

**AUTORES  
AUTHORS**

✉ **Luzia Sergina de França NETA\***  
**Alberto Cláudio HABERT**  
**Cristiano Piacsek BORGES**

Programa de Engenharia Química COPPE,  
Universidade Federal do Rio de Janeiro,  
Centro de Tecnologia, Ilha do Fundão,  
CEP: 21945-970, Rio de Janeiro-RJ, Brasil  
Tel/Fax: (+55) 21- 2270-2189 / 2562-8300  
\*e-mail: luzia@peq.coppe.ufrj.br

**RESUMO**

Os processos de separação por membranas (PSM) são empregados na indústria alimentícia como uma alternativa aos processos convencionais de filtração, clarificação, concentração e purificação. A microfiltração (MF) e a ultrafiltração (UF), podem por exemplo, combinar a filtração, a clarificação e a higienização em uma única etapa. Seu uso na indústria cervejeira apresenta outras vantagens como a eliminação do auxiliar de filtração (Kieselguhr), a redução de perdas durante a filtração convencional e a substituição da pasteurização. Estas vantagens resultam em uma melhor qualidade do produto final. Entretanto, os PSM apresentam limitações como a polarização de concentração e incrustações na membrana. O presente trabalho tem como objetivo investigar alternativas operacionais na microfiltração de cerveja maturada. Um sistema de microfiltração com escoamento tangencial foi utilizado para estudar a influência de parâmetros operacionais, utilizando módulos de fibras ocas com densidade de empacotamento de 1.500 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup> para o processamento de cerveja maturada do tipo pilsen. O desempenho do processo de microfiltração foi avaliado em termos da velocidade tangencial e do modo de remoção do permeado. As membranas de fibra oca foram preparadas no laboratório pela extrusão de soluções poliméricas com inversão de fase. As fibras apresentam características hidrofílicas e tamanho médio de poro de 0.4 µm. O sistema foi limpo conforme os padrões da indústria cervejeira. A qualidade do permeado é avaliada pela turbidez, cor e teor de microrganismos. Excelentes resultados foram obtidos para a cerveja microfiltrada apresentando reduções de cor e turbidez em torno de 25% e 98%, respectivamente, além da mínima presença de microrganismos, adequando-se aos padrões da EBC (European Brewery Convention). Após um procedimento de limpeza dos módulos, foi possível recuperar o fluxo inicial de água. Os resultados indicam o excelente potencial da microfiltração com fibra oca para a clarificação da cerveja maturada.

**SUMMARY**

Membrane Separation Processes (MSP) have been employed in the food industry as a promising alternative for the traditional process of filtration, clarification, concentration and purification. Microfiltration (MF) and ultrafiltration (UF), can lead to filtration, clarification, and sterilization in a single step. In the brewing industry, other advantages may be achieved such as the elimination of diatomaceous earth filtration (Kieselguhr), the reduction of beer losses, and the substitution of heat pasteurization, leading to a better product quality. However, MSP still have some limitations, such as concentration polarization, and fouling. This work aims the investigation of different operational conditions in a microfiltration system used for beer clarification. A lab scale microfiltration system, using hollow fiber modules, was used to study the influence of several process parameters in the processing of Pilsen mature beer. The performance of the crossflow microfiltration was evaluated through feed flow velocity and mode of permeate removal from membrane modules with fiber packing density of 1.500 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>. The hollow fiber membranes were prepared in the lab by extrusion of polymer solutions followed by phase inversion. The fibers are hydrophilic and have an average pore size of 0.4 µm. The system was cleaned following the brewing industry standards. The permeate quality is evaluated by turbidity, colour, and microbiological content. Excellent results were obtained as the reduction of turbidity and colour were around 98 and 25 %, respectively, and minimum microorganisms were found in the permeate. These results meet the EBC (European Brewery Convention) standards. After a cleaning procedure of the modules, the initial membrane water flux was restored. The results show a highly encouraging potential for the microfiltration process of mature beer with hollow fibers.

**PALAVRAS-CHAVE  
KEY WORDS**

Microfiltração, fibra oca, clarificação, cerveja. /  
Microfiltration, hollow fiber, clarification, beer.

## 1. INTRODUÇÃO

A aplicação dos PSM em indústrias alimentícias apresentou um aumento significativo no início da década de oitenta. A princípio, o emprego dos PSM foi visto como uma mistura de interesse e desconfiança, já que os princípios da ciência de separação por membrana eram totalmente exóticos a sua época, principalmente quando comparados aos processos convencionais existentes nas indústrias, CHERYAN (1995).

