

ESTUDO DO COMPORTAMENTO DE MEMBRANAS PARA OBTENÇÃO DE LEITE DE OVELHA ULTRAFILTRADO EM ESCALA LABORATORIAL E PILOTO

Jéssica Carla Racoski, Universidade Regional Integrada - E-mail: jessicaracoski@hotmail.com

Andréia Maria Faion, Universidade Regional Integrada - E-mail: andreiafaion@hotmail.com

Clarice Steffens, Universidade Regional Integrada - E-mail: clarices@uricer.edu.br

Eunice Valduga, Universidade Regional Integrada - E-mail: veunice@uricer.edu.br

Juliana Steffens, Universidade Regional Integrada - E-mail: julisteffens@uricer.edu.br

Resumo: Este trabalho teve como objetivo estudar o comportamento de membranas para obtenção de concentrado de leite de ovelha semidesnatado em escalas laboratorial e piloto. Na escala laboratorial utilizando membrana de polietersulfona plana de 100 kDa, foram realizados ensaios utilizando água e leite a 25, 30 e 35 °C e pressões de 1, 2 e 3 Bar. Os volumes de permeado de água e de leite de ovelha foram avaliados e obtidos os fluxos de permeado (5 a 12 L/m²h). Os resultados demonstraram que a maior pressão proporcionou um fluxo maior de permeado em todas as temperaturas estudadas para a água e leite, assim as diferentes temperaturas não influenciaram na permeação. Obteve-se um valor 1,83x10¹² e 1,41x10¹³ m⁻¹ de resistência da membrana, utilizando água e leite, respectivamente. Portanto utilizando leite, a resistência da membrana foi 7 vezes maior que a água, mostrando que com o leite a passagem pela membrana é dificultada devido aos sólidos presentes. Na unidade piloto utilizando membrana de fibra oca de polisulfona amida de 10 kDa o sistema foi operado na temperatura de 25°C e 1-3 Bar de pressão. O melhor fluxo de permeado foi encontrado com 2 Bar. A resistência da membrana da água foi de 1,38x10¹² m⁻¹ e para o leite 1,32x10²³ m⁻¹.

Palavras-chave: Leite de ovelha semidesnatado; Ultrafiltração; Escala de laboratório; Escala piloto; Fluxos de permeado.

STUDY OF MEMBRANES BEHAVIOR TO OBTAIN ULTRAFILTRATE SHEEP MILK IN LABORATORY AND PILOT SCALE

Abstract: This work aimed to study the behavior of membranes to obtain concentrated semi skimmed sheep's milk in laboratory and pilot scales. In laboratory scale with planar membrane of polyethersulfone 100 kDa were conducted experiments using milk and water at 25, 30 and 35° C and pressure of 1, 2 and 3 bar. The volume of water and sheep's milk permeated were evaluated and permeate flux obtained (5 a 12 L/m²h). The results showed that the higher pressure gave a higher permeate flux at all temperatures studied for water and milk, thus the different temperatures don't have affected the permeation. Was obtained a value 1.83 x 10¹² and 1.41 x 10¹³ m⁻¹ of membrane resistance using water and milk, respectively. Therefore using milk, the membrane resistance was 7 times higher than water, indicating that the passage with the milk through the membrane is hampered due to the solids present. In the pilot plant using the hollow fiber membrane of polysulfone amide 10 kDa the system was operated at a temperature of 25 °C and pressure of 1- 3 bar. The best permeate flux was found with 2 Bar. It was found that the water resistance of the membrane was 1.38 x 10¹² m⁻¹ and the milk 1.32 x10²³ m⁻¹.

Keywords: Semi skimmed sheep's milk; Ultrafiltration; Laboratory scale; Pilot scale; Permeate flow.

1. INTRODUÇÃO

O leite de ovelha in natura é uma fonte essencial de cálcio, vitaminas A, B e E e de proteína de alta qualidade nas regiões mais áridas do mundo. Assim, nos países desenvolvidos o leite de pequenos ruminantes é proporcionalmente mais processado em queijos e iogurtes que o leite de vaca (HAENLEIN, 2004). Estes produtos podem se constituir em alternativa viável para substituir o leite bovino devido ao seu sabor específico, tipicidade e sua imagem natural e saudável (RAYNAL-LJUTOVAC et al., 2008).

Devido a todos estes benefícios e qualidades do leite de ovelha, observa-se uma grande oportunidade para o desenvolvimento de novos produtos e agregar valor aos mesmos. Uma alternativa é a concentração desse leite utilizando membranas como barreiras seletivas.

A ultrafiltração (UF) tem sido o processo mais utilizado para separar a fração proteica da fração rica em lactose, sendo a primeira retida pelas membranas de UF, enquanto que a segunda permeia através das membranas, constituindo o permeado (YEE et al., 2007, MULDER, 1996), também podendo ser utilizada para concentrar proteínas de soro de queijo, assim como do próprio leite (GEA FILTRATION, 2012). O transporte de massa através da membrana pode ser efetuado por difusão e/ou convecção, induzido por ação de forças motrizes, como por exemplo, gradientes de pressão, de temperatura, de concentração ou de potencial eléctrico (AFONSO; PINHO, 1998; DAUFIN et al., 1998; AFONSO; PINHO, 2000; Chollagi, 2009). A corrente de alimentação ao passar através do módulo da membrana é decomposta em duas outras correntes: o retentado ou concentrado, que é a fracção retida pela membrana e o permeado, que é a fracção que permeia preferencialmente através da membrana (CATARINO et al., 2013).

De certa forma o processamento por membranas do leite líquido atua como um resultado dos componentes específicos do leite, sem transmissão da troca de fase com a adição de calor. O leite é modificado pela separação, clarificação ou fracionamento, utilizando as diferenças dos pesos moleculares relativos e medidas de poro das membranas (GEA FILTRATION, 2012). Embora a nível mundial, a utilização de tecnologias de membranas pela indústria de lacticínios esteja bastante divulgada a utilização deste produto à escala industrial é quase inexistente.

