

VALORIZAÇÃO E APROVEITAMENTO DE SUBPRODUTOS LÁCTICOS: EXTRAÇÃO DE PROTEÍNAS E HIDROGENAÇÃO CATALÍTICA DA LACTOSE

Carlos E. de M. Jerônimo^{1*} & João Fernandes de Sousa²

¹Universidade Potiguar. 59082-330, Natal, Rio Grande do Norte, Brasil.

²Departamento de Engenharia Química. UFRN. Natal, Rio Grande do Norte, Brasil.

*E-mail: c_enrique@hotmail.com

Recebido em 31 de março de 2012

Aceito em 30 de junho de 2012

RESUMO

A indústria de produção de queijo tem no seu ciclo de produção a geração de um subproduto muito rico em proteínas e lactose, chamado soro de queijo. Esse resíduo, atualmente, tem algumas aplicações em alimentos, mas que não adiciona valor para o real conteúdo nutricional e econômico que esse tem em seu potencial. Neste trabalho objetiva-se uma maior valoração do soro de queijo, onde foram conduzidos estudos para a recuperação de proteínas e conversão catalítica da lactose residual em um poliálcool de elevado valor econômico, chamada lactitol. Os resultados mostraram alta eficiência de remoção de proteínas, na ordem de 93% e a conversão de lactose comercial em torno de 90% em 150 minutos de reação. A aplicabilidade de soro de leite, no entanto, requer a remoção dos íons cloreto, como forma de pré-tratamento.

Palavras-chave: soro de queijo, lactose e lactitol.

1 Introdução

As indústrias de laticínios, mais especificamente aquelas que produzem queijo, têm fornecido uma enorme quantidade de soro como principal subproduto da transformação do leite em queijo ou caseínas. Embora o soro possua alto valor nutritivo, ele não tem sido devidamente aproveitado pelas indústrias alimentícias. Sua principal utilização em nossa região é concentrada como complemento na engorda animal.

Os problemas de separação relacionados às indústrias agro-alimentares ou farmacêuticas originam-se frequentemente da natureza dos produtos a separar, como, por exemplo, as macromoléculas de origem biológica (proteínas, enzimas e antibióticos), as quais podem ser rapidamente desnaturadas, perdendo assim suas propriedades e atividade.

Agregada às problemáticas do soro surge a necessidade de emprego conjugado de outros resíduos da nossa região, para obtenção de produtos de alto valor agregado. Entre esses: a quitosana (derivada de carcaças de camarões) e o carvão ativado (utilizado no presente trabalho como suporte catalítico), podendo ser derivado de cascas de frutos do coqueiro [1].

Em termos dos componentes individuais, o soro apresenta uma alta concentração de proteínas e açúcares (lactose em especial), que sugerem, pelo montante disponível dessa biomassa, uma provável viabilidade econômica no seu aproveitamento, principalmente por serem produtos de alto valor agregado.

O reaproveitamento das proteínas do soro é um tema que já é estudado por inúmeros pesquisadores do mundo inteiro, principalmente por sua excelente aplicação em complementos alimentares e na formulação de estabilizantes e outros aditivos químicos utilizados na indústria alimentícia [2-6]

Dentre as técnicas de separação das proteínas do soro, destacam-se os processos por floculação [7], devido à alta seletividade para as proteínas e razoável eficiência global de remoção frente a processos mais avançados e de custos mais elevados.

No processo de floculação, é necessário o uso desses agentes coagulantes, ou melhor, substâncias que desestabilizam o meio e fazem com que as proteínas se unam, formando agregados mais pesados que acabam por se sedimentarem. Dentre esses agentes são conhecidos diversos produtos inorgânicos, muitas vezes tóxicos, que exercem tal função. No entanto, quando se objetiva o aproveitamento para alimentação, seja humano ou animal [8-9], o uso desses agentes fica restrito. Daí a importância de materiais orgânicos que não perturbem o fluxo normal da dieta dos seres que dele se utilizam.

Dentre os agentes coagulantes que se enquadram nesse requisito, pode-se citar a quitosana, um material derivado da quitina, presente em carapaças de crustáceos e insetos, que nos últimos 20 anos vem ganhando um papel importante economicamente, além de outras funções que desempenha, tais como: fármacos, tratamento de água etc.

Com isso, um elo de produção mais limpa começa a ser fechado com o reaproveitamento de dois subprodutos de

atividades industriais, para obtenção de outros produtos, com valores agregados importantes [10-12].

Além da grande potencialidade em termos proteicos, o soro ainda apresenta cerca de 4% da sua constituição em termos de lactose, o que aumenta seu aproveitamento, seja na extração direta ou no enquadramento em novas cadeias produtivas para o desenvolvimento de derivados da lactose. Dentre as possibilidades de derivados, surge nos últimos anos um composto polioliol com diferentes aplicações industriais (química, farmacêutica e alimentícia), denominado lactitol, produto esse de alto valor comercial, um adoçante dietético de baixo teor calórico, com grandes vantagens frente a outros adoçantes, por não apresentar propriedades cariogênicas (causadora de cáries). Sua obtenção pode ser por hidrogenação catalítica, havendo necessidade de estudos cinéticos para uma etapa posterior de aplicação, visto que o efeito dos outros componentes do soro (proteínas, gorduras, minerais, etc.) pode apresentar consequências nocivas ao catalisador (envenenamento, redução das taxas de reação, etc.).