A microfiltração com fluxo tangencial foi indicado como uma alternativa para a clarificação, pasteurização, esterilização de bebidas, como sucos, vinhos e cervejas, além das indústrias de laticínios. Na indústria de laticínios a microfiltração é utilizada para a pasteurização do leite e a ultrafiltração para a separação de lipoproteínas e fracionamento de proteínas presentes no soro. Produtos como o vinho e o vinagre utilizam a microfiltração para a clarificação e esterilização em uma única etapa de processamento. Na indústria de cidra e sucos de fruta a microfiltração é utilizada para a estabilização microbiológica e clarificação, GAN (2001).

No início da década de noventa os PSM continuaram a apresentar avanços nas indústrias alimentícias e correlatas. Processos como a osmose inversa, foram utilizados para a concentração, como complemento ou substituição aos processos de evaporação; a ultrafiltração para o fracionamento, concentração e purificação; a microfiltração para a clarificação, esterilização e fracionamento de macromoléculas; a eletrodialise para a desmineralização; e a pervaporação para a extração e/ou destilação, CHERYAN (1995).

Na indústria cervejeira o processo de filtração é tido como a etapa de finalização do processo. Esse processo tem como objetivo eliminar as partículas em suspensão, como leveduras, partículas coloidais, resíduos de lúpulo, ou seja, todo o material causador da turvação. O processo de eliminação dessas partículas ocorre mediante a passagem da cerveja maturada por um meio filtrante (terra diatomácea) sem que haja alterações na qualidade do produto final, conferindo a esta um aspecto límpido e cristalino. Qualquer falha de controle e variações durante esta etapa resulta no comprometimento da qualidade do produto final, LAUX (1996), JORGE (2003), CANCELLARA (2004). A etapa de filtração com terra diatomácea é responsável pela geração de um material residual que vem se tornando um problema para as cervejarias. A maior preocupação dos órgãos governamentais em relação ao meio ambiente incentivou as indústrias cervejeiras a investigar novas tecnologias de filtração TAYLOR (2001).

Os sistemas de microfiltração são tidos como uma alternativa econômica, pois apresentam um menor custo operacional e de investimento, diminuição do tempo de processamento e são capazes de garantir a estabilidade físico-química e microbiológica da cerveja. Isto é viável devido às propriedades seletivas das membranas, que são capazes de remover qualquer tipo de bactéria ou levedura prejudiciais à qualidade do produto final. A microfiltração substitui também a necessidade da utilização de filtração com terra diatomácea (Keiselguhr), além da redução ou eliminação de enzimas como agentes de finalização BLANPAIN (1993), CHERYAN (1995). Uma outra vantagem é que neste processo não há mudanças

de temperatura (processo de filtração a frio), não afetando as características organolépticas da cerveja, disponibilizando um produto de ótima qualidade. Nestes casos o enchimento asséptico torna-se obrigatório.

Equipamentos de pasteurização ocupam muito espaço, além de requerer um enorme consumo de energia elétrica, vapor, água e de necessitar de paradas constantes para a manutenção. A substituição do sistema de pasteurização por um sistema de microfiltração, pode acarretar em uma bebida de melhor qualidade, maior economia de energia e água, redução na quantidade de efluente gerado e de quebra de garrafas durante a pasteurização.

Os principais inconvenientes técnicos que têm dificultado a aceitação do emprego da microfiltração estão relacionados à formação de incrustações na superfície da membrana, resultando em fluxos permeados menores, assim como a problemas relacionados com a retenção de proteínas e compostos ligados ao aroma, BLANPAIN (1993), BURRELL (1994), GAN (1999), CZEKAJ (2000), TAYLOR (2001).

Para um maior controle da formação de incrustações tem sido ressaltada a necessidade do desenvolvimento de membranas de microfiltração com elevada densidade de poros e estreita distribuição do tamanho de poros, morfologia anisotrópica, característica hidrofílica para redução da interação com a membrana com os solutos presentes na corrente de alimentação, além de novos módulos de permeação com promotores de turbulência, e novos procedimentos operacionais, ou seja, maior controle da diferença de pressão através da membrana durante o processo, VAN DER HORST (1990). Todos esses cuidados são fundamentais para a obtenção de excelentes padrões de filtrabilidade da cerveja, e que resulte num permeado microbiologicamente estável e ausência de perdas de compostos que dão qualidade ao produto final, BURRELL (1994), REED (1998).

Este trabalho tem como objetivo investigar diferentes condições operacionais em um sistema de microfiltração com escoamento tangencial, utilizado para a clarificação da cerveja maturada do tipo Pilsen, visando estudar a viabilidade técnica da substituição do processo convencional pelo processo de microfiltração. Nos testes de microfiltração foram utilizadas membranas poliméricas do tipo fibra oca com característica hidrofílica, elevada densidade de poro e tamanho médio de poro de 0,4  $\mu$ m.

## 2. METODOLOGIA

### 2.1 Membrana de Microfiltração

As membranas de microfiltração do tipo fibra ocas utilizadas neste trabalho para a clarificação da cerveja maturada foram desenvolvidas no Laboratório de Separação por Membranas PAM/PEQ/COPPE. As membranas microporosas eram constituídas por poli (éter imida)- PEI (ULTEM ) polímero base e polivinilpirrolidona (PVP - Fluka Chemika Co.) como aditivo, segundo metodologia proposta por FARIA (2002), com elevada densidade de poro superficial e característica hidrofílica.

