



## ESTUDO DA INFLUÊNCIA DO PESO MOLECULAR DE CORTE E DA GEOMETRIA DA MALHA DE ESPAÇADOR NA CONCENTRAÇÃO DO SORO DE QUEIJO ÁCIDO POR ULTRAFILTRAÇÃO

Keiko Wada, Isabel C. Tessaro E Eduardo G.F. Ferreira  
Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
90040-040, Porto Alegre-RS-Brazil  
Phone: +55 513163953, FAX:+55 513163277, E-mail: isabel@enq.ufrgs.br

**Resumo.** O soro é o subproduto líquido da fabricação do queijo, sendo considerado como uma das importantes fontes de proteínas que poderão ser utilizadas para o consumo humano. O mais promissor processo para a recuperação das proteínas do soro de queijo é o processo de ultrafiltração, que consiste na filtração seletiva com base na diferença de pesos moleculares dos constituintes do soro, através de membranas semi permeáveis. Este trabalho apresenta um estudo das características de concentração do soro de queijo através da ultrafiltração. A influência do peso molecular de corte e da geometria do espaçador no comportamento do fluxo de permeado e na concentração de proteínas foi investigada. Com o objetivo de selecionar a melhor configuração de membrana com boas características de fluxo e concentração os seguintes parâmetros foram avaliados durante o processo de ultrafiltração: fluxo de água pura, fluxo de permeado, pH, condutividade elétrica, concentrações de proteína, lactose e sólidos totais. Os experimentos foram realizados em um sistema piloto, utilizando três módulos em espiral comerciais com diferentes pesos moleculares de corte e geometrias do espaçador. Os resultados obtidos fornecem a base para a implementação do processo de ultrafiltração do soro industrialmente.

**Palavras-chave:** ultrafiltração, membranas, módulo espiral, soro de queijo

### 1. INTRODUÇÃO

O soro de queijo ácido é o subproduto líquido da produção do queijo mussarela sendo considerado uma importante fonte de proteína a ser utilizado para o consumo humano. O panorama econômico atual exige por parte das indústrias um grande investimento na qualidade de seus produtos e serviços. Do ponto de vista econômico, o soro tratado apresenta elevado valor agregado, e seu aproveitamento industrial representa ganho econômico. O não aproveitamento traz o problema de contaminação do meio ambiente, pois se trata de um efluente de elevada DBO, exigindo das indústrias o seu tratamento antes do seu descarte. O desenvolvimento de novas tecnologias capazes de solucionar o problema do soro de queijo ácido traz benefícios econômicos e ambientais.

Muitos processos industriais envolvem operações unitárias com consumo elevado de energia. Os processos de separação por membranas apresentam a vantagem de baixo consumo energético, podendo substituir os processos convencionais de separação como a evaporação. Além disso, o processo de ultrafiltração permite uma variação na relação de concentração entre os vários componentes do soro, devido à retenção seletiva de proteína e outros materiais coloidais, retenção parcial de compostos nitrogenados mais simples e da permeação da lactose, sais minerais, aminoácidos livres, ácido láctico e outros compostos de baixo peso molecular.

Na produção de queijo, cerca de 90% do volume de leite utilizado deixa o processo na forma de soro. A ultrafiltração vem sendo utilizada para recuperar parte desta proteína. O concentrado protéico obtido do processo de ultrafiltração é usado como aditivo em diversos produtos da indústria leiteira com sensíveis melhorias na qualidade desses produtos. Uma forma de uso do soro de queijo em pó é combinado com outros componentes como substitutos lácteos com fins específicos [Mohr, 1989]. Por exemplo, pode-se adicionar ao soro de queijo em pó, proteínas de origem animal, vegetal ou até mesmo lácteas para obter-se uma mistura com propriedades funcionais determinadas segundo a aplicação prevista. Há uma grande variedade destes produtos que são obtidos ajustando o conteúdo protéico, elegendo a proteína apropriada, e o sabor mais adequado.

O objetivo deste trabalho é estudar o comportamento de diferentes membranas de ultrafiltração em módulo espiral para determinar a melhor configuração para o aproveitamento industrial do soro de queijo.

