

Secagem do Polissacarídeo λ -Carragena Usando um Leito de Jorro Fluidizado Bidimensional

Drying of λ -Carrageenan Using a Two Dimensional Spouted Fluidized Bed Dryer

Héctor José Ciro Velásquez¹; Florencia Cecilia Menegalli² e Rosiane Lopes Da Cunha³

Resumo. Suspensões de λ -carragena foram secas usando um secador de leito de jorro fluidizado bidimensional com partículas inertesplásticas de ABS (acrilonitrilo-butadieno-estireno). O desempenho do secador (produção de pó e retenção de sólidos) e qualidade do produto seco obtido (propriedades reológicas e teor de umidade) foi avaliado. Os resultados mostraram que a eficiência de produção média de pó foi de 23% com uma retenção média de 71%. A variável mais relevante na secagem das suspensões foi a vazão de alimentação, sendo que um aumento desta variável produziu um baixo rendimento de pó e aumentou a retenção de sólidos dentro do leito. O produto reconstituído de λ -carragena obtido nas condições otimizadas de secagem formou suspensões de natureza altamente pseudoplástica, porém com propriedades viscoelásticas características de suspensões altamente diluídas ($G'' > G'$), mostrando valores de viscosidade, módulos elástico (G') e de perda (G'') menores que o produto comercial.

Palavras chave: Reologia, textura, viscosidade, carboidrato.

Abstract. λ -carrageenan suspensions were dried using a two dimensional spouted fluidized bed dryer with inert particles of ABS (acrylonitrile butadiene styrene). The dryer performance (powder production and solid retention) and quality properties of final product (rheological properties and moisture content) were evaluated. According to results the mean powder production of λ -carrageenan using ABS as inert particle was of 23% with a solid retention of 71%. The most significant variable in the drying of suspension was the feed mass flow rate, as its increase produced a diminishing of the powder production and increasing of the solids retention in the bed. The reconstituted suspensions of λ -carrageenan obtained from optimized conditions of drying formed highly pseudoplastic suspensions with viscoelastic properties of highly diluted ($G'' > G'$) systems. In addition, the rheological characteristics as viscosity, storage (G') and loss moduli (G'') were lower than commercial gum.

Key words: Rheology, texture, viscosity, carbohydrate.

Os hidrocolóides são usados extensivamente na indústria dos alimentos para exercer uma série de funções como espessantes, gelificantes, estabilizantes, emulsificantes, floculantes, lubrificantes, controladores de liberação de sabor ou inibidores da cristalização. São adicionados mediante a solubilização em meio aquoso e normalmente comercializados na forma de pó com diferentes granulometrias e coloração dependendo do processo de obtenção. Além de alterar a resposta reológica, principalmente a viscosidade, a distribuição de tamanho e forma das partículas do pó determinam sua dispersibilidade, solubilidade, capacidade de hidratação, uso e funcionalidade (Williams e Phillips, 2000; Imeson, 2000; Wang e Cui, 2005).

A carragena é um hidrocolóide extraído de algas marinhas vermelhas das espécies *Gigartina*, *Hypnea*, *Euclima*, *Chondrus* e *Iridaea*, tendo como característica uma estrutura molecular altamente

sulfatada. A carragena localiza-se na parede celular e na matriz intercelular do tecido das algas sendo um polissacarídeo de alta massa molecular com conteúdo de éster sulfato de 15 a 40% e formada por unidades alternadas de D-galactose e 3,6-anidro-galactose (3,6-AG), unidas por ligações α -1,3 e β -1,4-glicosídica (Nussinovitch, 1997).

A carragena é solúvel somente em solventes altamente polares, sendo a água o mais importante em alimentos. O pó de carragena dissolve-se lentamente e produz uma solução viscosa em temperaturas acima do intervalo de gelificação. Todas as carragenas são solúveis em água quente (40 a 70 °C), e a temperatura de solubilização depende da força iônica do meio. Em água fria, somente a λ -carragena e os sais de sódio dos tipos kappa (κ) e iota (ι) são solúveis. Os sais de potássio e cálcio das κ - e ι -carragenas não são solúveis em água fria, porém, exibem considerável expansão

¹ Profesor Asociado. Universidad Nacional de Colombia - Sede Medellín - Facultad de Ciencias Agrarias - Departamento de Ingeniería Agrícola y Alimentos. A.A. 1779, Medellín, Colombia. <hjciro@unal.edu.co>

² Professora Titular. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia de Alimentos. Rua Roxo Moreira, 21500, Campinas, SP, Brazil. <fcm@fea.unicamp.br>

³ Professora Associada. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia de Alimentos. Rua Roxo Moreira, 21500, Campinas, SP, Brazil. <rosiane@fea.unicamp.br>

Recibido: Febrero 17 de 2012; aceptado: Mayo 02 de 2012.

por hidratação em função da concentração, tipos de cátions presentes, temperatura da água e condições de dispersão (Imeson, 2000).

A secagem de suspensões biopoliméricas é comumente realizada por métodos convectivos fluidodinamicamente ativos, sendo mais utilizados os sistemas por secado por aspersão e os tambores rotativos. No entanto, esses sistemas de secagem apresentam várias desvantagens como os altos custos de instalação e manutenção, bem como elevado consumo de energia.