## 2.2 Caracterização das membranas de microfiltração

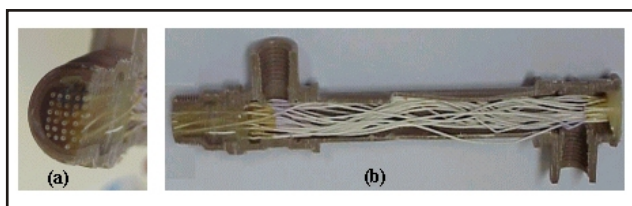
As fibras obtidas foram caracterizadas quanto à morfologia e a permeabilidade hidráulica.

A utilização da microscopia de varredura - MEV (aparelho JEOL JSM - 5300), permite uma caracterização da morfologia das membranas de microfiltração. Os testes de permeabilidade hidráulica foram realizados no sistema de microfiltração com água pura circulando a pressões variando de 0,4 a 1,6 bar. A variação linear do fluxo ( $l/h.m^2$ ) com a pressão permite calcular a permeabilidade hidráulica ( $l/h.m^2.bar$ ), medida pelo coeficiente angular.

## 2.3 Módulos de permeação

Os módulos de microfiltração foram preparados numa conformação semelhante a um trocador de calor tipo casco e tubo. As fibras ocas foram posicionadas longitudinalmente em uma carcaça de PVC com 20 cm de comprimento e 1,25 cm de diâmetro interno (Figura 1).

**Figura 1** - (a) Seção transversal do módulo de permeação; (b) Fibras dispostas longitudinalmente no interior da carcaça de PVC e coladas nas extremidades do módulo.



As fibras foram fixadas no interior da carcaça de PVC mediante utilização de uma resina epóxi (Adesivo Araldite 24Hs - Vantico). A resina de vedação também serve como uma barreira que separa a alimentação do permeado. A alimentação dos módulos é realizada pelo interior da carcaça, sendo o permeado coletado no interior das fibras ocas em uma das extremidades do módulo de microfiltração. A área de membrana por volume do módulo, também conhecida como densidade de empacotamento foi de  $1.500 m^2/m^3$ .

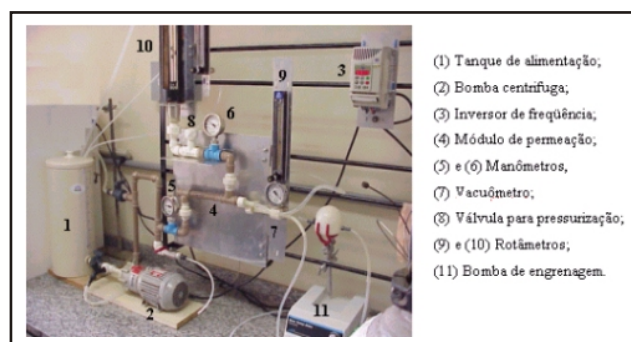
## 2.4 Cerveja maturada

A cerveja maturada utilizada no sistema de microfiltração foi fornecida pelo CETEC/SENAI/Vassouras-RJ, amostrada na corrente que segue para a filtração assistida com terra diatomácea. A cerveja maturada do tipo Pilsen foi utilizada por ser amplamente comercializada no mercado brasileiro, apresentando cor e turbidez inicial de 6,0 e 6,0 EBC, respectivamente.

## 2.5 Sistema de microfiltração

O sistema de microfiltração (Figura 2) montado explora o escoamento tangencial da alimentação através de um

**Figura 2** - Sistema de microfiltração com escoamento tangencial



módulo de permeação. O escoamento tangencial visa à redução da camada de polarização e, conseqüentemente, o acúmulo de material sobre a mesma, reduzindo a possibilidade de incrustações e os efeitos da polarização de concentração.

A operação do sistema foi realizada de duas formas distintas, uma através da pressurização da alimentação ( $P > 0$ ) e a outra através da sucção do permeado ( $P < 0$ ). A operação com pressão positiva consistiu na circulação da alimentação pressurizada através dos módulos de permeação e recolhimento do permeado na pressão atmosférica. A outra operação do sistema consistia na circulação da alimentação através do módulo de permeação e recolhimento do permeado por sucção com auxílio de uma bomba de engrenagem.

A velocidade tangencial no interior dos módulos de permeação foi calculada de acordo com o diâmetro hidráulico do permeador. O sistema foi operado a baixas pressões como forma de reduzir a camada de polarização de concentração e a formação de incrustações.