O mecanismo reacional da produção deste polioliol pode ser observado na Figura 1. O modelo consiste numa reação heterogênea com adsorção na estrutura catalítica [8].

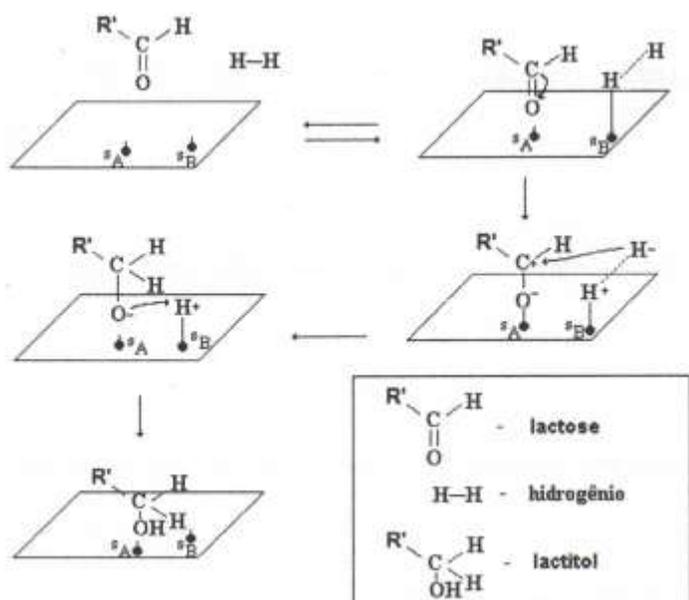


Figura 1: Mecanismo Heterogêneo de Hidrogenação da Lactose. Fonte: Autor

Neste trabalho, visando o aproveitamento das potencialidades individuais do soro residual do queijo tipo “coalho”, em termos de agregados proteicos e do adoçante dietético lactitol, foi estudada a técnica de floculação usando o agente coagulante quitinoso denominado quitosana, obtido da carapaça de crustáceos, para obtenção de concentrados proteicos. Em termos reacionais, a hidrogenação catalítica da lactose presente no soro foi realizada em condições ótimas de operação obtidas preliminarmente com a lactose comercial. Esta etapa foi

concluída com desenvolvimento de um modelo cinético. Os estudos dos parâmetros envolvidos nas técnicas de separação foram avaliados mediante técnicas de planejamento estatístico de experimentos, visando à maior quantidade de informações com um número mínimo de ensaios.

2 Parte Experimental

As amostras analisadas foram de queijarias com processo similares ao padronizado pelo SEBRAE [13]. As alíquotas foram coletadas após a conclusão do processo de coagulação e acondicionadas em caixas isotérmicas com banho de gelo, controlando em cerca de 5 °C as condições de armazenamento. Em seguida, as amostras foram transportadas até o laboratório, para realização das determinações e testes analíticos.

O acondicionamento das amostras foi realizado em refrigeradores domésticos, a 10°C, por um período máximo de cinco dias. O período de cinco dias foi adotado, em função de testes preliminares de controle da qualidade, utilizando-se a avaliação da estabilidade dos parâmetros: pH, acidez, teor de proteínas e concentração de lactose.

A caracterização físico-química do soro estudado nesta pesquisa foi realizada em triplicata para cada amostra coletada, através das seguintes análises: pH, acidez, açúcares redutores e redutores totais, proteínas, cloretos e lactose. Os métodos analíticos utilizados seguiram as Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz [7].

O agente coagulante, quitosana, apresentou características para análise (PA), e foi fornecido pelo laboratório Sigma-Aldrich. Sua utilização foi feita mediante solução aquosa previamente acidificada com ácido acético (PA) doado pela MERCK® do Brasil. A solução padrão utilizada consistia em concentração de 1000 mg de quitosana por litro de solução acidificada.

Para desenvolver o estudo do tratamento do soro da fabricação do queijo tipo “coalho”, dentro dos objetivos propostos, foram executadas as seguintes etapas: 1 – Caracterização do Soro; 2 – Estudo da técnica de coagulação-floculação com agente quitosana para separação das proteínas presentes no soro; 3 – Otimização das condições operacionais e definição das melhores rotas de extração das proteínas; 4 – Síntese e caracterização do catalisador (Ni/C) para hidrogenar a lactose; 5 – Estudo paramétrico da conversão da lactose comercial em lactitol: processo de otimização/planejamento estatístico; 6 – Tratamento catalítico da lactose proveniente do soro residual isento de proteínas em condições ótimas de operação; 7 – Análise comparativa dos resultados.