Neste contexto o estudo do comportamento das membranas de UF aplicado para leite de ovelha se torna importante, pois ainda são escassos os estudos utilizando este processo em escala piloto. Assim o presente trabalho teve como objetivo principal o estudo do comportamento de membranas de UF para obtenção de concentrado de leite de ovelha semidesnatado em escalas laboratorial e piloto. A formatação deste documento permite identificar que entre uma seção e outra há uma linha em branco.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Foi utilizado como matéria-prima leite de ovelha pasteurizado e semidesnatado (1,3 % de gordura) obtido de uma Cooperativa de Chapecó-SC. A matéria-prima foi transportada em recipientes de plásticos de 1 L, resfriado a temperatura de 4 °C, para posteriormente ser utilizado para o processo de UF.

2.1. Condicionamento das membranas para escala laboratorial

Antes de iniciar os testes de UF em escala laboratorial, tanto com água como com leite de ovelha, as membranas precisaram ser condicionadas, devido à membrana ser enviada pelo fabricante no estado seco, para que a mesma não perdesse o fluxo permeado indicado pelos mesmos. Os solventes utilizados para o condicionamento das membranas antes das medidas de fluxos dos experimentos na unidade foram etanol (Vetec 99,8 %) e água milli-Q.

As membranas foram cortadas em discos planos, com área de 0,000962 m² de forma que coubessem exatamente no sistema. O condicionamento foi realizado por imersão das membranas em etanol por 12 h e em seguida por 2 h em imersão em água milli-Q. A membrana era de polietersulfona de 100 kDa.

2.2. Obtenção de concentrado de leite de ovelha em escala laboratorial

Os experimentos para obtenção concentrado de leite de ovelha foram realizados na Usina Piloto de leite e derivados, localizada na URI-Erechim. A unidade era composta por um banho ultratermostato (Servilab, SE- 100AG) utilizado para manter a temperatura constante do sistema, por meio do encamisamento do módulo da membrana, nas temperaturas definidas experimentalmente. A unidade também era constituída de um cilindro de nitrogênio (N_2 analítico 5.0- White Martins) de 25 Kg com a função de pressurizar o sistema, um agitador magnético (ARE Heating Magnetic Stirrer- Velp científica) e um módulo de separação com membrana (sistema em batelada com volume de 200 mL, de aço, dividido em 3 peças: parte inferior, central e parte superior). A parte inferior da unidade era composta por suporte perfurado para a membrana, o qual era fechado com a parte superior (anel de vedação com uma conexão para fazer a alimentação do sistema com o gás N_2). Um esquema do módulo é mostrado na Figura 1.

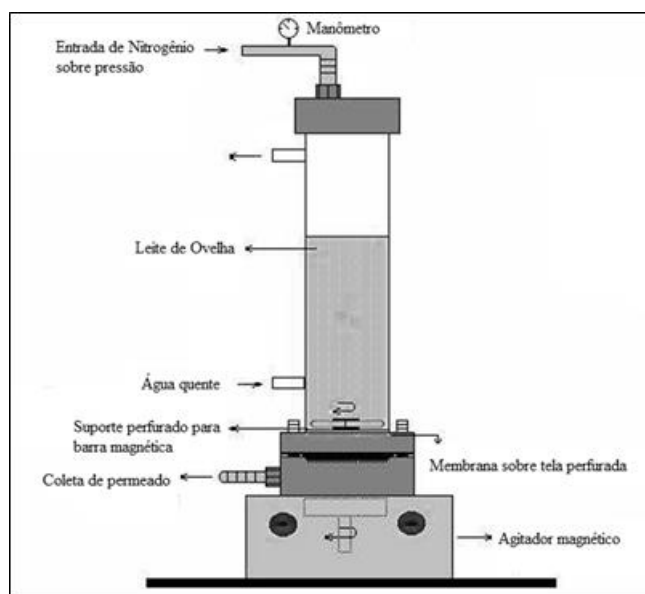


Figura 1- Esquema do módulo com membrana da escala de laboratório.

Para verificar o fluxo de permeado de água pela membrana, foram realizados testes adicionando 200 mL de água milli-Q, em diferentes temperaturas (25, 30 e 35 °C) e pressões (1, 2 e 3 Bar). Realizaram-se medidas de permeado de água a cada minuto durante 10 min. A cada teste o sistema era desmontado e higienizado.

Para os ensaios utilizando leite de ovelha semidesnatado seguiu-se os mesmos procedimentos realizados com água. No entanto a partir do momento que começava a permear, marcava-se um tempo de residência de 10 min, para estabilizar o sistema, e mediu-se o volume de permeado (mL) a cada 10 min, durante uma hora. Posteriormente, as membranas foram secas em estufa em temperatura de 50 °C por 30 min para evaporação do meio aquoso, dessa forma quantificou-se o extrato seco do depósito para posterior realizar o cálculo da resistência do depósito.

2.3.Obtenção de concentrado de leite de ovelha em Escala Piloto

O processo de UF do leite de ovelha foi realizado em uma unidade piloto (SENAI de Chapecó/SC), o qual era constituída de um módulo de fibra oca, contendo uma membrana de polissulfona amida. Um tanque de concentrado com capacidade de 50 L, um tanque de aquecimento, válvula de coleta de concentrado e uma bomba de alimentação com vazão 1,7 a

5,2 m³/h, pressão de 0,5 a 4 Bar. Para ensaios com água utilizou-se temperatura de 25 °C e pressões de 1, 2 e 3 Bar. Como os testes em escala de laboratório não mostraram diferenças entre os fluxos de leite nas diferentes temperaturas, optou-se por utilizar a menor temperatura, ou seja, 25 °C. Nos ensaios utilizando leite de ovelha semidesnatado, ensaios preliminares mostraram que o sistema não suportava pressão de 3 Bar. Portanto para otimização do processo foram estudadas as pressões de 1 e 2 Bar e a temperatura utilizada foi de 25 °C. Para cada batelada foram utilizados 25 L de leite. Antes e após cada etapa de ultrafiltração, a planta piloto foi higienizada de acordo com as instruções do fabricante.