A microfiltração da cerveja maturada foi avaliada em termos da permeabilidade, volume de permeado recuperado ( $V_p/V_0$ ) e redução da cor e turbidez. Durante os testes de microfiltração, procurou-se manter a temperatura do sistema inferior a  $4^\circ C$ , devido a turbidez a frio (chill haze), com um tempo de processamento de 240 minutos.

## 2.6 Limpeza da membrana

A membrana foi limpa com uma solução de 3% de NaOH ( $pH = 14$ ), semelhante à limpeza realizada na indústria cervejeira. Os testes de limpeza foram realizados a temperatura ambiente.

A eficiência da limpeza dos módulos de microfiltração foi avaliada em termos da recuperação do fluxo inicial de água pura, após o processamento da cerveja maturada. A solução de NaOH foi circulada no sistema de microfiltração por 30 minutos, e em seguida o sistema era lavado com água destilada, sucessivas vezes até atingir  $pH$  igual a 7,0.

## 2.7 Análise da eficiência do processo

A eficiência do processo de microfiltração foi avaliada em termos de permeabilidade hidráulica da cerveja maturada,



redução da cor e turbidez, e da ausência de microrganismos na cerveja microfiltrada.

As análises de cor e turbidez foram realizadas dentro dos padrões da EBC, BRIGANTE (1997). Para as análises de cor foi utilizado o método colorimétrico, baseado na escala de cores criada por Bishop, onde proporções diferentes de amarelo e vermelho são misturadas para obter uma escala proporcional, os resultados são expressos em EBC. Para a turbidez utilizou-se um turbidímetro (AP2000 Policontrol), baseado na medida de quantidade de luz refletida, indicando a ordem grandeza dos sólidos em suspensão na amostra, e seus resultados também são expressos em EBC.

A ausência de microrganismos foi determinada através de testes qualitativos. Alíquotas de 1mL da alimentação (cerveja maturada) e do permeado (cerveja microfiltrada) foram cultivados em um meio rico, método pour plate, STANDARD METHODS. O objetivo foi observar após três dias de incubação a presença ou ausência de microrganismos nos meios de cultivo.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Caracterização das membranas de microfiltração e módulos de permeação

Para os experimentos de microfiltração, tanto com o sistema modelo como com a cerveja maturada, utilizou-se membranas microporosas na forma de fibras ocas (Figura 3). Essas membranas apresentam características hidrofílicas devido à presença do aditivo utilizado, FARIA (2002).

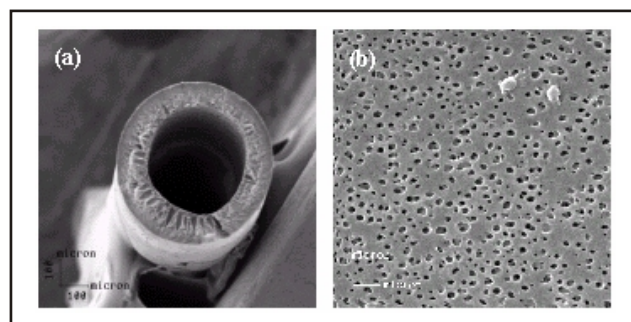
**Figura 3** - Feixe de membranas microporosas de geometria cilíndrica do tipo fibra oca.



As membranas de microfiltração foram caracterizadas por exame de sua morfologia através da análise de fotomicrografia obtidas por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e através da medida da permeabilidade da membrana a água pura.

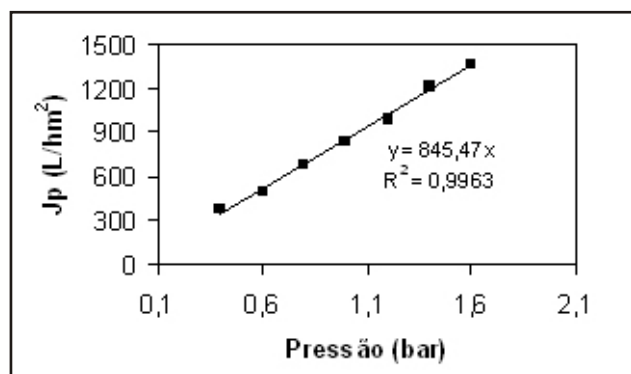
As fotomicrografias da seção transversal e da superfície externa da membrana é apresentada na Figura 4.

**Figura 4** - (a) Seção transversal da membrana microporosa (aumento de 100x); (b) superfície externa (aumento de 10.000x)



As fibras ocas apresentaram ausência de macroporos na seção transversal e poros com tamanho médio de 0,4 μm em sua superfície externa. O tamanho de poro obtido é adequado para a retenção das leveduras, bactérias e sólidos em suspensão, presentes na solução a ser tratada. A membrana polimérica com tamanho médio de poro de 0,4 μm está de acordo com o proposto pela literatura para a microfiltração de cerveja maturada, BURRELL (1994), REED (1998), GAN (2001), FILLAUDEAU (2002), sendo considerada capaz de produzir uma cerveja microfiltrada límpida, isenta de microrganismos e sem a retenção de componentes que dão qualidade à bebida. A Figura 5 apresenta os resultados obtidos para o fluxo permeado de água em função da pressão de operação, para a fibra oca obtida. O valor obtido para a permeabilidade hidráulica foi de 845,47 L/h.m<sup>2</sup>.bar.