Um dos meios industrialmente mais empregados no aumento da eficiência da transferência de massa em módulos de ultrafiltração é através do uso de espaçadores de alimentação, [Youm et al., 1996, Da Costa et al., 1994]. A geometria da malha destes espaçadores é normalmente em losango, quadrado ou paralelogramo. Tanto a transferência de massa, assim como queda de pressão no módulo de ultrafiltração são afetadas pela geometria dos espaçadores. Os espaçadores geram vórtices que então se combinam gerando uma grande turbulência. São estes vórtices gerados pela passagem de fluido que apresentam uma grande contribuição no coeficiente de transferência de massa.

O diâmetro dos poros e a porosidade de uma membrana determinam tanto a retenção das espécies macromoleculares como o fluxo através da membrana, ou a rapidez da concentração. As membranas de ultrafiltração normalmente são especificadas através de seu peso molecular de corte.

As moléculas retidas no processo de ultrafiltração são as proteínas do soro e uma parte das proteoses, peptonas e do fosfato de cálcio coloidal. Como a gordura do leite está em forma de glóbulos de grandes dimensões, se não for previamente removida, esta também ficará retida na membrana. O retentado do processo de concentração está, portanto, constituído de todas as proteínas e graxas do soro original e por uma parte importante das proteoses, peptonas e do fosfato de cálcio coloidal.

Os principais fatores que modificam a eficiência da membrana são os seguintes: composição da membrana, porosidade da membrana, diâmetro médio e distribuição de tamanho de poros, temperatura do soro, pressão transmembrana, pH, concentração da alimentação e modo de operação do sistema (descontínuo/contínuo) [Amiot, 1991].

No processo de ultrafiltração existem algumas limitações quanto ao fluxo de permeado produzido ao longo do tempo. A primeira é conhecida como polarização de concentração e a segunda é conhecida por *fouling*.

A polarização de concentração é um fenômeno hidrodinâmico que depende da taxa de remoção pela contra difusão do soluto acumulado na superfície devido à rejeição da membrana. A concentração de soluto na superfície, muito acima da concentração média, provoca redução do fluxo permeado.

O *fouling* é um fenômeno de camada limite em que os solutos depositam-se na superfície e nos poros modificando a estrutura da membrana e as propriedades de separação da mesma. Na maioria dos casos, o *fouling* causa um decréscimo contínuo do fluxo permeado ao longo do tempo, e como sua causa pode-se citar: adsorção, obstrução dos poros pelo material em suspensão, depósito de material em suspensão sobre a superfície da membrana com formação de uma espécie de torta. No caso de soluções de macromoléculas pode-se atingir uma concentração, na interface membrana/solução, suficientemente elevada, de modo a ocorrer a gelificação da solução nesta região. Solutos de baixo peso molecular como sais,

por exemplo, podem atingir o seu limite de solubilidade e precipitar sobre a superfície da membrana.

A operação do sistema com velocidades tangenciais elevadas provoca uma redução na espessura da camada de polarização diminuindo a concentração na interface com a membrana, melhorando o fluxo de permeado.

O uso de pressão transmembrana não muito elevada, deve minimizar o *fouling* ao diminuir o fluxo de permeado, diminuindo o fluxo convectivo de solução em direção à superfície da membrana. Assim, reduz a polarização de concentração sobre a membrana além de minimizar o fenômeno de *fouling*. O fato de se trabalhar em pressões não muito elevadas e, portanto, com fluxos permeados menores, pode parecer uma incoerência. No entanto, os resultados, principalmente para tempos longos de operação, podem ser surpreendentemente melhores pela obtenção de elevado fluxo médio de permeado [Bhattacharjee e Datta, 1996].

A limpeza da membrana com ácido ou substâncias cáusticas frequentemente remove o *fouling*. O sistema deve ser operado de modo a minimizar a frequência de limpeza e ainda deve-se ter o cuidado de reduzir os riscos de danos à membrana com agentes de limpeza.

Um esforço considerável tem sido feito na última década no sentido de desenvolver membranas resistentes ao *fouling*. Um dos pontos críticos do *fouling* é a questão da adsorção de proteínas na superfície de membranas devido, principalmente, à força eletrostática e interações entre regiões da proteína e as paredes dos poros da membranas de natureza hidrofóbica. O esforço tem sido dirigido no sentido de preparar membranas mais hidrofílicas e com uma menor densidade de cargas elétricas superficiais.