Os experimentos de UF foram realizados em triplicata utilizando água e leite semidesnatado de ovelha (1,3 %). Para o ensaio com água foi medido volumetricamente o permeado a cada minuto, por 6 min até o esgotamento da água. Os permeados de leite foram medidos volumetricamente a cada minuto por 25 min, ou seja, até que não houvesse mais passagem de permeado.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Avaliação do fluxo de permeado de água em escala laboratorial

Nos experimentos de UF com água, o fluxo de água foi calculado pela vazão de permeado com relação à área da membrana. A Figura 2 demonstra os fluxos de permeado para água, podendo ser observado que ambos seguem a mesma tendência para as condições de operações avaliadas. O fluxo de 3 Bar apresentou maior fluxo inicial em todas as temperaturas estudadas, seguidas pelas pressões de 2 a 1 Bar. O fluxo de permeado em ambas temperaturas e pressões estudadas tendeu a zero, pois o sistema era de batelada, e portanto o volume contido no sistema se esgotava.

A utilização da pressão, em processos utilizando membranas resulta em uma maior taxa convectiva de transporte de soluto para a superfície da membrana, aumentando a concentração do mesmo na interface o que vem a provocar um aumento da difusibilidade do solvente em sentido oposto ao qual a pressão do processo atua, diminuindo o fluxo de permeado, corroborando com os resultados obtidos por Porter (1990) e Catarino et al., 2013).

Tendo em vista que as membranas de UF apresentam uma distribuição de tamanho de poros elas podem reter de maneira distinta, solutos de pesos moleculares diferentes (HABERT et al., 1997). O Fluxo de permeado acumulado, ao operar com diferença de pressão constante, torna-se uma função do tempo, devido ao escoamento do mesmo acontecer através de duas resistências em série, assim, foi obtida uma equação de reta. Dessa forma, os fluxos de permeados de UF foram de 340 a 810 L/m²h para a água nos instantes iniciais do processo. Fluxos permeados bem menores podem ser obtidos em função do nível de polarização de concentração de depósito “fouling” a que fica submetida à membrana, em função da natureza da solução a ser tratada e das condições de operação do sistema (VEIGA; VIOTTO, 2001; CATARINO et al., 2013).

A Equação (1) indica fatores que influenciam a taxa de filtração:

$$J=(A \Delta P/32v).(1/(Rm+Rd)) \quad (1)$$

Onde J é o fluxo permeado (L/m²h), A é a área da membrana (m²), ΔP é a diferença de pressão através da membrana, v é a viscosidade cinemática do permeado (m²/s), Rm é a resistência da membrana, Rd é a resistência da camada de sólidos na membrana (camada de gel), devido à polarização de concentração e depósito. O fluxo do permeado é a variável crítica na determinação da eficiência do processo de UF, sendo a formação da camada de gel

polarizada o “fouling” a responsável pela redução da taxa de permeação da membrana (VEIGA; VIOTTO, 2001).

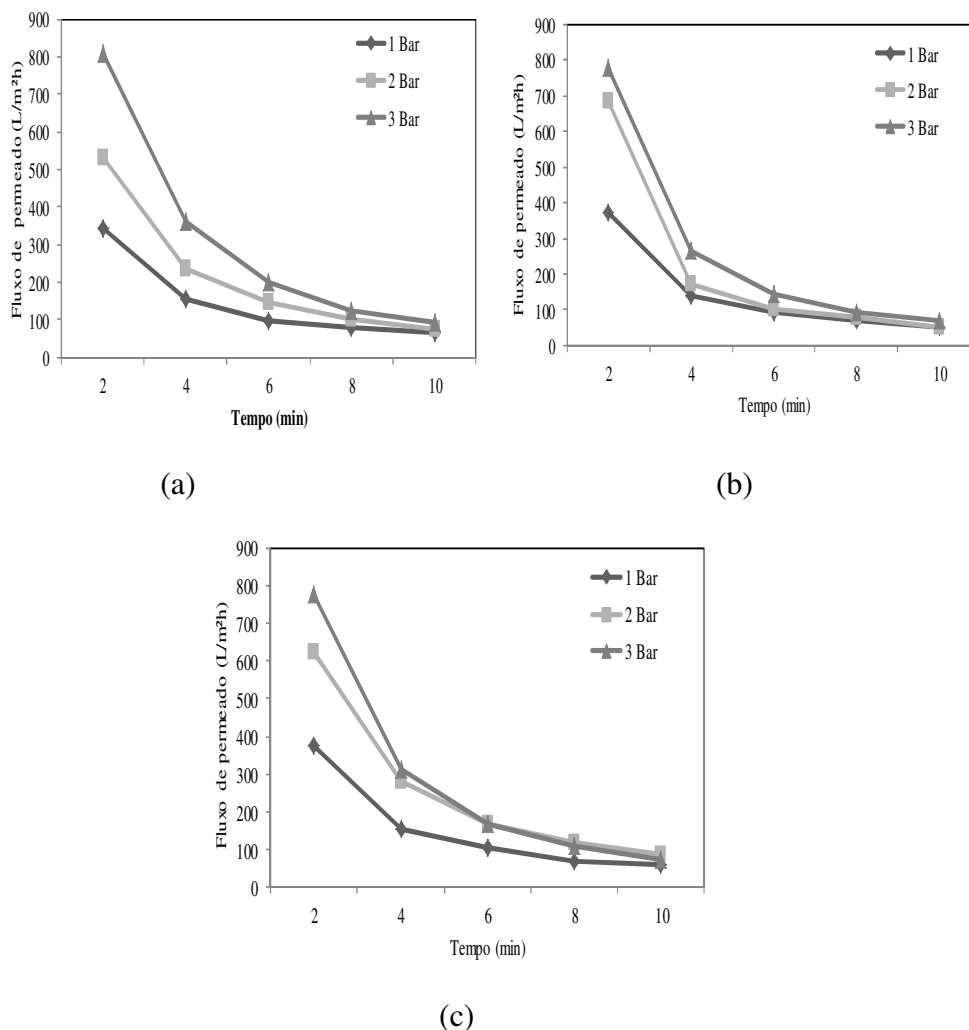


Figura 2 - Fluxo permeado de água com relação ao tempo, para membrana de UF plana de 100k Da nas pressões de 1, 2 e 3 Bar a) 25 °C, b) 30 °C e c) 35 °C.