**Figura 5** - Permeabilidade da fibra oca obtida.



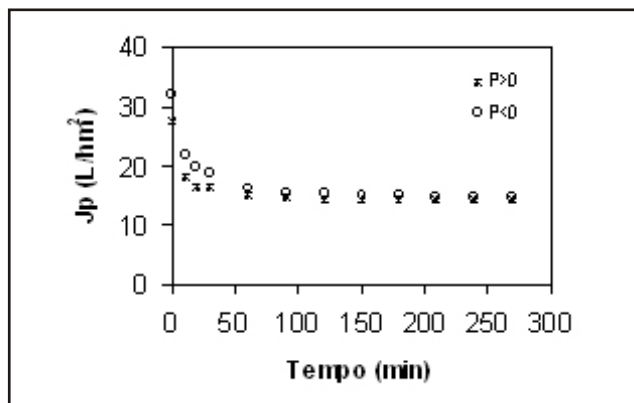
#### 3.2 Ensaios de microfiltração

Para avaliar o efeito dos principais parâmetros operacionais, foram realizados ensaios com circulação da alimentação pelo sistema de microfiltração, com o retorno do permeado ao tanque de alimentação. O tempo de operação ficou em torno de 270 minutos e a pressão de operação foi fixa em 0,3 bar. Os parâmetros operacionais investigados foram a velocidade tangencial de alimentação e o modo de operação do sistema com relação à retirada do permeado (P>0 ou P<0).

A Figura 6 apresenta os resultados do fluxo permeado da cerveja maturada em função do tempo de processamento,

mantendo velocidades tangenciais de 0,38 m/s, regime turbulento ( $Re = 5.000$ ). Nesta figura também é comparado o modo operacional do sistema na retirada do permeado.

**Figura 6** - Fluxo permeado de cerveja em função do tempo. Influência do modo de operação do sistema de microfiltração.

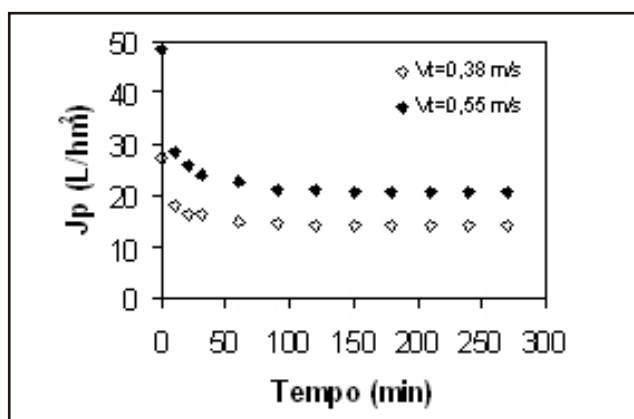


A redução do fluxo permeado nos primeiros minutos de filtração é indicativo dos efeitos de polarização de concentração. A redução contínua do fluxo permeado é um indicativo da presença de incrustações.

O modo de operação do sistema não resultou em diferenças significativas com relação ao fluxo permeado, embora a redução do fluxo permeado ocorra de forma menos acentuada quando se retira o permeado por sucção.

Velocidades tangenciais mais elevadas foram obtidas com a pressurização da alimentação. Os resultados com velocidade tangencial de 0,5 m/s são apresentados na Figura 7.

**Figura 7** - Fluxo permeado de cerveja em função do tempo. Influência da velocidade tangencial da alimentação, retirada do permeado por pressurização da alimentação ( $P > 0$ ).



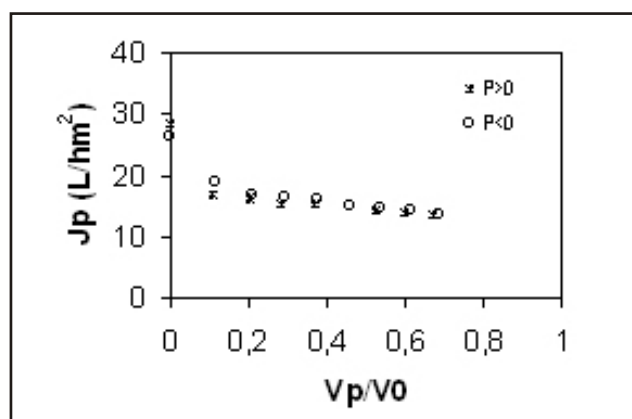
O aumento do fluxo permeado evidencia que o aumento da velocidade tangencial sobre a superfície da membrana reduz os efeitos da polarização de concentração.