Uma alternativa aos processos de secagem de pastas, suspensões e líquidos de alta massa molecular seria a utilização de sistemas de leitos fluidizados com partículas inertes e suas modificações (Pallai-Varsányi *et al.*, 2007; Strumillo e Kudra, 1986). Os sistemas de leitos de jorro com partículas inertes têm sido bem sucedidos na secagem de líquidos biológicos, sendo considerada uma tecnologia eficiente na indústria de alimentos, química e farmacêutica (Freire *et al.*, 2012; Kutsakova, 2004; Law e Mujumdar, 2006; Benali e Amazouz, 2006; Grbavcic *et al.*, 2000). Seu sucesso origina-se fundamentalmente na elevada área interna de troca térmica, ao curto tempo de contato partícula-ar na zona de jorro (região central) e longo tempo na zona de descida (região do ânulo) (Pallai *et al.*, 2006; Prachayawarakorn *et al.*, 2006).

Considerando-se a pouca informação em relação aos efeitos nas características e propriedades físicas dos polissacarídeos, quando são submetidos a secagem, especialmente, em um sistema de leito de jorro bidimensional usando partículas inertes, este trabalho teve como objetivo geral avaliar a performance do secador e as características de qualidade do biopolímero λ -carragena em diferentes condições de temperatura, vazão de pasta e condições fluidodinâmicas de secagem.

MATERIAL E MÉTODOS

Matéria prima. A λ -carragena (Viscarin GP209) foi fornecida pela FMC Biopolymers (Brasil). As suspensões (1% m/m) foram preparadas em água deionizada sob agitação mecânica a 25 °C por 30 min para evitar a formação de agregados ou floculados. Posteriormente, as suspensões foram centrifugadas a 8000 RPM para remover bolhas de ar e armazenadas sob refrigeração a 16 °C durante 24 h para completar sua hidratação e relaxar as tensões.

Equipamento de secagem. Foi utilizado um sistema de secagem de leito de jorro fluidizado bidimensional (Figura 1). Este equipamento é constituído de um ventilador e aquecedor de ar, linha de transporte de ar (jorro-ânulo) e uma câmara de secagem construída em acrílico de 10 mm de espessura com uma base de 0,3 m de largura e 1 m de altura. Na base do secador, a área total de entrada do ar é 0,015 m² (0,3x0,05 m), sendo para o jorro de 0,0025 m² (0,05x0,05 m) e o restante é área efetiva do ânulo (0,0125 m²).

Operação do secador. A operação de secagem iniciou-se com a introdução das partículas inertes (ABS) no equipamento desligado. O jorro foi formado injetando o ar na base do leito e a circulação dos sólidos foi conseguida variando-se a quantidade de ar que passava pelo jorro e ânulo. Os ensaios do planejamento experimental foram realizados mantendo-se a vazão total de ar de secagem em 100 m³/h, que era a máxima capacidade de fornecimento simultâneo das quantidades de ar requeridas no planejamento experimental. Após o estabelecimento do jorro, o ar foi aquecido até o leito atingir o equilíbrio térmico com o ar de secagem (\cong 40 min). Uma vez atingida esta condição, a suspensão foi alimentada continuamente na região do jorro com a ajuda de uma bomba peristáltica (LS Masterflex-mangueira). Em seguida, era ligado o sistema de aquisição de dados que esteve programado para coletar registros a cada minuto. Para cada ensaio do planejamento experimental, 600 gramas de suspensão do biopolímero λ -carragena (1% m/m) foram usados. Um ciclone foi instalado na saída do equipamento para coletar o pó.

O leito foi preenchido com 1,5 kg de partículas inertes de ABS de diâmetro de $2,7 \pm 0,3$ mm, densidade de partícula e "bulk" de $1077,1 \pm 4,6$ e $620,5 \pm 5,1$ kg m⁻³ respectivamente.

Condições experimentais de secagem. Os estudos de secagem foram feitos de acordo com as condições dadas na Tabela 1 utilizando um planejamento experimental completo tipo 2³.

Eficiência de produção (η_p) do pó biopolimérico. Foi avaliada segundo a metodologia definida por Medeiros (2001), comparando a quantidade de matéria seca alimentada sob a forma de solução (M_2) e a quantidade de matéria seca coletada em pó no ciclone após o processo de secagem (M_1). A