A Equação binária da UF Equação (2), relaciona a vazão do permeado, J (m^3/s), com a perda de pressão através da membrana, ΔP (N/m^2); viscosidade do permeado, μ ($Kg/m.s$); resistência da membrana, R_m (m^{-1}), resistência da camada de sólidos na membrana, R_d e área de filtração A (m^2). A Equação (2) consiste em uma modificação da Equação (1) usada por Svarovsky (1981), onde na constante da Equação é incluída nas resistências, R_m e R_d .

$$J = A \Delta P / \mu (R_m + R_d) \tag{2}$$

Para obter parâmetros de UF da membrana, efetuou-se um ensaio de UF com água a temperatura de 25 °C com pressão de 2 Bar (que para posteriormente reproduzir em escala piloto esta é a mínima pressão do sistema), já que o comportamentos em outras condições foram similares e assim reduzindo o gasto energético. Para esta situação, a resistência do depósito (R_d) foi nula, pois não se forma depósito sobre a membrana ao passar água pura.

Então após o ensaio, em que a membrana permanecia disposta no interior do dispositivo de UF, quantificou-se o volume acumulado do permeado obtido por um tempo de 10 min. Na Figura 3 pode-se verificar que os pontos experimentais situam-se em torno de uma

linha reta, apresentando um coeficiente de correlação de 0,99, demonstrando que não houve mudança da resistência da membrana com o tempo.

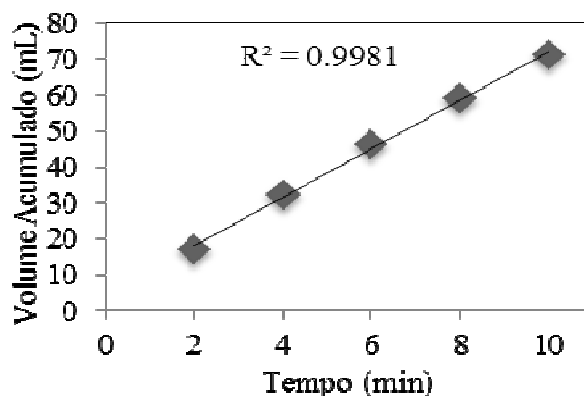


Figura 3 - Volume acumulado em função do tempo para a membrana plana de 100 kDa com água a temperatura de 25 °C.

Substituindo $J=dV/dt$ da Equação 2 e integrando, tem-se:

$$V=(A \Delta P)/(\mu(R_m+R_d)) \quad (3)$$

Os dados experimentais foram correlacionados utilizando os métodos dos mínimos quadrados, obtendo-se a Equação (4):

$$y = 6,75x + 4,5 \quad (4)$$

O tempo linear desta Equação não possui significado físico e o mesmo é proveniente de ajuste estatístico. Caso se forçasse a reta a passar pelo ponto zero o coeficiente angular da reta não varia apreciavelmente e não modificaria a resistência da membrana.

Então, comparando com a Equação (3), tem-se:

$$(A \cdot \Delta P)/(\mu \cdot R_m) = 6,75 \quad (5)$$

Usando os valores conhecidos de A , ΔP e, pode-se calcular a resistência da membrana de UF. A área da membrana de UF consistiu em $0,000962 \text{ m}^2$, pressão de 2 Bar, a temperatura de 25 °C a viscosidade da água é de 0,65 cP ($0,65 \times 10^{-3} \text{ kg/m.s}$), obtendo-se assim uma resistência de $1,83 \times 10^{12} \text{ m}^{-1}$ para a membrana de UF utilizada. Segundo Steffens (2003) este valor de resistência da membrana é um valor considerado normal para membrana quando operada com água, pois a autora encontrou valor de $1,78 \times 10^{12}$, muito próximo ao encontrado neste trabalho.

3.2. Ultrafiltração com leite de ovelha em escala laboratorial

Foram processados 200 mL de leite de ovelha semidesnatado, operado nas mesmas condições de pressão e temperaturas realizadas com a água e os dados de fluxo de permeado de leite com o tempo são apresentados na Figura 4.