Para avaliar a influência do grau de

recuperação do permeado no desempenho do processo de microfiltração, nestes ensaios o permeado não retorna ao tanque alimentação. A concentração da alimentação passa a aumentar com o tempo. Estes testes foram realizados em bateladas de 240 minutos, a uma pressão de operação de 0,3 bar.

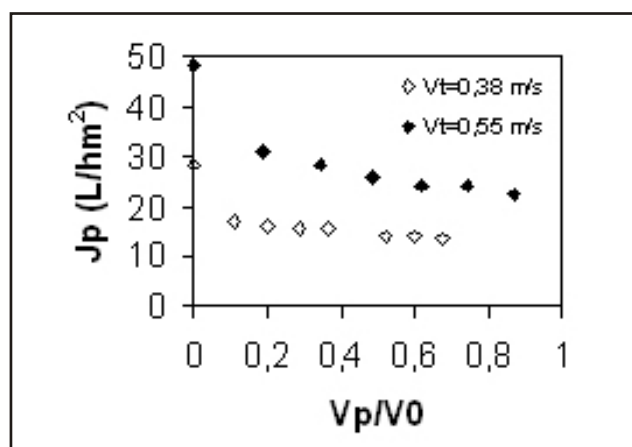
As condições operacionais do sistema de microfiltração foram similares aos experimentos anteriormente descritos, ou seja, regime turbulento com velocidade tangencial de 0,38 m/s. A influência no modo de retirada do permeado também foi investigada. Os resultados são apresentados nas Figuras 8 em termos do fluxo permeado em função da razão de permeado recuperado para a cerveja maturada.

**Figura 8** - Fluxo permeado em função da razão de permeado recuperado. Influência do modo de remoção do permeado.



A análise destes resultados mostra que o modo operacional do sistema de microfiltração não resultou em mudanças significativas no volume de permeado recuperado ( $V_p/V_0$ ). A redução do fluxo permeado ocorre de forma menos acentuada para a retirada do permeado por sucção como observado anteriormente.

**Figura 9** - Fluxo permeado em função da razão de permeado recuperado para velocidades tangenciais elevadas.

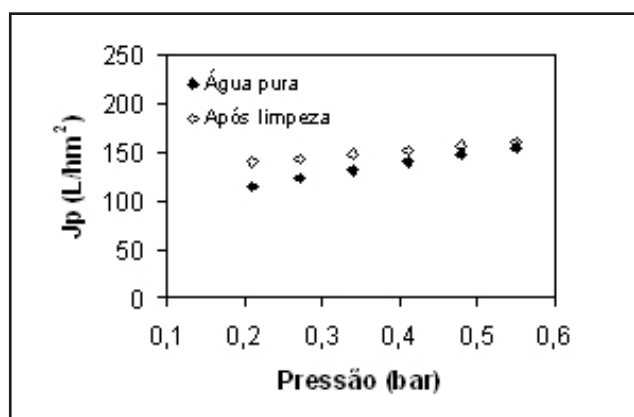


A influência da velocidade tangencial pode ser observada na Figura 9. O aumento na velocidade tangencial resultou em maiores valores de fluxo permeado e de volume de permeado recuperado, confirmando a redução dos efeitos de polarização de concentração. Conseguem-se assim atingir facilmente quase 90% de recuperação do permeado.

### 3.4 Limpeza da membrana de microfiltração

A limpeza periódica do módulo é essencial para manter as características da membrana, como sua permeabilidade e seletividade, que são necessárias para a eficiência do processo de microfiltração. O módulo de permeação foi limpo após o processamento da cerveja maturada, para testar a recuperação de suas propriedades, aqui estimada pela variação do fluxo de solvente puro. O resultado obtido é apresentado na Figura 10, para limpeza com solução de 3% de NaOH (pH= 14).

**Figura 10** Fluxo permeado de água pura, original e após a limpeza do módulo que processou cerveja maturada.



De acordo com a análise dos resultados é evidente a regeneração da membrana de microfiltração, praticamente com uma recuperação de 100% do fluxo inicial de solvente puro. BURRELL (1994) e GAN (1999) registraram na literatura diferentes procedimentos para a limpeza de membranas, como a utilização de uma seqüência de agentes químicos como o NaOH, HNO3, H2O2 e Ultrasil 11. Com membranas cerâmicas com tamanho de poro de 0,5µm, os autores indicam uma recuperação máxima de 87% do fluxo inicial de solvente puro

É importante ressaltar que os resultados obtidos

indicam que as incrustações formadas durante a microfiltração da cerveja maturada, responsáveis pela a redução contínua do fluxo permeado, são de caráter reversível. A recuperação total do fluxo inicial de solvente, utilizando procedimentos de limpeza muito simples, demonstra que o módulo de permeação pode ser utilizado sucessivas vezes, contribuindo para a redução dos custos operacionais.