O reator utilizado nos ensaios era de aço inoxidável do tipo leito de lama (SLURRY), com capacidade de 0,5 L, provido de um sistema de controle de pressão, temperatura e velocidade

de agitação. Ele era acoplado a um forno cilíndrico, cuja finalidade é aquecer o meio reacional. A reação foi processada em sistema fechado para as fases líquida (solução da lactose) e sólida (partículas catalíticas) e em semi-aberto para a fase gasosa. A alimentação do gás (hidrogênio de alta pureza) era feita continuamente por um cilindro à medida que o hidrogênio era consumido pela reação, mantendo constante a pressão total no reator. Um tubo coletor de amostra da fase líquida, fixado na parte superior do reator, possibilita a tomada das amostras em períodos pré-estabelecidos (20 a 30 minutos). Este dispositivo era constituído de um filtro poroso para impedir a passagem do catalisador e de um sistema de válvulas que permite a coleta da fase líquida de maneira satisfatória.

As amostras do meio reacional foram coletadas a fim de serem analisadas por cromatografia em fase líquida (HPLC), por medidas de índice de refração em coluna Aminex Q-150. O eluente (água bidestilada) era alimentado com um fluxo de 0,5 mL.min⁻¹. A temperatura da coluna foi fixada em 40°C e a do detector em 35°C. O tempo máximo de análise foi em torno de 20 min. Foram obtidas curvas de calibração com soluções padrões de lactose e lactitol, para conversão dos resultados.

A técnica utilizada para extração das proteínas consistiu na floculação utilizando o agente quitinoso denominado quitosana. A avaliação experimental praticada foi realizada a partir de um levantamento preliminar das variáveis, a fim de validar as rotas de processo de otimização das condições operacionais. Para a avaliação preliminar, foram realizados ensaios mediante planejamento fatorial, do tipo 3², sendo os níveis estimados com referência no trabalho de Vogelaar [3] para o soro da produção do queijo tipo mussarela, que, em sua composição, basicamente apresenta as mesmas características, salvo pela variabilidade da matéria-prima utilizada e algumas variantes de processo.

Os níveis operacionais estudados foram o pH do soro e a dosagem necessária de quitosana, conforme Tabela 1. O tempo de contato entre o agente coagulante e o soro foi padronizado em 2 (duas) horas, a fim de eliminar a influência dessa variável no processo. As variáveis respostas monitoradas foram as porcentagens de extração de proteínas (EP) e as perdas de lactose (PL) do meio sobrenadante.

Tabela 1 – Condições de operação no processo de extração das proteínas

Temperatura (°C)	25°C
pH	4,5 a 6,0
Agente coagulante	Quitosana
Dosagem de agente coagulante (mg.L ⁻¹)	100 a 400
Tempo de contato	2 horas
Volume de soro (mL)	800
% inicial de proteínas presente no soro	0,84

Fonte: Autor

A concentração dos produtos foi obtida utilizando-se curvas de calibração do produto puro (lactose e lactitol). O rendimento em lactitol foi calculado levando-se em consideração

a massa inicial da lactose. Essa variável serviu como resposta para avaliação das condições otimizadas do processo.

O planejamento experimental foi definido em 4 fases distintas, com o objetivo de racionalizar o experimento de hidrogenação catalítica da lactose em lactitol. Esse estudo possibilitou reduzir o número de ensaios, além de tirar proveito da análise estatística para compreender melhor o desempenho de operação do reator. O procedimento do planejamento consistiu em realizar a codificação das principais variáveis, ou seja, temperatura (T), pressão de hidrogênio no reator (P), teor de níquel no suporte (D) e massa do catalisador (M). O projeto fatorial 24-1 foi gerado pelo programa *Statistica - Experimental Designs* – 5.5 (2000).

3 Resultados e discussões

3.1 Extração de Proteínas

Os resultados obtidos nos ensaios de extração das proteínas são apresentados na Tabela 2. A análise dos efeitos envolvidos nesse processo pode ser observada pelo diagrama de Pareto, mostrado mais adiante na Figura 2.

Tabela 1 - Extração das proteínas (E.P) mediante uso da quitosana, em duas horas de contato.

Ensaio	pH	Dosagem (mg/L)	% E.P
1	4,50	100	61,2
2	4,50	250	76,5
3	4,50	400	81,6
4	5,25	100	76,4
5	5,25	250	82,9
6	5,25	400	88,6
7	6,00	100	74,5
8	6,00	250	81,4
9	6,00	400	86,4

Fonte: Autor

Os efeitos sugerem o uso de um modelo linear, já que a significância dos termos quadráticos não apresentou efeito estatisticamente representativo. Os valores para os efeitos vinculados aos termos lineares (L) do modelo foram respectivamente: 6,41 e 3,31 para a dosagem e o pH. No caso dos termos quadráticos (Q), só se observou significância estatística da regressão do termo do pH. Sendo assim, a utilização do modelo linear satisfaz a predição dos dados experimentais. A interação das variáveis torna-se representativa ao nível de 95% de significância estatística.