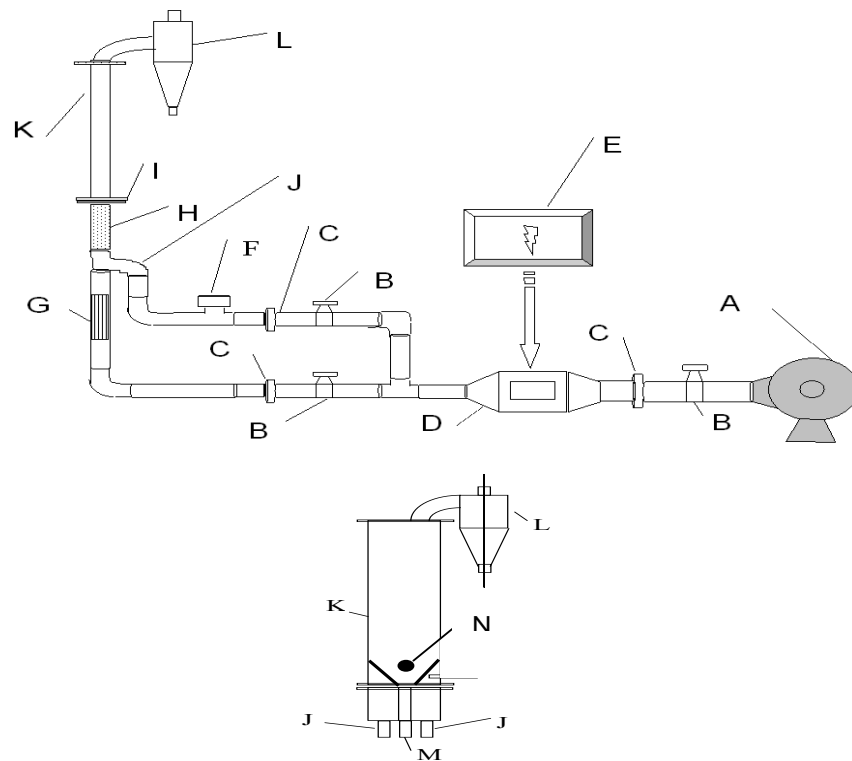


Figura 1. Vista Lateral e frontal do secador bidimensional: (A) Ventilador centrífugo; (B) Válvula globo; (C) Medidor de fluxo; (D) Aquecedor elétrico; (E) Regulador de voltagem; (F) Derivação do ar; (G) Uniformizador da linha de fluxo do ar; (H) Distribuidor de ar para o jorro e ânulo; (I) Flanges; (J) Alimentação de ar para o ânulo; (K) Leito de acrílico; (L) Ciclone; (M) Alimentação de ar para o jorro; (N) Ponto de alimentação da suspensão.

Tabela 1. Fatores e níveis do planejamento experimental usando ABS como partícula inerte.

| FATORES | NÍVEIS** | | | | |
|---|------------|---------|-----------|----------|-----------|
| | -α (-1,68) | -1 | 0 | +1 | +α (1,68) |
| T: Temperatura do ar de secagem, °C. | 43,2 | 50 | 60 | 70 | 76,8 |
| V: Vazão de pasta, g min ⁻¹ . | 1,3 | 2 | 3 | 4 | 4,7 |
| J: % vazão no jorro (Velocidade do ar no jorro, ms ⁻¹) | 43,2(4,8) | 50(5,5) | 60/(6,67) | 70(7,78) | 76,8(8,5) |

*A porcentagem de vazão no jorro foi baseado em uma vazão total do sistema constante de 100 m³ h⁻¹

eficiência foi calculada de acordo com a Equação (1):

$$\eta_p = \frac{M_1}{M_2} * 100 \quad (1)$$

Retenção de sólidos (RS) no leito. Uma vez finalizado o ensaio, as partículas inertes eram removidas do secador usando transporte pneumático e coletadas num recipiente. As partículas inertes com

material retido eram pesadas (M₄), logo, eram lavadas e esfregadas fortemente usando água. As partículas limpas eram levadas para uma estufa de convecção forçada a 65 °C durante 24 h e sua nova massa medida (M₃). A porcentagem de retenção de sólidos no leito foi determinada de acordo com a equação (2):

$$RS(\%) = \left[\frac{M_4 - M_3}{M_2} \right] * 100 \quad (2)$$

Teor de umidade final. O teor de umidade das amostras foi determinado utilizando-se a metodologia da AOAC 920.151 (2005). As amostras de pó, com uma massa entre 2 e 3 g, foram colocadas em pesa-filtros e secas em estufa a vácuo, a 60 °C e sob pressão de 100 mm Hg, até a massa ficar constante. Os ensaios foram feitos em triplicata.

Caracterização reológica. As suspensões aquosas do biopolímero γ -carragena, preparadas a partir do produto comercial e reconstituído, foram submetidas a ensaios reológicos estacionários e dinâmicos. Um reômetro de tensão controlada CarriMed CSL2 500 (TA Instruments®, New Castle, Delaware, USA), foi usado com geometria de cone-placa de aço inoxidável de 60 mm de diâmetro e ângulo de 1°59'. As suspensões de γ -carragena foram avaliadas em 25 °C para o biopolímero comercial e para o material obtido pela secagem na condição otimizada. Todos os ensaios foram realizados em triplicata.

As curvas de escoamento foram determinadas entre 0-300 s⁻¹, para quantificar o intervalo de tensão a ser aplicado. Posteriormente, três rampas contínuas de escoamento, foram efetuadas dentro do intervalo de tensão determinado, para a verificação da existência de dependência com o tempo.

Ensaio oscilatórios. Inicialmente foram feitos ensaios de varredura de tensão em uma frequência fixa de 0,1 Hz para a determinação do intervalo de viscoelasticidade linear. Para a obtenção dos espectros mecânicos, os ensaios dinâmicos foram feitos com uma varredura de frequência entre 0,1 e 10 Hz, usando uma tensão fixa dentro do intervalo de viscoelasticidade linear das suspensões. As variáveis determinadas durante os ensaios oscilatórios dinâmicos foram os módulos de armazenamento (G') e de perda (G'').

Análise estatística. Os dados experimentais foram ajustados ao seguinte modelo polinomial quadrático:

$$y = b_0 + b_1T + b_2V + b_3J + b_{11}T^2 + b_{22}V^2 + b_{33}J^2 + b_{12}TV + b_{13}TJ + b_{23}VJ \quad (3)$$

Nesta expressão, "y" representa a variável resposta obtida experimentalmente (produção de pó, retenção de sólidos e teor de umidade). T, V e J são as variáveis codificadas para a temperatura de ar de secagem, vazão de suspensão e porcentagem de vazão de ar que passa pelo jorro, b₀ e b_i são os coeficientes de ajuste do modelo obtido pela regressão. A análise

estatística e obtenção das superfícies de resposta foi feita usando o software STATISTICA v 5.5 (Statsoft®, USA) com um nível de significância de 5%.