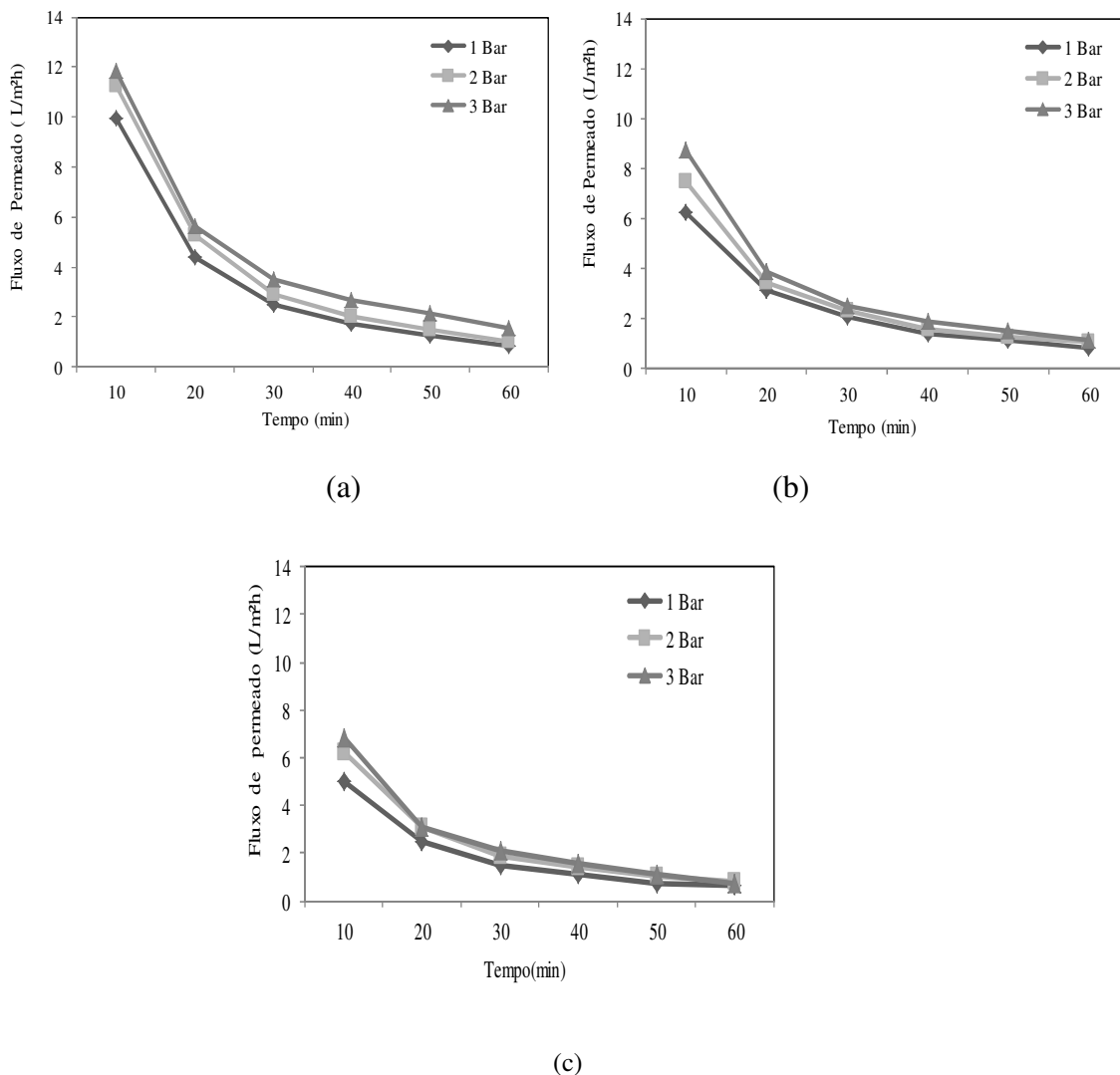


Figura 4 - Fluxo de permeado com leite de ovelha com relação ao tempo, para membrana de UF plana de 100 kDa nas pressões 1, 2 e 3 bar e temperaturas de a) 35 °C, b) 30 °C e c) 25 °C.

Pode-se observar na Figura 4, que as diferentes temperaturas (25, 30 e 35 °C) aplicadas ao sistema de UF em diferentes pressões apresentaram resultados semelhantes para o fluxo de permeado, que se mostrou entorno de 5 a 12 L/m²h. Isto indica que não se faz necessário o aumento de temperatura para obter maiores fluxos. Pode-se verificar também que com a elevação da pressão não houve influencia nos fluxos de permeado. De acordo com Di Luccio et al. (2000) o aumento da pressão provoca um aumento no fluxo de permeado, entretanto, neste trabalho não foi observado esta tendência de forma expressiva.

Yunos e Field (2008) enfatizam que a utilização de uma pressão e temperaturas mais baixas na UF de leite minimiza a desnaturação ou a degradação de produtos biológicos altamente lábeis, o que justifica o uso de temperaturas e pressões mais brandas. Comparando-se os fluxos de água (Figura 2) com os dos fluxos de leite (Figura 4), verifica-se que os fluxos de leite são muito menores que os fluxos de água, indicando que o leite apresenta mais dificuldades para atravessar a membrana do que água, devido aos sólidos presentes em sua constituição.

Desse modo, como os testes de leite foram realizados de forma semelhante á água (temperaturas e as pressões), então para obtenção da resistência da membrana utilizando leite,

foi obtido do fluxo permeado nas condições de 25 °C e pressão de 2 Bar, na mesma condição da resistência da água. Os dados de tempo/ volume de acumulado de permeado de leite (t/V) em função do volume de acumulado de permeado são mostrados na Figura 5, onde foi obtido um coeficiente de correlação de 0,98.

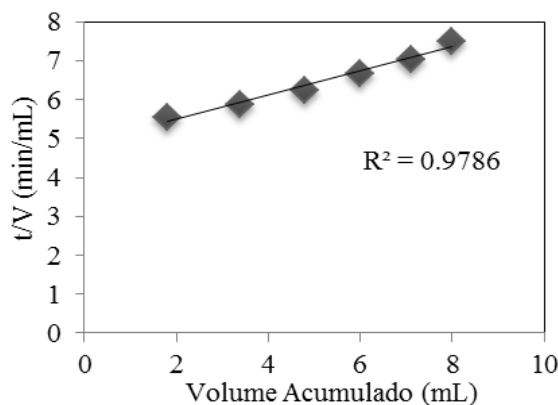


Figura 5 - Relação de t/V com o volume acumulado de UF com leite de ovelha, para membrana de ultrafiltração plana de 100 kDa.