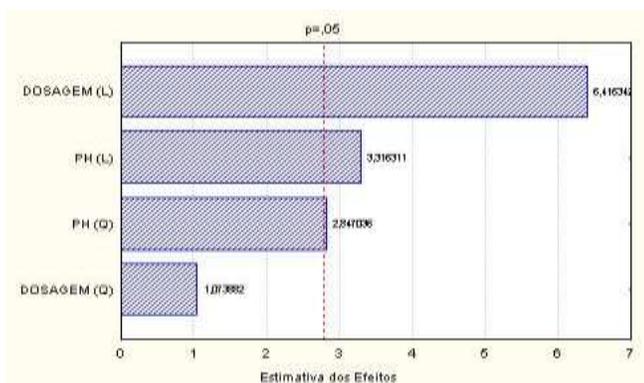


Figura 2: Diagrama de Pareto para os efeitos principais. Fonte: Autor

Tais resultados quando comparados a disponíveis na literatura [4; 8; 9] apresentam grande representatividade, conforme observado na Tabela 3.

Tabela 2: Comparativo entre técnicas utilizadas para extração de proteínas do soro de queijo.

Técnica Utilizada	Proteínas extraídas (%)	Perdas em Lactose (%)
Floculação utilizando o agente coagulante Quitosana em 3 horas (presente trabalho)	93,1	3,3
Adsorção com Hidroxiapatita em 24 horas [8]	23,0	8,0
Tratamento térmico e Adsorção com Hidroxiapatita em 24 horas [8]	29,0	4,0
Tratamento térmico e Adsorção com Carvão Ativado em 24 horas [8]	81,0	41,0
Ultrafiltração em fluxo contínuo [9]	80,0	97,0
Eletrólise em fluxo contínuo [9]	60,0	90,0
Aquecimento a 95°C por 20 minutos [4]	75,0	10,0

Fonte: Autor

3.2. Obtenção do Lactitol

Esta fase do estudo experimental foi dividida em três etapas: hidrogenação catalítica de soluções sintéticas de lactose comercial; otimização de parâmetros; avaliação da cinética reacional da lactose presente no soro desproteínizado; e estudo da influência dos contaminantes residuais do soro na conversão da lactose em lactitol.

Na primeira etapa foram avaliadas as condições operacionais para a reação de hidrogenação de soluções sintéticas de lactose comercial, no reator de leito de lama, catalisada pelo níquel suportado em carvão ativado, levando em consideração os parâmetros temperatura (80 a 130°C), pressão (500 a 1000 psia), massa de catalisador (5 e 7 g) e percentual de níquel no suporte (8 e 18%). A distribuição dos experimentos foi planejada seguindo a lista da Tabela 4.

Tabela 3: Condições de operação no processo de hidrogenação da lactose comercial

Concentração inicial da lactose (g L^{-1})	40,0
Volume da fase líquida no reator (L)	0,30
Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	80 a 130
Pressão (psia)	500 a 1000
Velocidade de agitação	900 rpm
pH inicial	5,50
Tempo de reação (h)	2,00
Massa de catalisador Ni/C (g)	5,0 a 7,0
% de Níquel no suporte (%)	8 a 18
Diâmetro médio de partícula (μm)	35,5 a 38,7

Fonte: Autor

Os demais parâmetros, concentração inicial da lactose (40 g.L^{-1}), velocidade de agitação (900 rpm) e pH do meio reacional (5,5), permaneceram constantes. As curvas experimentais apresentadas permitiram mostrar a evolução da concentração lactose residual e lactitol em função do tempo de reação.

Os dados cinéticos foram corrigidos mediante a subtração dos volumes de amostras retirados, e atestados mediante balanço de material efetuado em termos de Lactose e Lactitol, os quais apresentaram perdas de reagentes dentro de um erro experimental de 5%, o que confirma a ausência da formação de subprodutos na hidrogenação catalítica da lactose.

A síntese dos resultados obtidos nos ensaios realizados é apresentada na Tabela 5. Os valores são representativos das médias dos ensaios realizados para a conversão a 100 minutos, na medida em que os experimentos foram repetidos uma vez. Para os dados da constante cinética, esta representa o ajuste realizado para o mecanismo global de uma reação de pseudoprimeira ordem [8; 13; 18]. Os resultados cinéticos foram fechados por meio de um balanço material molar, sendo os resultados expressos nessa base.

Tabela 4: Condições de operação no processo de hidrogenação da lactose comercial

Ensaio	Conversão (%)
1	38,63 ($\pm 1,80$)
2	33,18 ($\pm 2,05$)
3	11,64 ($\pm 1,95$)
4	32,16 ($\pm 2,16$)
5	32,58 ($\pm 0,65$)
6	81,24 ($\pm 0,85$)
7	30,00 ($\pm 1,05$)
8	48,45 ($\pm 3,05$)

Fonte: Autor

Os coeficientes de correlação (r) dos ajustes à cinética de pseudoprimeira ordem foram superiores a 97%, confirmando o comportamento esperado para a cinética global.