Para avaliar as várias respostas simultaneamente e encontrar os valores operacionais ótimos das variáveis independentes foi usada a abordagem da técnica da desejabilidade (Hill e Lewicki, 2005).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Avaliação do planejamento experimental. Na Tabela 2 são apresentados a avaliação através de análise de variância (ANOVA) e os coeficientes do modelo da regressão (Equação 3) para a produção de pó, retenção de sólidos e teor de umidade do produto final. Para a variável produção de pó e retenção de sólidos a qualidade obtida para o ajuste foi de 83,6% e 88,9%, respectivamente, o que indica um ajuste razoável entre os valores experimentais e previstos pelo modelo. O teste F para a falta de ajuste não foi significativo (F_{FA} < F_{tab}), ou seja, o modelo pode ser considerado preditivo para os dados experimentais (produção de pó e retenção de sólidos). Para a variável teor de umidade, a regressão foi estatisticamente significativa (F_{cal} > F_{tab}), com uma qualidade do ajuste de 73,10%. A falta de ajuste foi estatisticamente significativa (F_{FA} > F_{tab}), assim o modelo só pode ser usado para indicar tendências.

Produção de pó. A variação da aeração no ânulo não teve efeito significativo e relevante na produção de pó de γ -carragena. No entanto, um aumento da temperatura de secagem juntamente com uma diminuição de vazão de suspensão levou ao aumento da produção de pó (Figura 2). O aumento da temperatura de secagem teve maior efeito quando se trabalhou a baixas vazões de pasta, enquanto que o aumento da vazão de suspensão provocou um decréscimo na produção quando a secagem foi realizada a altas temperaturas. Consequentemente, temperaturas acima de 70 °C e vazão de suspensão menor que 2 g min⁻¹, obtiveram-se os máximos níveis de produção. Portanto, o aumento das taxas de evaporação devido ao aumento da temperatura e menores camadas de suspensão na superfície do inerte favoreceram a produção de γ -carragena. Ferreira *et al.* (2002) observaram um aumento na eficiência de recuperação em função do aumento da temperatura de secagem atribuindo tal fato a uma maior queda no teor de umidade do pó e uma maior facilidade de desprendimento deste das partículas inertes.

Tabela 2. Coeficientes de regressão do modelo matemático codificado para predição da produção de pó, retenção de sólidos e teor de umidade (nível de significância 5%).

| Produção de pó | | |
|----------------------------------|--|--------|
| Coeficiente da Regressão | | Valor |
| F_{ca}/F_{tab} | | 8,72 |
| F_{FA}/F_{tab} | | 0,04 |
| R^2 | | 83,6 |
| Média | | 23,11 |
| Temperatura T | | 8,60 |
| Vazão de pasta V | | -7,713 |
| Retenção de sólidos | | |
| Coeficiente da Regressão | | Valor |
| F_{ca}/F_{tab} | | 15,28 |
| F_{FA}/F_{tab} | | 0,01 |
| R^2 | | 88,93 |
| Média | | 71,998 |
| Temperatura T | | -8,601 |
| Vazão de pasta V | | 7,713 |
| Teor de umidade do produto final | | |
| Coeficiente da Regressão | | Valor |
| F_{ca}/F_{tab} | | 19,73 |
| F_{FA}/F_{tab} | | 0,95 |
| R^2 | | 73,10 |
| Média | | 9,635 |
| Temperatura T | | -1,053 |
| Temperatura T ² | | -0,175 |
| Vazão de pasta V | | 1,168 |
| Vazão de pasta V ² | | 0,245 |
| % Ar no jorro J ² | | 0,093 |
| T*V | | 0,093 |

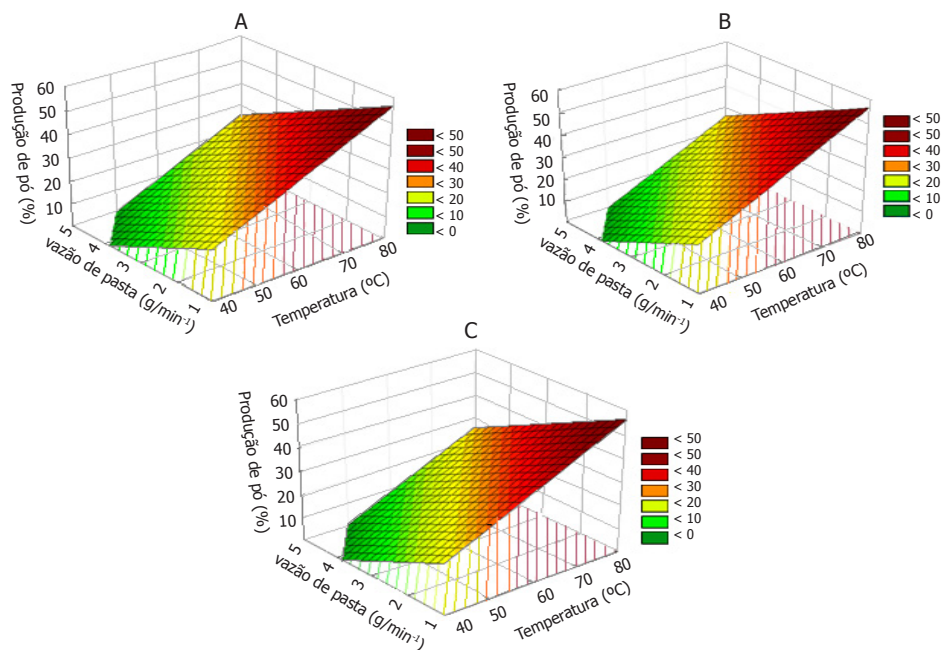


Figura 2. Produção de pó de γ -carragena seca usando partículas inertes de ABS em função da temperatura de secagem e vazão de pasta para diferentes % de vazão de ar no jorro: A (43%/43 m³ h⁻¹), B (60%/60 m³ h⁻¹) e C (77%/77 m³ h⁻¹).