Alguns trabalhos [Amiot, 1991] têm demonstrado que o pré-tratamento térmico do soro (por exemplo, 85°C durante 15 segundos a um pH superior a 5,8), pode melhorar muito os fluxos de permeado.

## 2. O SORO DE QUEIJO

O soro de queijo é composto principalmente de água, glicídios (lactose), protídios (proteínas), e minerais (ácidos e compostos salinos), sendo que a relação entre estes componentes depende do tipo de coagulação empregada. A forma de coagulação acarreta diferenças nas características físicas (textura, fragilidade e aparência) e composição química do coalho e do soro de queijo. As proteínas do soro de queijo são representadas em sua maioria pelas lactoalbuminas e lactoglobulinas. Diferentemente da caseína, formam emulsão verdadeira no sentido que apresentam uma forte afinidade pela água. Para coagular estas proteínas não basta apenas neutralizar as suas cargas, fazendo-se necessário diminuir o grau de hidratação seja pela temperatura ou pela adição de álcool, [Amiot, 1991]. Por esta razão, as globulinas e albuminas não coagulam juntamente com a caseína pela simples redução de pH a 4,6 durante a coagulação do queijo.

As propriedades físico-químicas do soro de queijo são dependentes do seu processo de obtenção, existindo uma diferença básica entre a coagulação enzimática (soro doce) e a coagulação ácida (soro ácido). O soro de queijo utilizado neste trabalho provém do processo de coagulação ácida.

As proteínas são termosensíveis e se desnaturam pelo calor a temperaturas superiores a utilizada na pasteurização.

A  $\alpha$ -lactalbumina representa 23% das proteínas do soro. Sua massa molecular é de 16.000 Dalton, é muito solúvel em água e seu ponto isoelétrico é de 4,8.

A  $\beta$ -lactoglobulina é a mais importante das proteínas do soro. Sua massa molecular é de 18.000 Dalton, mas na literatura encontra-se, as vezes, o valor de 36.000 Dalton, devido à tendência de formar dímeros de cadeias polipeptídicas. Em comparação com a  $\alpha$ -lactoglobulina, é mais solúvel em soluções diluídas de sais neutros.

A albumina sérica representa em torno de 5% das proteínas do soro. É exatamente igual a albumina encontrada no soro sanguíneo. É uma proteína de massa molecular 65.000 e seu ponto isoelétrico é de 4,7.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 Materiais

O soro de queijo ácido utilizado nos experimentos de ultrafiltração foi fornecido pela ELEGÊ Alimentos. Sua composição está dentro dos padrões citados na literatura com pequenas variações nas concentrações de lactose e proteína. A Tabela 3.1 apresenta as principais características das amostras de soro utilizadas neste trabalho.

Tabela 1. Caracterização do soro utilizado nos experimentos de ultrafiltração

Soro utilizado	Sequencia experimental	Extrato seco %	Proteína %	Lactose %	pH	Condutividade mS/cm <sup>2</sup>
Experimento 1 Amostra 1 UV5	Exp A1	6,01	1,24	4,83	4,36	6,52
	Exp B1	5,76	1,26	4,71	4,35	6,56
	Exp C1	6,04	1,23	5,04	4,44	6,78
Experimento 3 Amostra 3 UF5	Exp A3	6,23	0,99	3,95	4,44	6,55
	Exp B3	6,20	1,00	4,26	4,33	6,26
	Exp C3	5,71	1,14	4,07	4,29	6,55
Experimento 4 Amostra 4 UF5	Exp A4	6,19	2,30	4,30	4,20	6,04
	Exp B4	6,00	2,45	4,51	4,21	5,84
	Exp C4	6,28	2,27	4,34	4,22	5,61
Experimento 5 Amostra 5 UV10	Exp A5	6,48	1,34	4,66	4,41	6,82
	Exp B5	6,40	1,64	4,56	4,44	6,58
	Exp C5	6,21	1,65	4,48	4,39	6,79

Nos experimentos de ultrafiltração, foram utilizadas membranas da KOCH Membranes Systems. Foram escolhidas três conformações de módulos em espiral cujas especificações e denominação estão apresentadas abaixo.