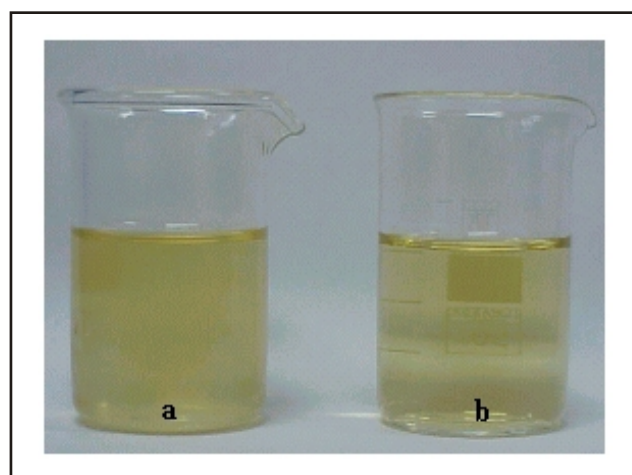
### 3.5 - Análise da eficiência do processo

A eficiência do processo de microfiltração na clarificação da cerveja maturada foi avaliada em termos da permeabilidade e do fluxo permeado, em condições de regime estabelecido, assim como pelo volume de permeado recuperado, pela redução da turbidez e na cor, e por análises microbiológicas qualitativas na cerveja microfiltrada. Os valores de permeabilidade e fluxo permeado estão reunidos na Tabela 1.

Segundo GAN (2001), fluxos permeados em regime permanente, entre 10 e 100 L/hm<sup>2</sup> tornam o processo de microfiltração economicamente viável. De acordo com os resultados apresentados na Tabela 1, os fluxos permeados ficaram entre 14 e 20 L/hm<sup>2</sup>, independente do modo utilizado para remoção do permeado, e se enquadra na faixa estabelecida.

Os valores de redução da turbidez e cor da cerveja

**Figura 11** Cerveja Pilsen. (a) Cerveja maturada; (b) Cerveja clarificada por microfiltração.



**Tabela 1** Valores de permeabilidade e fluxo permeado em condições de regime estabelecido. Módulo de permeação com densidade de empacotamento de 1.500 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>. Pressão de operação = 0,3 bar

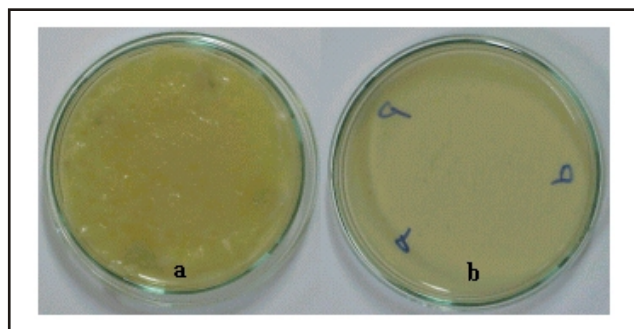
MODO DE RETIRADA DO PERMEADO	VELOCIDADE TANGENCIAL (m/s)	TEMPERATURA (°C)	FLUXO PERMEADO (L/h.m <sup>2</sup> )	PERMEABILIDADE (L/h.m <sup>2</sup> .bar)
P>0	0,38	2,7	14	46,7
P<0	0,38	3	15	50,0
P>0	0,5	4	20	66,7

microfiltrada ficaram em torno de 98 e 25%, respectivamente. Segundo a European Brewery Convention (EBC), os valores de turbidez adequados ao mercado estão abaixo de 0,8 EBC, caracterizada por uma cerveja limpa e brilhante, ANTUNES (2004). A filtração convencional, utilizando filtros com terra diatomácea, resultam em valores de turbidez de 0,8 EBC. Valores menores somente são obtidos através de filtros auxiliares. A Figura 11 mostra a fotografia da cerveja Pilsen antes e após a microfiltração.

Os melhores valores de permeabilidade obtidos foram de 66,7 L/h.m<sup>2</sup>.bar. Trabalhos publicados por BURRELL (1994) e GAN (2001), utilizando membrana cerâmica com diâmetro de poro de 0,5 µm e área de permeação de 0,15 e 0,096 m<sup>2</sup>, apresentaram permeabilidades de 7,7 e 53,4 L/h.m<sup>2</sup>.bar, respectivamente. Os resultados obtidos a partir da Figura 9 mostra que foi possível atingir um volume de permeado recuperado foi da ordem de 87%, utilizando remoção do permeado por pressurização da alimentação. Este valor foi alcançado em uma batelada de apenas 180 minutos. Valores superiores para a recuperação do permeado não puderam ser obtidos devido a limitações experimentais do sistema de microfiltração.

Para as análises microbiológicas da cerveja microfiltrada, foram retiradas amostras do sistema de microfiltração após 120 minutos do início dos ensaios. O resultado das análises indicou uma acentuada redução da carga microbiológica presente na cerveja maturada. Apenas uma quantidade ínfima de microrganismos foi detectada na cerveja microfiltrada (Figura 12).