Retenção de sólidos (RS) no leito. Esta variável de performance do secador é mostrada na Figura 3 em função da temperatura do ar e a vazão de suspensão, para diversas porcentagens de vazão de ar no jorro. O acúmulo de sólidos dentro do leito

aumentou a medida que a vazão de alimentação aumentou e a temperatura foi reduzida, o que está de acordo com os resultados obtidos para produção de pó (Figura 2). A retenção de material foi causada pela intensificação das forças adesivas (aumento

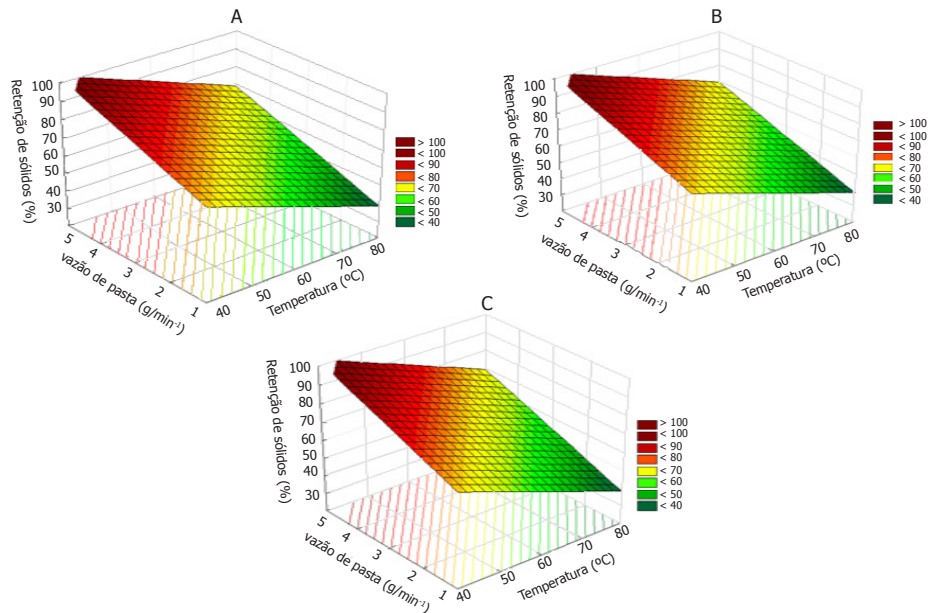


Figura 3. Retenção de sólidos de γ -carragena usando um leito de partículas ABS em função da temperatura de secagem e vazão de suspensão para diferentes porcentagens de ar no jorro: A (43%/43 m³ h⁻¹), B (60%/60 m³ h⁻¹) e C (77%/77 m³ h⁻¹).

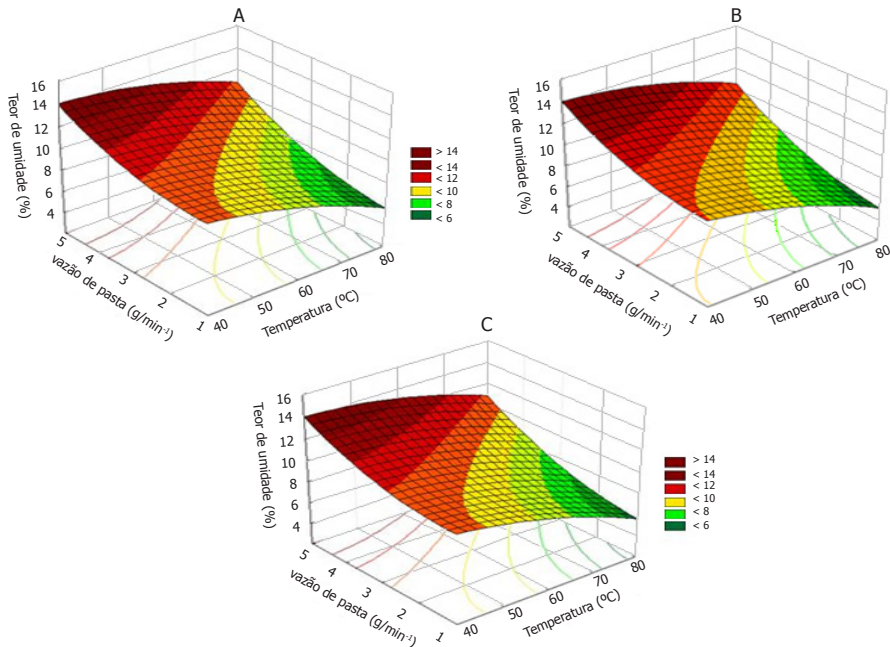


Figura 4. Teor final de umidade de γ -carragena seca usando partículas inertes de ABS em função da temperatura de secagem e vazão de suspensão para diferentes porcentagens de ar no jorro: A (43%), B (60%), C (77%).

da vazão) junto às baixas taxas de evaporação (diminuição da temperatura).

Teor de umidade do pó de γ -carragena. Na Figura 4 é apresentado o teor de umidade final do pó de carragena em função das condições de secagem. Baixas vazões de suspensão associadas com altas temperaturas do ar de secagem diminuíram a umidade do pó. A redução da umidade final do pó em temperaturas elevadas foi verificada por outros autores (Christ, 2006; Ferreira *et al.*, 2002; Marreto *et al.*, 2006). O aumento da temperatura conduziu a maiores taxas de secagem e a umidade de equilíbrio

do material tendeu a ser menor em temperaturas mais baixas, o que pode explicar o decréscimo do teor de umidade. Altos valores do teor de umidade estão associados à baixa eficiência de produção de pó e a alta porcentagem de retenção de sólidos dentro do leito.