Para os ensaios foram utilizadas três membranas distintas denominadas UV5, UV10 e UF5 com as seguintes características:

UV5 – peso molecular de corte de 5000 Dalton e espaçador de alimentação de 43 mil;

UV10 – peso molecular de corte de 10000 Dalton e espaçador de alimentação de 43 mil; e

UF5 - peso molecular de corte de 5000 Dalton e espaçador de alimentação de 80 mil.

A classificação dos espaçadores é feita em termos da altura da malha do espaçador expressa em milésimos de polegada (mil). Entre as membranas UV5 e UF5 a diferença existente é no tipo de espaçador de alimentação, enquanto que entre as membranas UV5 e UV10 a diferença está no peso molecular de corte. Portanto, a comparação dos resultados obtidos com o uso das membranas UV5 e UF5 permite a análise do efeito que o espaçador exerce sobre o processo, enquanto que a comparação entre os resultados obtidos com o uso das membranas UV5 e UV10 permite a análise do efeito de peso molecular de corte.

#### 3.2 Sistema de Ultrafiltração

Para a realização dos experimentos, utilizou-se a unidade piloto de ultrafiltração KOCH PROTOSEP IV.

O equipamento consiste basicamente de uma carcaça de 2 polegadas de diâmetro de aço inox 316 (2). A carcaça aloja um módulo de membrana espiral com  $0,3\text{m}^2$  de área. A pressão no sistema é determinada através de uma válvula de contra pressão (V5), tipo diafragma, colocada após o módulo de UF. Com o objetivo de evitar o contato do fluido de alimentação com partes mecânicas da bomba foi utilizada uma bomba de diafragma, Versamatic XL TPE (1), acionada por ar comprimido, provida de lubrificador de ar e regulador de pressão do ar.

Para evitar o contato de particulados com a superfície da membrana optou-se pelo uso de um filtro primário (6), localizado antes do módulo de UF, constituído de uma carcaça de aço inox marca CUNO, alojando em seu interior um cartucho de acetato de celulose com retenção de particulados na faixa de 1 micra.

A pressão do sistema foi medida através de manômetros instalados antes (M1) e depois (M2) da célula de ultrafiltração. A pressão de operação considerada foi a pressão média que ficou em 2,5 atm, e a vazão de alimentação de 11 L/min. A temperatura do soro foi mantida em  $35^\circ\text{C}$  através de serpentina aquecida inserida no interior do tanque de alimentação (3), pelo banho termostático (4), marca Lauda RM 20. Esta temperatura foi selecionada porque é a temperatura de saída do soro de queijo do processo de coagulação, acarretando menores gastos em estabilização térmica da corrente de alimentação. O monitoramento de temperatura foi feito após a célula de ultrafiltração através de um termopar (5). O modo de operação em batelada com recirculação total do concentrado foi adotado para o trabalho.

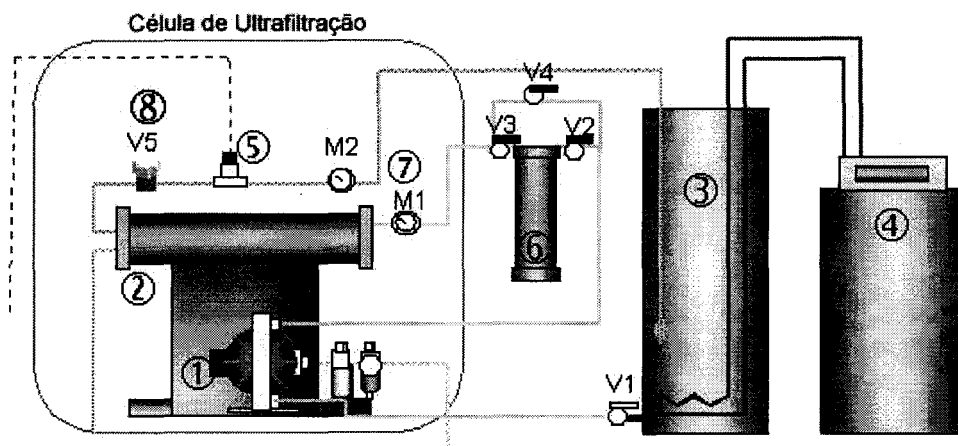


Figura 1. Representação esquemática da Unidade Piloto de Ultrafiltração.