As variáveis-resposta foram submetidas ao algoritmo para avaliação dos efeitos principais e determinação da

necessidade de ampliação ou não do planejamento inicial. O Diagrama de Pareto, ilustrado na Figura 3, representa os índices principais das variáveis envolvidas, sendo observado um efeito desprezível para o nível de níquel nos catalisadores, no gráfico chamado de dopagem em níquel, como denominação a esta diferença no teor do metal.

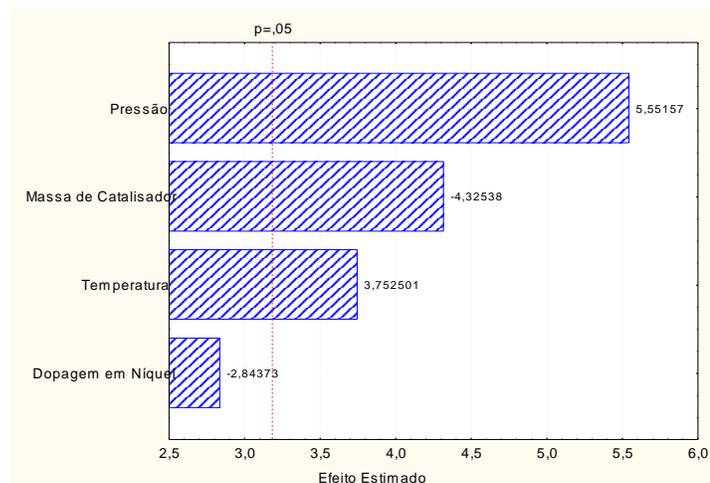


Figura 3: Condições de operação no processo de hidrogenação da lactose comercial. Fonte: Autor.

O efeito pode ser derivado da distribuição na superfície do carvão, sendo o níquel sobreposto em camadas ou atingindo sítios inacessíveis à molécula da lactose. Observam-se as influências pronunciadas do aumento da temperatura e pressão, como facilitadores da reação, e efeito adverso da massa de catalisador alimentada. Comportamento semelhante é observado por outros autores para diferentes catalisadores e condições operacionais [14-18]

O efeito da temperatura estudado foi investigado num intervalo de 80 a 120°C. A concentração do catalisador foi de 5 g por 0,3 L, P = 1000 psia e o percentual de níquel no suporte, de 8 a 18%. Os valores da concentração inicial da lactose de 40 g.L⁻¹ e do pH do meio 5,5 foram mantidos constantes e utilizados em todos os experimentos. Os resultados são esboçados na Figura 4, em que o perfil de concentração da lactose e do lactitol produzido, é representado em função do tempo de reação. Evidencia-se que a conversão em lactitol ou a taxa de consumo da lactose aumentam nitidamente com a temperatura da reação. Este efeito já era esperado haja vista que a temperatura tem influência direta sobre a constante de velocidade. À temperatura de 120°C, a conversão em lactitol é da ordem de 81,24% em 100 minutos de reação. A partir dos ensaios realizados, enumerados como 5 e 6, na tabela do planejamento experimental pode-se constatar a influência positiva dessa variável nas taxas de conversão que se obteve ao longo da cinética de hidrogenação catalítica da lactose.

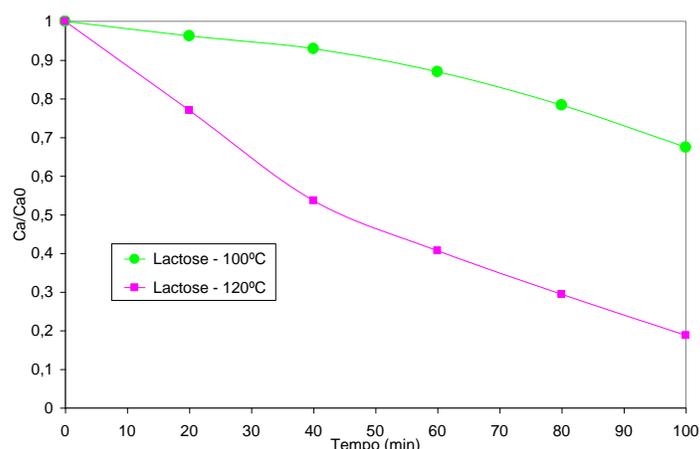


Figura 4: Cinética de Hidrogenação para os ensaios 5 (100 °C) e 6 (120 °C). Fonte: Autor

A influência da pressão total no reator foi verificada para os valores de 500 e 1000 psia, massa de catalisador de 7g, temperatura de 100°C e dopagem de níquel de 8 e 18%. Os resultados são apresentados na Figura 5 (ensaios 3 e 7). Para a pressão de 500 psia a curva demonstra uma influência pouco significativa sobre a taxa de consumo da lactose na presença do catalisador. As curvas do perfil da lactose e do lactitol mostram um notório efeito da pressão na conversão do reagente, a qual pode ser explicada em decorrência do aumento da solubilidade do hidrogênio no meio reacional. Esse aumento, provavelmente, favorece uma redução na resistência líquido-sólido, possibilitando o transporte de massa [8; 18] para o interior da partícula e consequentemente a hidrogenação nos sítios catalíticos. A conversão da lactose em lactitol é de 11,64 % (P = 500 psia) e de 30,00 % relativa à pressão de 1000 psia.