Desejabilidade e otimização do processo. Os resultados do processo de otimização para o leito operado com partículas de ABS são apresentados na Figura 5. Os resultados do processo de otimização mostraram que a condição ótima de desempenho foi alcançada operando o secador com uma temperatura

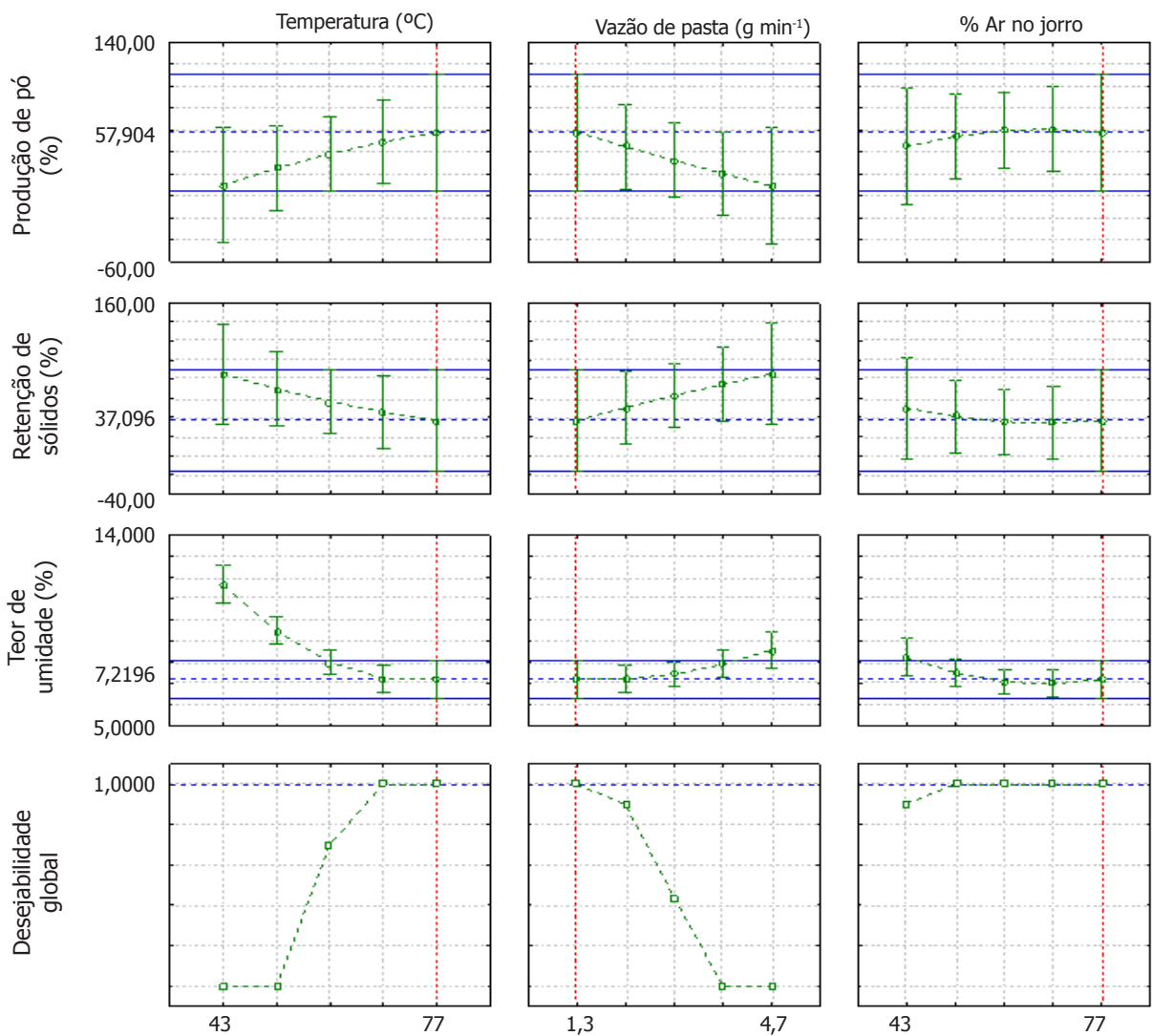


Figura 5. Análise de desejabilidade para otimizar as variáveis de secagem de γ -carragena em um leito de partículas inertes de ABS.

de secagem de 77 °C, vazão de pasta 1,3 g/min e porcentagem de vazão de ar no jorro de 77% ($77 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}/8,5 \text{ m s}^{-1}$), obtendo-se uma produção de pó de 58%, uma retenção de sólidos no leito de sólidos 37% e um teor final de umidade de 7,1%. Assim, o modelo prediz que aproximadamente 5% do produto não é recuperado pelo ciclone representando a quantidade

de material que fica aderido nas paredes do acrílico, além do produto arrastado pelo gás efluente.

Na Tabela 3, encontram-se os valores experimentais médios para as variáveis resposta produção de pó, retenção de sólidos no leito e teor de umidade e as diferenças com relação a os valores preditos pelo

Tabela 3. Validação experimental do desempenho do secador com leito de partículas de ABS na secagem de γ -carragena no ponto de otimização.

| Partícula | Variáveis de resposta | Valor Experimental (%) | Diferença (com relação ao modelo) (%) |
|-----------|-----------------------|------------------------|---------------------------------------|
| ABS | Produção de pó | 47,23 | -22,6 |
| | Retenção de sólidos | 46,25 | 19,80 |
| | Teor de umidade | 5,9 | -22,22 |

processo de otimização mostrado na Figura 5. Os resultados mostraram que o modelo prediz maiores valores para a produção de pó e menores para a retenção de sólidos dentro do leito e para o teor de umidade.