### 3.3 Metodologia Experimental

O volume de soro inicial homogeneizado é dividido em três amostras de 18 litros para a realização dos experimentos (A, B e C). Para cada membrana esta seqüência de experimentos foi realizada em duplicata. Com a finalidade de preencher o volume morto do equipamento com soro foram consumidos 6 L dos 18 L iniciais eliminando-se assim os efeitos de diluição. É importante salientar que para cada experimento o volume de soro a ser tratado foi mantido constante e igual a 12 L. Em cada ensaio, a solução foi concentrada até o volume final de 2,5 L.

Após cada experimento o equipamento de ultrafiltração passou por um procedimento de limpeza com água quente ( $45^\circ\text{C}$ ). Após este procedimento efetuou-se a medida do fluxo de água nas condições de temperatura e pressão do experimento ( $35^\circ\text{C}$  e 2,5 atm) para verificar as condições da membrana ao final do mesmo. O procedimento de limpeza após a seqüência A, B e C inclui uma limpeza alcalina e após a sua duplicata uma limpeza alcalina mais sanitização com hipoclorito de sódio.

Foram coletadas simultaneamente amostras de soro da corrente de permeado e da corrente de concentrado. A coleta de amostra foi realizada a cada litro de permeado removido.

O fluxo volumétrico de permeado foi determinado através de medida do tempo para a remoção de 500 ml de permeado.

### 3.4 Métodos Analíticos

A concentração de proteína na corrente de concentrado e de permeado foi determinada pelo método de Bradford (1976). A combinação de corante com a proteína ocorre muito rápido (aproximadamente 2 minutos) e o complexo permanece estável disperso em solução por aproximadamente 1 hora. O complexo corante-proteína apresenta uma alta sensibilidade na avaliação da quantidade de proteína na amostra. Este método possui a vantagem de possibilitar a determinação de proteínas em um número elevado de amostras. A leitura de absorbância foi realizada no comprimento de onda de 595nm, no espectrofotômetro CARY 1 da Varian.

A concentração de lactose das amostras de concentrado e permeado foi determinada pelo método de Dubois et al. (1956). O método consiste na determinação espectrofotométrica de lactose através da reação com o fenol em meio ácido possibilitando o deslocamento do comprimento de onda para uma região de maior estabilidade. Este método é simples, rápido e sensível fornecendo resultados com uma boa reprodutibilidade. A leitura do valor de absorbância foi feita no comprimento de onda igual a 490 nm.

O pH das amostras de permeado e concentrado é avaliado por ser um parâmetro relacionado com o ponto isoelétrico das proteínas do soro de queijo. Foi utilizado para este fim um pHmetro Digimed DM-20.

Uma parcela do soro de queijo é constituída de sais minerais que devido ao menor peso molecular passam pela membrana para a corrente de permeado. A análise da condutividade elétrica de ambas as correntes provenientes do processo de separação indica ao longo do tempo como aconteceu a migração destas espécies através da membrana, visto que é de interesse eliminar sais e lactose do soro concentrado. A medida de condutividade foi feita no condutímetro Digimed DM-31.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. Fluxo de Água Inicial

Com o objetivo de caracterizar as diferentes membranas, determinou-se o fluxo de água pura das três membranas utilizadas. A Tabela 2 apresenta os resultados obtidos.

Tabela 2. Fluxo de água inicial das membranas

Membrana	Fluxo de Água L/m <sup>2</sup> h
UV5	55,4
UF5	44,8
UV10	65,6

Embora as membranas UV5 e UF5 apresentem mesmo peso molecular de corte, pode-se observar que o fluxo de água inicial é maior para UV5. Salienta-se que a diferença no tipo de espaçador não interfere neste tipo de ensaio, portanto seria de se esperar que apresentasse fluxos de água muito próximos. A membrana UV10 por apresentar um peso molecular de corte maior, seu fluxo de água é naturalmente maior.