Da Figura 5, obteve-se a Equação 6:

$$t/V = 0,31 V + 4,876 \quad (6)$$

Então, comparando com a Equação (5), tem-se:

$$A \cdot \Delta P / \mu \cdot R_m = 0,31(A \cdot \Delta P) / (\mu \cdot R_m) = 7,0714 \quad (7)$$

Para o cálculo da Resistência da membrana com leite utilizou-se a área da membrana de 0,000962 m², a pressão de 200000 Pa (equivalente a 2 Bar), a temperatura de 25 °C a viscosidade do leite de ovelha utilizada foi de 2,64 (2,64 x 10⁻³ kg/m.s), obtida por Fava (2012), sendo que o valor de 0,31 é dado em mL/min. Utilizou-se o valor da viscosidade do leite de ovelha integral, pois não foi possível obter o valor do leite semidesnatado, onde obteve-se um valor da resistência da membrana de 1,41 x 10¹³ m⁻¹.

A resistência do meio de UF utilizando leite apresentou um valor cerca de 7 vezes superior a obtida na ultrafiltração da água, valor semelhante ao obtido por Steffens (2003), o qual foi de 2,4x10¹³. Isto, provavelmente, reflete a influência sólidos presentes no leite, interferindo no escoamento da mesma, ou seja, dificultando seu escoamento. Para o cálculo da resistência do depósito da membrana utilizou-se a Equação 8:

$$R_d = (0,312 A^2 W \Delta P) / (\mu C_s) \quad (8)$$

Onde W e C_s são a massa de depósito e a concentração de sólidos após a UF, respectivamente. W foi quantificado em 5,2 x 10⁻³ kg, assim avaliando a área da membrana, obteve-se uma massa de depósito de 5,405 kg/m² e a concentração de sólidos no leite após a UF foi de 95 kg/m³. Portanto obtendo-se uma resistência de depósito sobre a membrana de 2,7 x 10¹⁰ m⁻¹.

Assim, a resistência do depósito variou de zero (no início do processo) até 2,7 x 10¹⁰ m⁻¹, após ocorrer a polarização da membrana. A polarização pode ocorrer devido à adsorção de suspensão (finos de caseína), matéria gorda (fosfolípidos), produtos resultantes da proteólise da caseína k (caseinomacropéptidos), micro-organismos e caseínas solúveis na superfície das membranas (Pouliot; Jelen, 1995), promovendo a formação de um gel na

camada de polarização ou provocarem o bloqueamento dos poros (Pouliot; Jelen, 1995). Segundo Daufin; Merin (1995) e Cheryan (1998) a polarização da membrana é responsável pela diminuição do fluxo de permeação, que se observa quer ao nível laboratorial, quer a nível industrial. Comparando os valores das resistências (R_m e R_d), a resistência da membrana é que domina o processo. No decorrer da UF o volume de permeado, reduziu-se gradativamente com o tempo, devido à polarização e a resistência da membrana.

3.3. Avaliação do fluxo de permeado de água em escala piloto

A Figura 6 apresenta o fluxo de permeado de água com a membrana de UF (fibra oca de 10 kDa), a temperatura de 25 °C, em diferentes pressões (1, 2 e 3 Bar) realizado em escala piloto.

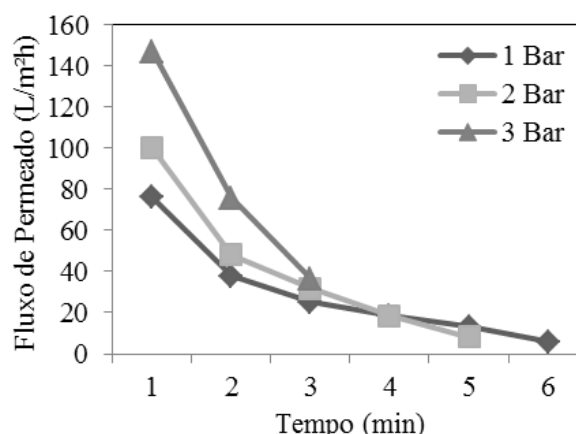


Figura 6 - Fluxo permeado de água em relação ao tempo, para a membrana de ultrafiltração fibra oca de 10 kDa nas pressões de 1, 2 e 3 Bar.

Como pode ser observado na Figura 6 o fluxo permeado para água segue uma tendência de diminuição de permeado com a diminuição da pressão. Pode-se verificar que os fluxos tenderam a zero, pois o sistema era contínuo, com alimentação inicial fixa de 25 L e portanto o volume contido no sistema se esgotava. O ensaio utilizando a pressão de 3 Bar não pôde ser concluído pois o sistema começava a saltitar, não suportando esta pressão.

Para obter parâmetros de UF da membrana, efetuou-se um ensaio de UF com água a temperatura de 25 °C com pressão de 2 Bar, já que os comportamentos em outras condições foram similares, mas apresentava um fluxo inicial maior do que a pressão de 1 Bar. Para esta situação, a resistência do depósito (R_d) foi nula, pois não se forma depósito sobre a membrana ao passar água pura.

Então para o cálculo da resistência da membrana efetuou-se novamente um novo ensaio nas condições de 25 °C e 2 Bar e quantificou-se o volume do permeado obtido. Na Figura 7, mostram-se os valores de volume de acumulado de permeado de água com relação ao tempo e verifica-se que os pontos experimentais situam-se em torno de uma linha reta, apresentando um coeficiente de correlação de 0,96.

Calculou-se a resistência da membrana de fibra oca para água, utilizando a mesma metodologia utilizada na escala de laboratório para a membrana plana. No entanto, foi utilizado área de 4,4 m², pressão de 2 Bar, a temperatura de 25 °C e a viscosidade da água é de 0,65 cP ($0,65 \times 10^{-3}$ kg/m.s), obtendo-se uma resistência de $1,38 \times 10^{12}$ m⁻¹.

A ordem de grandeza da membrana de ultrafiltração de fibra oca é semelhante a membrana da escala de laboratório, indicando que com relação a passagem da água os dois sistemas (laboratorial e piloto) comportam-se de forma semelhante.