Reologia das suspensões de γ -carragena obtidas pela secagem. Na Figura 6 são apresentados os reogramas a 25 °C para a γ -carragena reconstituída em condição de secagem

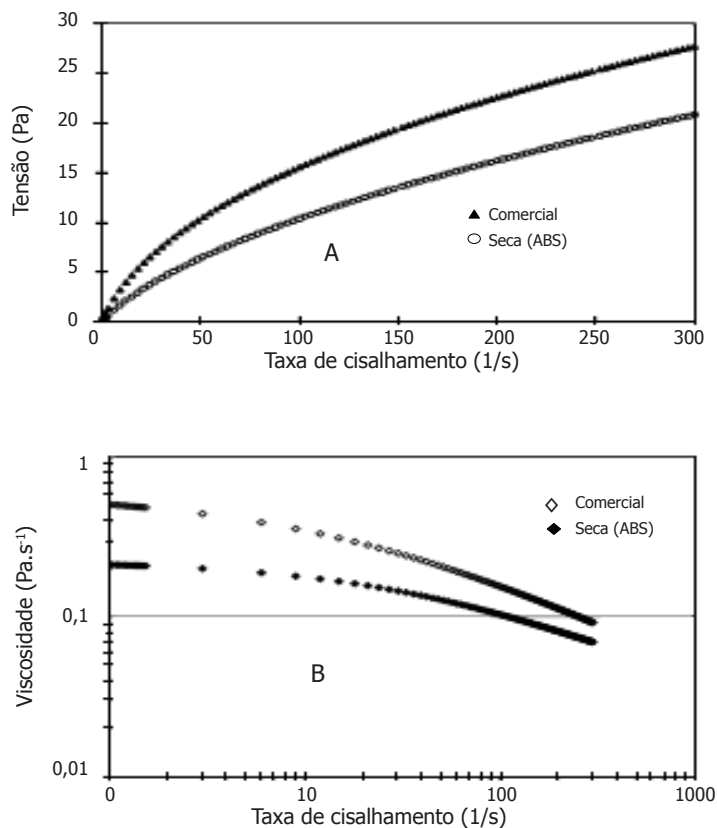


Figura 6. Curvas de escoamento para suspensões de γ -carragena comercial e reconstituída em condições otimizadas com partículas inertes de ABS: Tensão de cisalhamento (A) e Viscosidade (B).

otimizada e comercial para uma concentração de 1% (m/m).

Os resultados mostraram que as condições de secagem alteraram severamente as características reológicas da goma γ -carragena. A característica pseudoplástica foi conservada enquanto que a queda do valor da viscosidade foi significativa. Segundo Lizarraga *et al.* (2006), o comportamento pseudoplástico de suspensões aquosas de carragena pode ser explicado em termos da estrutura da rede molecular da suspensão, pois sob cisalhamento a taxa de destruição da rede é superior à taxa de formação de novas redes, levando à redução na densidade de rede e portanto da viscosidade da suspensão. O elevado cisalhamento durante o processo (atrído entre as partículas e carragena) pode ter contribuído a esta queda de viscosidade.

A viscosidade do produto seco obtido em condições de secagem otimizadas atingiu a metade do valor da goma comercial para taxas de cisalhamento entre $1-10 \text{ s}^{-1}$, enquanto que acima de 10 s^{-1} a queda de viscosidade foi entre 35-70%. Assim, altas temperaturas de secagem ($77 \text{ }^\circ\text{C}$) juntamente com baixas vazões de suspensão (maiores tempos de processamento) também contribuíram para a queda das propriedades reológicas. Resultados similares foram apresentados por

Lai *et al.* (2000) e Lii *et al.* (1999), em que a queda de viscosidade foi associada com a alteração ou modificação da cadeia molecular do polissacarídeo.

Na Figura 7, pode-se observar o comportamento viscoelástico da goma comercial de γ -carragena na solução aquosa 1% (m/m) a $25 \text{ }^\circ\text{C}$. Os resultados mostraram que o módulo de perda (G'') foi maior que o módulo de armazenamento G' em todo o intervalo de frequência estudado, o que concorda com Rodd *et al.* (2000). Os valores de G' e G'' convergem para altas frequências o que é uma característica das suspensões diluídas e não gelificantes mostrando uma alta dependência com a frequência (Tadros, 2010; Steffe, 1996).

Observa-se, que a γ -carragena mantém sua característica de suspensão diluída após a secagem ($G'' > G'$) dentro do intervalo de frequência estudado. No entanto, os valores de G' e G'' decresceram significativamente com relação ao produto comercial, sendo a diferença entre G'' e G' maior para o produto seco indicando um comportamento de suspensão mais diluída. Assim as condições de secagem otimizadas devem ter levado a uma despolimerização do produto acarretando possivelmente em uma mudança estrutural da goma, o que concorda com os resultados obtidos com as curvas de escoamento (Figura 6).

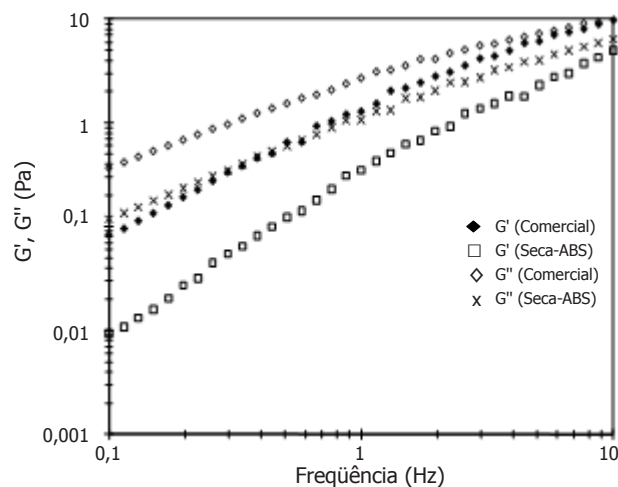


Figura 7. Módulos de armazenamento (G') e de perda (G'') para suspensão de γ -carragena obtida pelo processo de secagem otimizado com partículas inertes de ABS.