## 4.2. Variação de Fluxo de Permeado com o Tempo

Na Figura 2 estão mostrados os resultados dos ensaios utilizando as membranas UV5 e UF5. Para cada membrana constam os três ensaios A,B e C dispostos na seqüência. Observa-se que a primeira das três curvas mostra uma redução inicial de fluxo maior do que as demais, isto é devido ao *fouling*. A primeira curva é construída com os dados obtidos com o experimento iniciado com membrana nova, portanto, completamente limpa. Após o término do experimento A, a membrana é lavada com água quente antes do experimento B. Este contudo já não inicia com o fluxo tão elevado quanto o experimento A, devido a remoção incompleta do resíduo deixado no ensaio prévio. Este mesmo fenômeno é observado nos ensaios subsequentes.

Da comparação dos resultados obtidos com as membranas UV5 e UF5 observa-se que os fluxos permeados são superiores quando se utiliza a membrana UV5. Estas membranas têm o mesmo peso molecular de corte, diferindo na geometria do espaçador e na permeabilidade hidráulica. O fluxo de água da membrana UV5 é superior à da UF5 em mais de 10 L/h.m<sup>2</sup>, contudo, esta diferença não se mantém ao longo do tempo de permeação da solução. Pode-se observar que a queda inicial de fluxo permeado é maior para a membrana UV5 do que para UF5, e esta característica pode ser atribuída à atuação mais eficiente do espaçador de 80 mil, que, apresenta uma porosidade menor e, portanto, uma capacidade de promover maior turbulência no escoamento da alimentação reduzindo a polarização de concentração. Este resultado está de acordo com o trabalho de Da Costa *et al.* (1994) que mostra que a diminuição da porosidade do canal de escoamento a uma taxa constante aumenta a velocidade de escoamento da alimentação no canal, aumentando o coeficiente de transferência de massa.

Na Figura 3 estão mostrados os resultados dos ensaios com a membrana UV5 e UV10. O objetivo desta comparação é a análise do efeito de peso molecular de corte. Se a distribuição de tamanho dos poros for homogênea, neste caso espera-se que o fluxo seja sempre maior para a membrana cujo peso molecular de corte seja maior. Pelo resultado obtido, observa-se que o fluxo não é uma função diretamente dependente do peso molecular de corte, já que o fluxo se mostrou sempre superior para a membrana UV5. Este comportamento provavelmente se deve à diferença na porosidade e no tipo de distribuição de tamanho de poros.

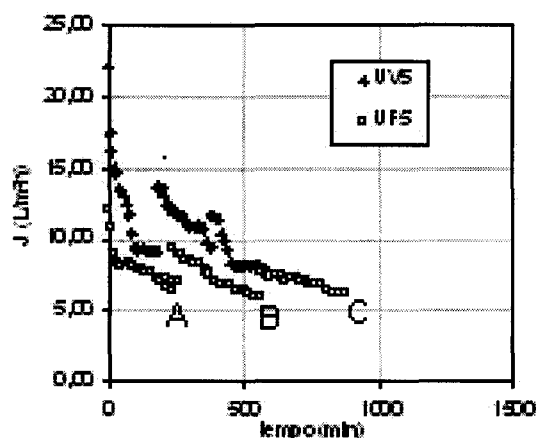


Figura 2. Variação de fluxo permeado com o tempo para as membranas UV5 e UF5.

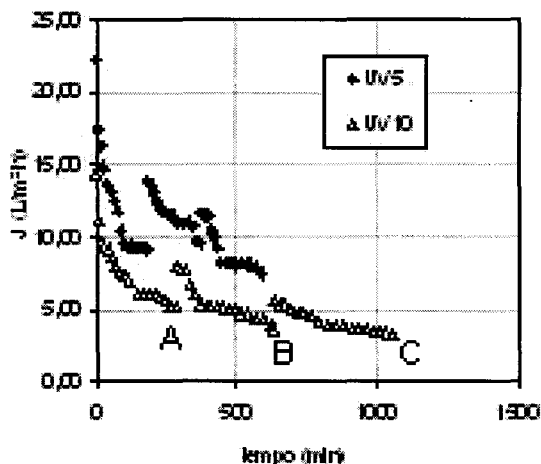


Figura 3. Variação de fluxo permeado com o tempo para as membranas UV5 e UV10.