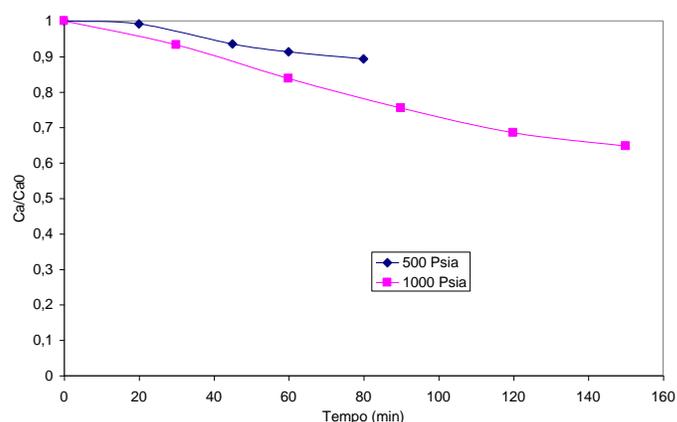


Figura 5: Cinética de Hidrogenação para os ensaios 3 (500 psia) e 7 (1000 psia). Fonte: Autor.

Numa segunda fase foi avaliada a influência da temperatura de 100°C, pressão de 500 psia e percentual de níquel igual a 8% (ensaio 3) e 18% para o ensaio 1. A reação de hidrogenação foi verificada para a massa de catalisador igual a 5

e 7 gramas. Os resultados são apresentados na Figura 6 (ensaios 1 e 3). Mesmo sendo diferente o percentual de níquel no suporte (os resultados apresentados no planejamento mostraram que a dopagem em níquel não tem qualquer efeito na conversão da lactose), o aumento da massa não influencia a conversão da lactose. Os resultados obtidos no planejamento estatístico (diagrama de Pareto) já evidenciaram este comportamento uma vez que o aumento da massa catalítica favorece um aumento negativo na taxa de conversão do substrato. Lembrando que o provável efeito aglomerador do catalisador, com aumento da concentração pode explicar esses resultados [8; 15; 17].

A lactose presente no soro praticamente desproteínado (em condições operacionais de extração máxima de proteínas, utilizando o agente coagulante quitosana na concentração de 400 mg/L de soro e pH = 5,5) foi hidrogenada cataliticamente seguindo a mesma metodologia utilizada para a lactose comercial. As condições operacionais foram aquelas obtidas na reação de hidrogenação da lactose comercial, ou seja, pressão = 700 psia, temperatura = 120°C, massa de catalisador = 5 g e dopagem em níquel = 8%. O objetivo desses ensaios foi o de verificar a influência da fase líquida com pequeno ou nenhum traço residual de proteínas, sobre a conversão da lactose.

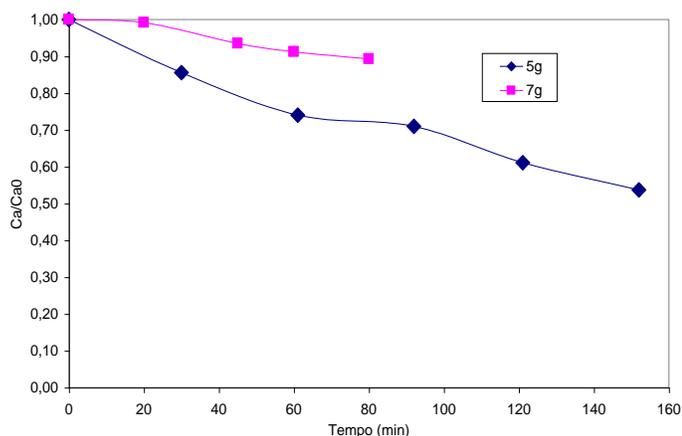


Figura 6: Cinética de Hidrogenação para os ensaios 3 (7g) e 1 (5g). Fonte: Autor.

Na Figura 7, são apresentados os valores médios para a concentração em lactitol, sendo os dados comparados ao lactitol obtido da hidrogenação da lactose comercial. Evidencia-se uma diminuição acentuada da produção de lactitol, quando se utiliza a lactose oriunda do soro de queijo. A ação inibitória da reação, a princípio, é atribuída à alta concentração de íons cloreto [8], que não são retirados pelo processo de coagulação/floculação com o uso da quitosana. Os cloretos apresentam uma ação competitiva na hidrogenação, competindo com os sítios ativos aptos a catalisarem a reação; em outras palavras, agem como um veneno ao catalisador [18].