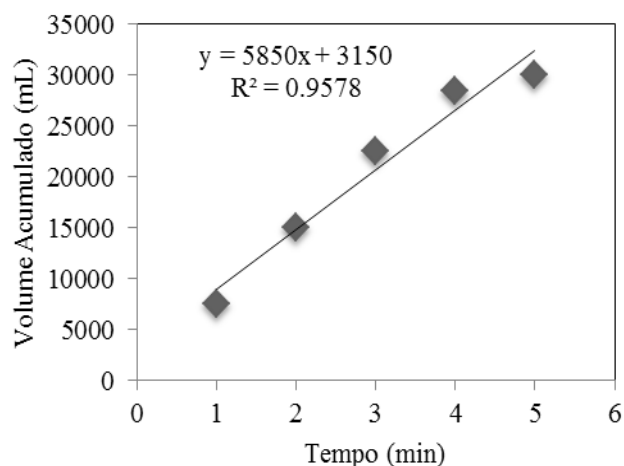


Figura 7 - Volume acumulado de UF de água para a membrana de fibra oca 10 kDa com relação ao tempo.

3.4. Ultrafiltração de leite de ovelha em escala piloto

Foram processados 25 L de leite de ovelha semidesnatado, operado nas condições de pressão (1 e 2 Bar) e temperatura (25 °C). Pode-se verificar na Figura 8 que os fluxos de permeado para o leite foram semelhantes para as duas pressões. O fluxo diminuiu com o tempo devido a dificuldade do leite de ovelha semidesnatado atravessar a membrana. Também, verifica-se que os fluxos do leite foram bem menores quando comparado aos da água, isso ocorre, pois o leite apresenta um maior conteúdo de sólidos, assim dificultando a permeação.

Devido não haver diferença entre os fluxos de leite nas duas pressões utilizadas, optou-se por efetuar um ensaio na pressão de 2 Bar, pois foi a que apresentou melhor condição quanto operada com água e também por apresentar um menor tempo de concentração.

Pode-se verificar que o fluxo do leite utilizando 2 Bar e temperatura de 25 °C, é bem menor que o fluxo com água na mesma pressão, indicando novamente que o leite tem maior dificuldade em passar pela membrana devido ao “fouling” da membrana (Zydney; Ho, 2002; Van der Horst, 1995).

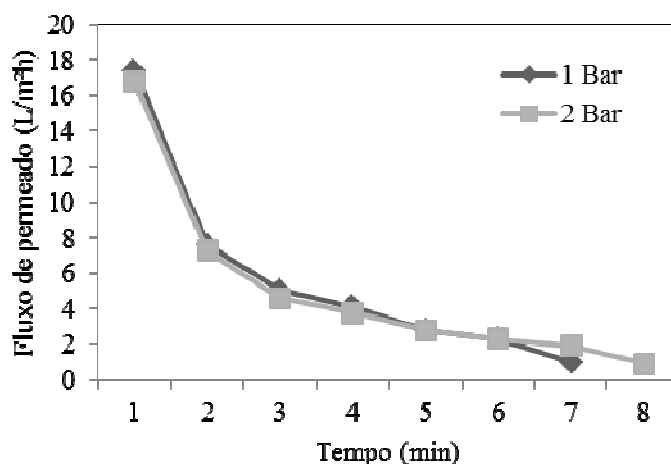


Figura 8 - Fluxo permeado de leite de ovelha, com relação ao tempo, para a membrana de ultrafiltração fibra oca de 10 kDa, nas pressão de 1 e 2 Bar.

Com o volume do permeado obtido com o tempo, e fazendo-se t/V , os dados são mostrados na Figura 9, onde se verifica que os pontos experimentais situam-se em torno de uma linha reta, apresentando um coeficiente de correlação de 0,96.

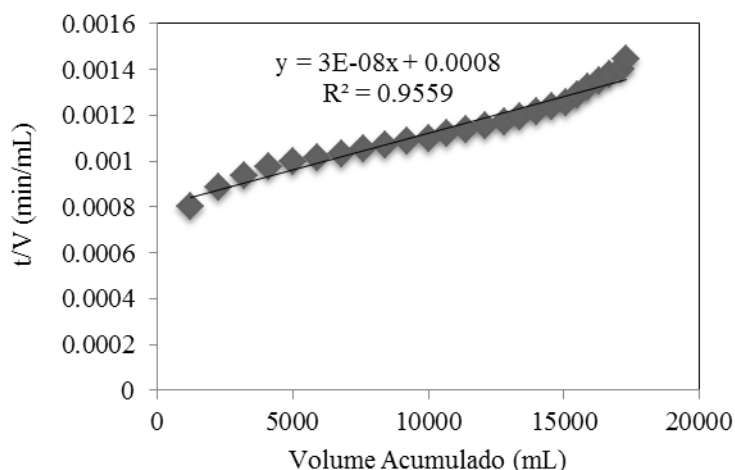


Figura 9 - Relação de t/v com o volume acumulado de ultrafiltração com leite de ovelha, com relação ao tempo, para membrana de fibra oca 10 kDa.

Utilizando-se uma área da membrana de $4,4 \text{ m}^2$, pressão de 2 Bar, a temperatura de $25 \text{ }^\circ\text{C}$ a viscosidade o leite de ovelha é de $2,64 \text{ cP}$ ($2,64 \times 10^{-3} \text{ kg/m.s}$), obteve-se uma resistência da membrana de $1,32 \times 10^{23} \text{ m}^{-1}$.

A resistência do meio de UF apresentou um valor muito superior a obtida na UF da água. Isto, provavelmente, reflete grande dificuldade do leite para atravessar a membrana. A resistência do depósito neste sistema piloto não foi calculada, pois não há possibilidade de fazer a medida da quantidade de sólidos depositados sobre a membrana, pois não era possível mensurar as perdas do leite que permaneciam na linha do sistema.