### 4.3. Efeito do Aumento de Concentração de Proteína sobre o Fluxo de Permeado

Na Figura 4 são apresentados os resultados dos ensaios que avaliam a variação de fluxo de permeado com a concentração de proteína na alimentação. Observa-se que o fluxo de permeado para mesma concentração de proteínas é maior para a membrana UV5 do que para a membrana UF5. Esta diferença se deve essencialmente a característica de maior fluxo de água apresentada pela membrana UV5, já mostrada na seção 4.1. Contudo, é importante observar as tendências mostradas pelas duas curvas à medida que aumenta a concentração de proteína. A membrana UV5 mostra uma redução de fluxo mais acentuada do que a membrana UF5. Este comportamento provavelmente se deve à atuação mais eficiente do espaçador da membrana UF5 em reduzir a polarização de concentração, como já foi visto na seção anterior.

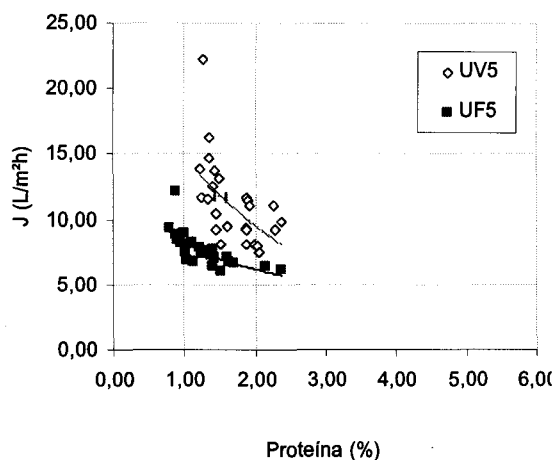


Figura 4. Variação de fluxo permeado com a concentração de proteína para as membranas UV5 e UF5.

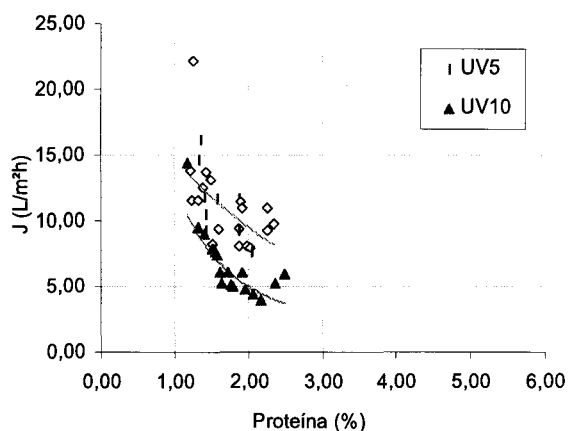


Figura 5. Variação de fluxo permeado com a concentração de proteína para as membranas UV5 e UV10.

A comparação dos resultados de variação de fluxo permeado com a concentração para duas membranas de peso molecular de corte diferentes é mostrada na Figura 5. O fato da membrana UV5 apresentar maior permeabilidade do que a membrana UV10 é explicado por muitos autores como sendo causado pela deformação das moléculas de proteína quando submetido à tensão de cisalhamento. Teoricamente, tanto a membrana UV10 como a UV5 devem reter proteínas presentes, já que o tamanho dos poros é inferior ao das moléculas. Contudo, a membrana UV10 possui poros cujo diâmetro de alguns podem se aproximar do tamanho molecular das proteínas. Neste caso, a deformação sofrida pelas macromoléculas devido à tensão de cisalhamento permite que estas tenham acesso aos poros e, em muitos casos, provoquem entupimento dos mesmos, com subsequente decréscimo de permeabilidade [Caldeira, 1984 e Nobrega, 1989].

### 4.4. Análise do Fouling

Nas Figuras 6 e 7 estão mostrados os resultados da análise de fluxo de água das membranas UV5 e UV10, respectivamente, antes e após os experimentos de permeação com soro de queijo.

Observa-se que a membrana UV10 apresenta a redução de fluxo de água mais acentuada desde os primeiros ensaios. A limpeza com água é menos eficiente para a



membrana UV10 do que para a UV5, confirmando a hipótese de entupimento dos poros com as moléculas de proteína.