**Figura 12** Análise microbiológica. (a) cerveja maturada, (b) cerveja microfiltrada.



#### 4 CONCLUSÕES

A investigação da microfiltração de cerveja maturada tipo Pilsen em módulos de fibras ocas produzidos em laboratório mostrou resultados promissores. Para os testes de até 180 minutos de processamento, é possível recuperar até 87% da alimentação, obtendo-se um produto com propriedades de cor e turbidez compatíveis com os padrões EBC.

O emprego de maiores velocidades tangenciais de

circulação da alimentação nos módulos e uma limpeza periódica levam a maiores fluxos permeados com provável redução de incrustações reversíveis. A operação variando o modo de retirada do permeado (a pressão atmosférica, ou succionado), mantendo diferenças de pressão idênticas, não registrou diferenças sensíveis no desempenho do sistema de microfiltração. A limpeza levou a recuperação do fluxo inicial de água.

Diante do que foi exposto é possível concluir que o emprego de membranas de fibra oca é tecnicamente viável para a aplicação na indústria cervejeira.

#### 5 BIBLIOGRAFIA

- ANTUNES, J.G, Comunicação pessoal SENAI (2004)
- BLANPAIN, P., HERMIA, J., LALANDE, M. Mechanisms governing permeate flux and protein rejection in the microfiltration of beer with a cyclopore membrane. *J. Membrane Sci*, n. 84, p. 37-51, 1993.
- BRIGANTE, A.A., LOTTICI, L.F., GONÇALVES, M.G., TOLEDO, A.T. Seminário de treinamento na função para profissionais de laboratório físico-química cervejas/refrigerantes. Brahma/Skol. 1997.
- BURRELL, K.J. REED, R.J.R. Crossflow microfiltration of beer: Laboratory-Scale studies on the effect of pore size. *Filtration & Separation*. p. 399-405, 1994.
- CANCELLARA, W.R. Introdução à filtração de cervejas. *Meio Filtrante*. n. 10, p. 18-23, 2004.
- CHERYAN, M., ALVAREZ, J.R. Food and beverage industry application. In: NOBLE, R.D., STERN, S. A. (Ed). *Membrane Separations Technology. Principles and Applications*. Elsevier Science. 1995.
- CZEKAJ, P., LÓPEZ, F., GÜELL, C. Membrane fouling during microfiltration of fermented beverages. *J. Membrane Sci*, n. 166, p. 199-212, 2000.
- FARIA, L. F., DI LUCCIO, M., NOBREGA, R., BORGES, C.P. Development and Characterization of Microfiltration Hollow-Fiber Modules for Sterilization of Fermentation Media. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*. v. 19, n. 2, p. 141-150. 2002.
- FILLAUDEAU, L., CARRÈRE, H. Yeast cells. Beer composition and mean pore diameter impacts on fouling and retention during cross-flow filtration of beer with ceramic membranes. *J. Membrane Sci*, n. 196, p. 39-57, 2002.
- GAN, Q., HOWELL, R. W., ENGLAND, R., BIRD, M. R., MEKECHINE, M. T. Synergetic cleaning procedure for a ceramic membrane fouled by beer microfiltration. *J. Membrane Sci*, n. 155, p. 277-289, 1999.
- GAN, Q., HOWELL, R. W., ENGLAND, R., BIRD, M. R., O'SHAUGHNESSY, C.L., MEKECHINE, M. T. Beer clarification by microfiltration product quality control and fractionation of particles and macromolecules. *J. Membrane Sci*, n. 194, p. 185-196, 2001.
- JORGE, K. Estabilidade sensorial e físico-química da cerveja: Importância das matérias primas, processo e



manipulação do produto final. Dissertação de Mestrado Instituto de Química, UFRJ, 2003, 211 p.

LAUX, S. Fabricação de Cerveja. Companhia Cervejaria Brahma, 1996.

REED, R. Current and future roles of membrane in brewing. *Membrane Technology*. v. 1998, n. 101, p. 5-8, 1998.

TAYLOR, M., FARADAY, D.B.F., O'SHAUGHNESSY, C.L., UNDERWOOD, B.O., REED, R.J.R. Quantitative determination of fouling layer composition in the microfiltration beer. *Separation and Purification technology*. n. 22-23, p. 133-142, 2001.

VAN DER HORST, H.C., HANEMAAIJER, J.H. Cross-flow microfiltration in the food industry. *State of the art. Desalination*. n. 77, p. 235-258, 1990.

Standard Methods of Analysis ASBC; 8<sup>o</sup> Edition, (1996-2000).

## 6. AGRADECIMENTOS

Um dos autores (L.S.Franca Neta) é grato ao CNPq pela concessão da bolsa de pesquisa.