Com relação à escala piloto verificou-se que a UF de leite de ovelha semidesnatado foi efetiva, comparada com a escala laboratorial, pois a área na escala piloto é 4500 vezes maior. Desta forma, este sistema poderia ser utilizado para obter concentrados de leite de ovelha

semidesnatado e elaboração de derivados deste leite, sendo que este processo é ainda pouco estudado para leite de ovelha. A elaboração de produtos com o leite concentrado proporcionaria incremento no rendimento, além de produtos com nutrição diferenciada.

4. CONCLUSÕES

Pode-se verificar que o fluxo de permeado de água com pressão de 3 Bar em ambas as temperaturas apresentou maior fluxo inicial, seguidas pelas pressões de 2 a 1 Bar em escala laboratorial. Comparando-se os fluxos de água com os fluxos de leite de ovelha semidesnatado, verificou-se que os fluxos de leite são muito menores que os fluxos de água, indicando que o leite apresenta mais dificuldades para atravessar a membrana do que água, devido aos sólidos presentes em sua constituição. A temperatura não influenciou nos fluxos de permeado de água e do leite. A resistência do meio de UF utilizando leite apresentou um valor cerca de 7 vezes superior a obtida na UF da água, refletindo a presença de sólidos que estão presentes no leite. A resistência do meio de UF apresentou um valor muito superior a obtida na UF da água. A UF de leite de ovelha semidesnatado foi efetiva, comparada com a escala laboratorial, pois a área na escala piloto é 4500 vezes maior. Este resultado realça o interesse da produção de concentrados de leite de ovelha semidesnatado para valorização e agregação de valor ao produto podendo ser elaborados de derivados deste leite, o qual proporcionaria incremento no rendimento, além de produtos com nutrição diferenciada.

REFERÊNCIAS

AFONSO, M. D.; PINHO, M. N. *Mass transfer modeling for salt transport in amphoteric nanofiltration membranes.* Journal of Industrial & Engineering Chemistry Research, Washington, Vol. 37, n.10, p.4118-4127, 1998.

AFONSO, M. D.; PINHO, M. N. Transport of $MgSO_4$, $MgCl_2$, and Na_2SO_4 across an amphoteric nanofiltration membrane. *Journal of Membrane Science*, Westlake, Vol. 179, p.137-154, 2000.

CATARINO, A.; MARTINS A. P. L.; DUARTE E.; SCHWINDEN PRUDÊNCIO, E.; PINHO, M. N. *Rennet coagulation of sheep milk processed by ultrafiltration at low concentrations factors,* Journal of Food Engineering, Vol. 114, p. 249–254, 2013.

CHERYAN, M. *Ultrafiltration and microfiltration handbook*, 2nd Edition. CRC Press, United States of America, 1998, 527p.

CHOLLAGI, A. *Comparison of two ultrafiltration membrane systems for whole milk feta cheese production, 2009, 142p, Thesis of Master degree in Food Technogy,* MasseyUniversity, 2009.

DAUFIN, G.; MERIN, U. *Fouling of inorganic membranes in filtration processes of dairy products, In: "Fouling and cleaning in pressure driven membrane processes".* International Dairy Federation, Special Issue, Brussels, Vol. 9504, p.53-70, 1995.

DAUFIN, G.; RENÉ, F.; AIMAR, P. *Les separations par membrane dans les procédés de l'industrie alimentaire.* Collection Sciences et Techniques Agroalimentaires, Paris, 1998, 616p.

FAVA, L.W. *Caracterização físico-química do leite de ovelhas da raça Lacaune e análise do rendimento de coalhada com Caracterização física do soro.* 2012, 73p. Dissertação

(Mestrado em Ciência Veterinária) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, 2012.

GEA FILTRATION, *Filtração por Membrana*. Empresa Gea Aktiengesellschaft. Gea Navigator. Disponível em:

http://www.geafiltration.com/portuguese/mercados_aplicacoes/alimentos_e_bebidas.htm.

Acesso em: 15 Ago. 2012.

HABERT, A. C.; BORGES, C. P.; NOBREGA, R. *Processos de Separação com Membranas*. Rio de Janeiro, COPPE/UFRJ, 1997, 180p.

HAENLEIN, G. F. W. Goat milk in human nutrition. **Small Ruminant Research**, Philadelphia, v.51, n.1, p.155-163, 2004.

MULDER, M. *Basic Principles of Membrane Technology*, 2nd ed. Kluwer Academic Publishers, Netherlands, 1996, 372 p.

PORTER, M.C. *Handbook of industrial membrane technology*. Reprint Edition. Noyes Publications. New Jersey, USA, 1990, 604 p.

POULIOT, Y.; JELEN, P. *Pretreatments of dairy fluids to minimize long-term membrane fouling*. In "Fouling and cleaning in pressure driven membrane processes". International Dairy Federation ed., Special issue, Vol. 9504, p.80-92, 1995.

RAYNAL-LJUTOVAC, K.; LAGRIFFOUL, G.; PACCARD, P. ; GUILLET, I.; CHILLIARD Y. *Composition of goat and sheep milk products: an update*. Small Ruminant Research, Philadelphia, Vol.79, n.1, p.57-72, 2008.

STEFFENS, J. *Estudo reológico do queijo tipoprato proveniente de leite de diversas concentrações*. 2003, 106 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2003.

VAN DER HORST, H. C. *Fouling of organic membranes during processing of dairy liquids*. In: "Fouling and cleaning in pressure driven membrane processes", International Dairy Federation ed., Special Issue, Vol. 9504, p.36-52, 1995.

YEE, K. W. K.; WILEY, D. E.; BAO J. *Whey Protein Concentrate Production By Continuous Ultrafiltration: Operability Under Constant Operating Conditions*. Journal of Membrane Science, Westlake, Vol. 290, p.125-137, 2007.

ZYDNEY, A. L.; HO, C. *Scale-up of microfiltration systems: fouling phenomena and $V_{m\acute{a}x}$ analysis*. Desalination, Vol. 146, p.75-81, 2002.