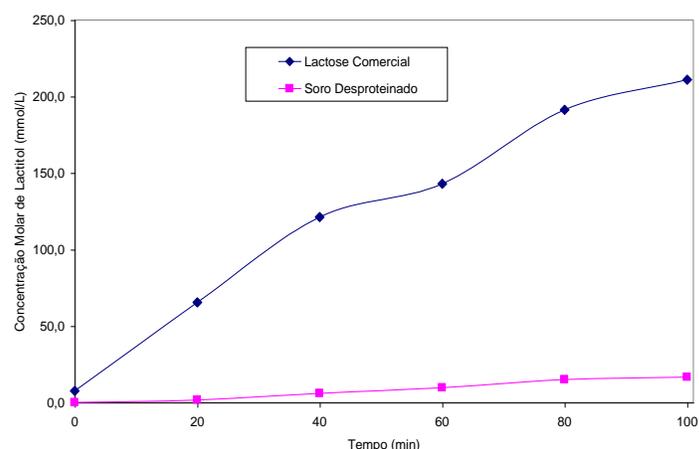


Figura 7: Perfil de concentração do lactitol obtido da hidrogenação da lactose comercial e do soro desproteínado. Fonte: Autor.

Com o objetivo de comprovar realmente a influência da presença de íons cloreto na reação de hidrogenação da lactose existente no soro desproteínado, contribuindo para deposição desses íons nos sítios catalíticos e inibindo o catalisador, foram realizados ensaios suplementares, nas mesmas condições operacionais, porém com a solução de lactose comercial, incluindo uma dosagem adicional de cloreto de 1615 mg.L⁻¹, a qual corresponde ao teor de cloro existente no soro bruto. A fonte utilizada para incorporação do cloreto foi o CaCl₂, conforme se percebe na Figura 8. Os resultados médios dos ensaios feitos confirmam a tendência esperada, e reproduzem em grandes níveis de aproximação o comportamento das curvas experimentais obtidas com a solução sintética da lactose e CaCl₂ e com o soro desproteínado [8]. Os resultados mostram realmente a ação inibitória dos íons cloreto sobre o catalisador.

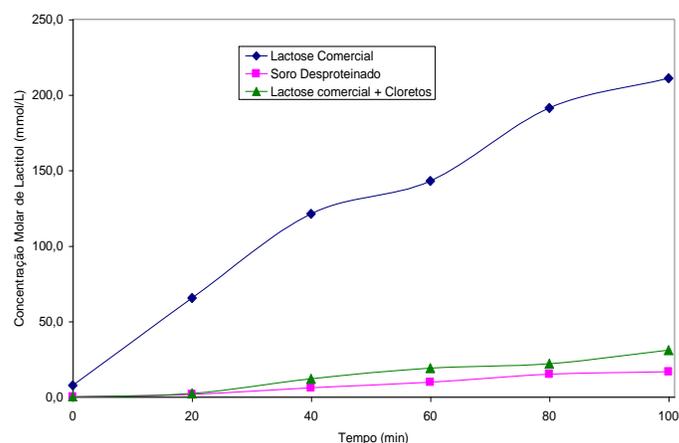


Figura 8: Perfis de concentração do lactitol: Influência dos íons cloretos no soro bruto e na solução sintética da lactose na reação de hidrogenação catalítica. Fonte: Autor.

A retirada dos íons cloreto se faz necessária, e o uso de técnicas de colunas de troca iônica e demais técnicas de dessalinização se constituem em alternativas cabíveis ao

processo, conforme descreve Santana [8], porém, não sendo, alvo do presente estudo.

4 Conclusões

Com base nos resultados obtidos, têm-se as seguintes conclusões:

1. No planejamento estatístico experimental, os resultados obtidos no diagrama de Pareto e curvas de nível indicam que a dosagem de quitosana e o pH do meio dominam o processo de remoção das proteínas presente no soro de queijo.
2. O agente de coagulação, quitosana, apresenta níveis de eficiência na remoção de proteínas superiores a 88%.
3. Os níveis ótimos obtidos neste trabalho, para a operação de floculação de proteínas estão em níveis de pH da ordem de 5,25 e dosagem de quitosana de 400 mg.L⁻¹ de soro, sendo o tempo de 2 horas suficiente para a remoção eficaz desse material.
4. A seletividade da quitosana para as proteínas/gorduras frente à lactose foi observada, mediante determinação dos índices de perdas da lactose na fração sobrenadante do processo, tendo valores máximos 3,3 % de perdas de lactose.
5. A cinética de extração das proteínas é de 1ª ordem sendo limitada a um tempo de extração de 2 horas.
6. Os modelos matemáticos desenvolvidos, para a simulação da eficiência de extração de proteínas, atingiram os objetivos esperados, tendo coeficientes de correlação superiores a 99%, para os modelos mais robustos, e 96%, para aquele com menor número de parâmetros.
7. O processo de hidrogenação catalítica da lactose utilizando catalisadores à base de níquel apresenta viabilidade técnica, principalmente quando soluções isentas de minerais são utilizadas.
8. No planejamento estatístico experimental realizado para a reação de hidrogenação da lactose comercial, os resultados obtidos pelo diagrama de Pareto indicam que os parâmetros mais influentes na taxa de reação são a temperatura e pressão os menos influentes, a massa de catalisador e o teor de níquel no suporte.
9. Nas condições operacionais estudadas para realização da hidrogenação catalítica da lactose comercial, fixando a concentração da lactose a 40 g.L⁻¹, velocidade de agitação do reator de 900 RPM e pH do meio reacional igual a 5,5, as melhores condições encontradas para a reação foram: T = 120°C, P = 1000 psia, massa de catalisador igual a 5 g, percentual de níquel no suporte igual a 8%, cuja conversão da lactose em lactitol foi de 81,24%.
10. O aumento da pressão e da temperatura apresentou efeitos significativos sobre a reação de hidrogenação da lactose, tendo seu incremento uma validação positiva ao processo.