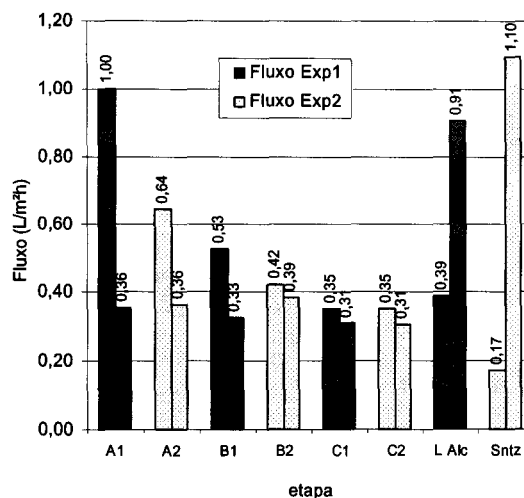


Figura 6. Fluxo de água antes e após os experimentos para a membrana UV5.

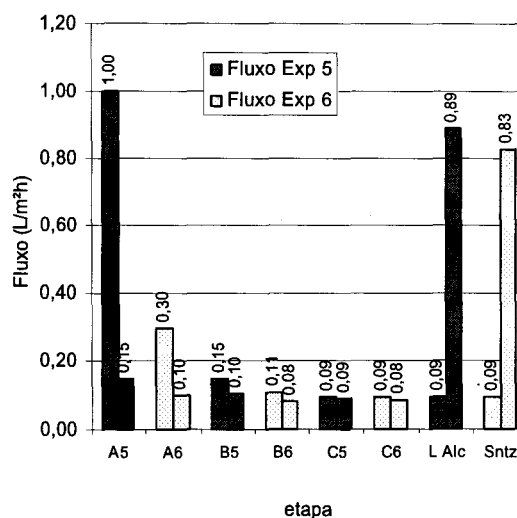


Figura 7. Fluxo de água antes e após os experimentos para a membrana UV10.

## 5. CONCLUSÕES

A análise dos resultados possibilita a seguintes conclusões.

- A influência do fluxo de água inicial imprime características importantes no desempenho das membranas para baixas concentrações de proteína na alimentação.
- O efeito da geometria do espaçador é mais significativo para soluções de alimentação de elevada concentração.
- O espaçador de 80 mil provoca maior efeito de turbulência, reduzindo a polarização de concentração, quando comparado ao espaçador de 43 mil.
- O fluxo nem sempre se apresenta maior para as membranas com maior peso molecular de corte, devendo ser analisada a distribuição de tamanho de poros. O efeito de distribuição de poros se torna importante à medida que o tamanho dos poros se aproxima do tamanho do soluto, devido a possível deformação deste.
- A comparação do fluxo de água antes e após a permeação da solução intercalando uma limpeza com água permite a análise do efeito de *fouling* e acrescentou uma informação a respeito da hipótese anterior sobre entupimento dos poros.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a ELEGÊ Alimentos S.A pelo fornecimento do soro de queijo, à FAPERGS pelo financiamento do projeto e à CAPES pela concessão de bolsa de estudo.

## REFERÊNCIAS

- Amiot, J., (1991), "Dairy Science and Technology", Département de science et technologie des aliments, Université Laval Québec (Qué.), Canada.
- Bradford, M. M., (1976), " A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein dye-binding", *Analytical Chemistry* 72, 248-254.
- Caldeira, L.E. (1984) "Síntese e Caracterização de Membranas de Acetato de Celulose para Ultrafiltração", Dissertação de Mestrado, COPPE/UFRJ.

- Da Costa, A . R., Fane, A .G, Wiley, D. E., (1994), "Spacer characterization and drop modeling in spacer-filled channels for ultrafiltration", *Journal of Membrane Science*, 87, 79-98.
- Dubois, Michel, Gilles, K. A., Hamilton, P. A., Rebers, S. (1956) "Colorimetric method for determination of sugar and related substances", *Analytical Chemistry*, Volume 28, n°3, pp350-356.
- Mohr, C. M., Engelgau, D. E., Leeper, S. A., Charboneau B. L., (1989), "Membrane Application and Research in Food Processing", EG&G Idaho, Dept. of Energy.
- Nobrega, R. (1989), "Transfer of Dextran Through Ultrafiltration Membranes: a Study of Rejection data analysed by Gel Permeation Chromatography", *J. of Membrane Science*, 45, 17-36.
- Youm, K. H., Fane, A. G., Wiley, D. E., (1996), "Effects of natural convection instability on membrane performance in dead-end cross-flow ultrafiltration", *J. of Membrane Science*, 116, 229-241.