-o-espaco-de-cor-lab/>. Acesso em: 29 nov 2017.

LAVARDA, L. **Determinação da cinética de degradação térmica da vitamina C em polpa de acerola via aquecimento ôhmico**. 2011. 44 f. Dissertação (Graduação em Engenharia Química). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

LIRA, H. L. et al. Microfiltração do soro de leite de búfala utilizando membranas cerâmicas como alternativa ao processo de pasteurização. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 29, p. 33-37, 2009.

MAGALHÃES, M. P. et al. Conservação de água de coco verde por filtração com membrana. **Food Science and Technology**, v. 25, 2005.

MATOS, R. A. G. **Produção de cervejas artesanais, avaliação de aceitação e preferência, e panorama do mercado**. 2011. 78 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Curso de Agronomia, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.

MORADO, R. **Larousse da cerveja**. 1ed. São Paulo Editora Laftone. 2009.

NANDI, B. K.; UPPALURI, R.; PURKAIT, M. K. Identification of optimal membrane morphological parameters during microfiltration of mosambi juice using low cost ceramic membranes. **Food Science and Technology**, v.44, p. 214-223, 2011.

NETA, L. S. F.; HABERT, A. C.; BORGES, C. P. **Cerveja microfiltrada: Processo e qualidade**. Brazilian Journal Food Technology, Rio de Janeiro, 2005. Disponível em:

<http://bjft.ital.sp.gov.br/artigos//brazilianjournal/ed_especial/23.pdf>. Acesso em: 03 jul. 2017.

OLIVEIRA, N. A. M. **Leveduras utilizadas no processo de fabricação da cerveja**. 2011. 45 f. Monografia (Especialização) - Curso de Especialista em Microbiologia Ambiental e Industrial, Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.

OLIVEIRA, R.C.; DOCE, R.C.; BARROS, S.T.D. Clarification of passion fruit juice by microfiltration: Analyses of operating parameters, study of membrane fouling and juice quality. **Journal of Food Engineering**, v. 111, p. 432–439, 2012.

ONGARATO, R. S.; VIOTTO, L. A. Clarificação do suco de pitanga (*Eugenia uniflora* L.) e concentração de carotenoides por microfiltração e ultrafiltração. **Brazilian Journal Food Technology**, 2009.

PAGLIERO, C.; OCHOA, N. A.; MARCHESE, J. Orange juice clarification by microfiltration: effect of operational variables on membrane fouling. **Latin American Applied Research**, v. 41, p. 279-284, 2011.

PAIVA, G. M. **Estudo do processamento e mercado de cervejas especiais no Brasil**. 2011. 88 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnologia em Alimentos) – Faculdade de Tecnologia Termomecânica, São Bernardo do Campo, 2011.

PALMER, J. J. **How to Brew: Everything You Need to Know to Brew Beer Right the First Time**. 1999.

PARAENSE, M. O.; AULER, P. E.; FIGUEIREDO, C. S. Clarificação de suco de melancia através de microfiltração com membrana de acetato de celulose. **The Journal of Engineering and Exact Sciences**. V. 3, n. 3, 2017.

PAULA, B. et al. **Microfiltração de suco de maracujá**. Disponível em: <http://www.ceinfo.cnpat.embrapa.br/arquivos/artigo_1935.pdf>. Acesso em: jan. 2018.

RODOLFO, C. **NBB – Determinação de bactérias deteriorantes em cervejas**. Döhler Microsafety Design, 2015.

RODOLFO, C. **Sensibilidade microbiológica em cerveja**. Engarrafador Moderno, [S.l.]: Aden, n. 253, p. 34-39, 2015.

RONCONI, C. M. **Avaliação de diferentes agentes clarificantes de cerveja no processo de produção em uma microcervejaria**. 2016. 43 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Química) – Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2016.

ROSA, N. A.; AFONSO, J. C. A Química da Cerveja. **Química Nova na Escola**. [s.l.], v. 37, n. 2, 2015. Sociedade Brasileira de Química (SBQ). Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.5935/0104-8899.20150030>>. Acesso em: 01 jul. 2017.

SACHS, L. G. **Cerveja**. Fundação Faculdades Luiz Meneghel. Bandeirantes, 2001. Disponível em: <<http://www.schumacherinsumos.com.br/images/cerveja.pdf>>. Acesso em: 03 jul. 2017.

SANTIN, M. M. **Aplicação de tratamento enzimático combinado a microfiltração na clarificação de suco de pêssego**. 2004. 89 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Integrada do Alto Uruguai e das Missões, Erechim, 2004.

SEGUENKA, B. et al. Clarificação de vinho tinto pelo processo de separação por membranas. **Global Science and Technology**, Rio Verde, v. 7, n. 3, p. 119-126, 2014.

SILVA, F. L. **Efeito de campo magnético sobre as características físico-químicas de uma solução de albumina de soro bovino (BSA) e seu desempenho na ultrafiltração**. 2015. 90 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) - Universidade Federal de Santa, Florianópolis, 2015.

SILVA, T. O.; ROCHA, A. W. S.; TERAN, F. J. C. Microfiltração como processo de tratamento avançado para efluente industrial de abatedouro de bovinos. **Engenharia Ambiental: Pesquisa e Tecnologia**, Espírito Santo: Unipinhal, v. 8, n. 4, p. 023-030, Dez. 2011.

SIPOLI, C. C. **Concentração do suco de maracujá visando à retenção dos aromas por processo com membranas**. Uberlândia, 2009. Disponível em: <<http://www.cobeqic2009.feq.ufu.br/uploads/media/105922701.pdf>>. Acesso em: dez 2017.

VANINI, E. **Mercado cervejeiro movimenta R\$74 bilhões no Brasil**. 2016. Disponível em: <<http://www.oglobo.globo.com/economia/mercado-cervejeiro-movimenta-74-bilhoesno-brasil-18950844>>. Acesso em: 28 jun. 2017.

VENTURINI FILHO, W. G.; CURI, R. A. e NOJIMOTO, T. **Produção de cerveja utilizando cevada como adjunto de malte: análises físico-química e sensorial**. *Brazilian Journal Food Technology*, v. 12, n. 2, p. 106-112, 2009.

VENTURINI FILHO, W. G.; NOJIMOTO, T. Aproveitamento da água de umidificação de malte da moagem úmida como matéria prima na fabricação de cerveja. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, [s.l.], v. 19, n. 2, p.174-178, maio 1999. Fap UNIFESP (SciELO).