11. A hidrogenação do soro de queijo desproteinado não apresentou níveis satisfatórios de produção de lactitol, tendo em vista a ação inibidora dos íons cloretos presentes inicialmente no soro do queijo, ao se depositarem nos sítios catalíticos levando à perda de atividade do catalisador.

12. A potencialização do reaproveitamento de um resíduo industrial de forma a aumentar seu valor agregado é um importante elemento de apoio à sustentabilidade ambiental da atividade, em especial por fomentar um ciclo tecnologicamente limpo para tal segmento industrial, visto que indícios de viabilidade técnica foram obtidos com o presente trabalho.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq pelo auxílio financeiro.

APPRECIATION AND UTILIZATION OF LACTIC SUB-PRODUCTS: PROTEIN EXTRACTION AND CATALYTIC HYDROGENATION OF THE LACTOSE

ABSTRACT: The cheese-producing industry has in its production cycle to generate a product very rich in protein and lactose, called cheese whey. The waste currently has some food applications, but that does not add value to the real nutritional content and economical product that leverages. In order, therefore, a greater appreciation of cheese whey, studies were conducted for the recovery of proteins and the catalytic conversion of lactose into a polyol of high economic value, called lactitol. The results showed high removal efficiency of proteins in the order of 93% and the conversion of commercial lactose around 90% in 150 minutes of reaction. The applicability of whey, however, requires further testing to remove the chloride ions present in serum.

Keywords: whey, lactose and lactitol.

Referências

- [1] MELO, H. N. S. et al. Proposta de um sistema integrado para gerenciamento dos resíduos do cultivo do coco. In: VIII SILUBESA. 2002. Braga, Portugal. Anais: cd rom.
- [2] PRUDÊNCIO, E. S; BENEDET, H. D. Cienc. Tecnol. Aliment, vol. 29 (1). p. 19-29. (1), 1999.
- [3] VOGELAAR, R. C. & PAWLOWSKY, U. Reaproveitamento do Soro do Queijo por Coagulação com Quitosana. In: 19º Congresso da ABES. 1997. Rio de Janeiro – RJ.
- [4] COSTA, R. C. V. Floculantes Orgânicos Naturais e Inorgânicos para a Separação de Proteínas do Soro de Queijo. Dissertação, Departamento de Engenharia Química, Programa de Pós-graduação em Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal. 2002.
- [5] VIEIRA, J. R. G; DE SOUSA, J. F; DE OLIVEIRA, J. A y DE SOUZA, C. P. Inf. tecnol. [online]. , vol.21, n.6, p. 149-162. 2010.
- [6] GUIMARAES, D. H. RECEN., vol. 13, N. 2, p. 120-132. 2011.



- [7] NORMAS ANALÍTICAS DO INSTITUTO ADOLFO LUTZ. Métodos químicos e físicos para análise de alimentos. 3. ed. São Paulo, 2005. v. 01.
- [8] SANTANA, R. S. Produção de derivados da lactose a partir do Soro de Queijo. Dissertação de Mestrado. Recife – PE. (UFPE). 2003.
- [9] ALFA LAVAL. Manual de Indústrias Lácteas. 2ª ed. Editora Iragra. 1990. Madri – Espanha.
- [10] JERÔNIMO, C.E.M., Valorização e Aproveitamento de Subprodutos Lácticos: Extração de Proteínas e Hidrogenação Catalítica da Lactose, Dissertação de mestrado, Dpto de Eng. Química, UFRN, Natal, Brasil. (2003).
- [11] MACHADO, R. M. G. Controle ambiental em indústrias de laticínios. BRASIL ALIMENTOS - nº 7 - Março/Abril de 2001.
- [12] NASCIMENTO, J. P.. Caderno Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável, Vol. 1, No 1, p. 22-42. 2011.
- [13] SEBRAE-RN. (OLIVEIRA, D. A. I). Como Montar uma Queijeira Padrão. SEBRAE. Natal – Brasil. 2002.
- [14] ESPINOSA, M. Catal Lett: 120, 137-142. 2008.
- [15] KUUSISTO, J. et al. Chemical Engineering Journal: 139, 69-77. 2008.
- [16] SAKKAYAWONG, N., P. THIRAVETYAN y W. NAKBANPOTE, Journal of Hazardous Materials: 145(1), p. 250 – 255. 2007.
- [17] WONG, Y. C. Process Biochemistry: 39, p. 693-702. 2004.
- [18] VIEIRA, J. R. G et al. Inf. tecnol., La Serena, v. 21, n. 6, p-149-162. 2010.