CONCLUSÕES

O uso de um secador de leito de jorro fluidizado bidimensional com partículas inertes de esferóides de ABS permitiu obter pó reconstituído a partir de

suspensões de γ -carragena. A vazão de suspensão e temperatura de secagem foram as condições operacionais mais relevantes. Além disso, as suspensões de γ -carragena obtidas pela secagem em jorro fluidizado formaram suspensões de natureza

altamente pseudoplástica e com propriedades viscoelásticas de suspensões altamente diluídas.

O uso da tecnologia de leite de jorro pode ser viável na secagem contínua de sistemas biopoliméricos utilizando materiais inertes com baixa tensão superficial. No entanto, sua aplicação e uso em escala industrial são complexas, devido fundamentalmente à baixa vazão de suspensão e alto tempo de processamento que são necessários para obter uma alta eficiência de produção de pó e uma mínima retenção do material.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- A.O.A.C. 2005. Official methods of analysis. Association of Official Analytical Chemists (No. 920.151). William Horwitz (ed.). Thirteenth edition, Washington.
- Benali, M. and M. Amazouz. 2006. Drying of vegetable starch solutions on inert particles: quality and energy aspects. *Journal of Food Engineering* 74(4): 484-489.
- Christ, D. 2006. Secagem de clara de ovo em leite de jorro fluidizado bidimensional. Tese Mestrado em Engenharia de Alimentos. Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas. 186 p.
- Ferreira, J.A., T.C. Andrade, M.C. Mancini e C.M. Scheid. 2002. Obtenção de concentrado de feijão em pó em leite de jorro bidimensional. *Revista Universidade Rural, Série Ciências Exatas e da Terra* 22(1): 105-112.
- Freire, J.T., M.C. Ferreira, F.B. Freire and B.S. Nascimento. 2012. A review on paste drying with inert particles as support medium. *Drying Technology* 30(4): 330-341.
- Grbavcic, Z.B., Z.L. Arsenijevic and R.V. Garic-Grulovic. 2000. Drying of suspension and pastes in fluidized bed of inert particles. *Journal of the Serbian Chemical Society* 65(12): 963-974.
- Hill, T. and P. Lewicki. 2005. *Statistics: methods and applications*. StatSoft, New York. 800 p.
- Imeson, A. 2000. Carrageenan. pp. 87-102. In: Phillips G.O. and P.A. Williams (eds.). *Handbook of hydrocolloids*. CRC Press, New York. 450 p.
- Kutsakova, V.E. 2004. Drying of liquid and pasty products in a modified spouted bed of inert particles. *Drying Technology* 22(10): 2343-2350.
- Lai, V.M., C.Y. Lii, W.L. Hung and T.J. Lu. 2000. Kinetic compensation in depolymerisation of food polysaccharides. *Food Chemistry* 68(3): 319-325.
- Law, C.L. and A.S. Mujumdar. 2006. Fluidized bed dryers. In: Mujumdar, A.S. (ed.). *Handbook of industrial drying*. Third edition. CRS Press, New York. 1.312 p.
- Lii, C.Y., C.H. Chen, A.I. Yeh and V.M. Lai. 1999. Preliminary study on the degradation kinetics of agarose and carrageenans by ultrasound. *Food Hydrocolloids* 13(6): 477-481.
- Lizarraga, M.S., D.D. Piante, R. González, A. Rubiolo and L.G. Santiago. 2006. Rheological behaviour of whey protein concentrate and λ -carrageenan aqueous mixtures. *Food Hydrocolloids* 20(5): 740-748.
- Marreto, R.N., J.T. Freire and L.A. Freitas. 2006. Drying of pharmaceuticals: The applicability of spouted bed. *Drying Technology* 24(3): 327-338.
- Medeiros, M.F. 2001. Influencia da composição química dos materiais no desempenho do processo de secagem de polpas de frutas em leite de jorro. Tese Doutorado em Engenharia Química. Faculdade de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas. 233 p.
- Nussinovitch, A. 1997. *Hydrocolloid applications*. Chapman and Hall, New York. 380 p.
- Pallai-Varsányi, E., J. Tóth and J. Gyenis. 2007. Drying of suspensions and solutions on inert particle surface in mechanically spouted bed dryer. *China Particuology* 5(5): 337-344.
- Pallai, E., T. Szentmarjay and A.S. Mujumdar. 2006. Spouted bed drying. In: Mujumdar, A.S. (ed.). *Handbook of industrial drying*. Third edition. CRS Press, New York. 1.312 p.
- Prachayawarakorn, S., S. Ruengnarong and S. Soponronnarit. 2006. Characteristics of heat transfer in two-dimensional spouted bed. *Journal of Food Engineering* 76(3): 327-333.
- Rodd, A.B., C.R. Davis, D.E. Dunstan, B.A. Forrest and D.V. Boger. 2000. Rheological characterisation of 'weak gel' carrageenan stabilised milks. *Food Hydrocolloids* 14(5): 445-454.

Steffe, J.F. 1996. Rheological methods in food process engineering. Second edition. Freeman Press, East Lansing, Michigan, USA. 418 p.

Strumillo, C. and T. Kudra. 1986. Drying: principles, applications and design. Gordon and Breach Science Publishers, New York. 448 p.

Tadros, F. 2010. Rheology of Dispersions. First edition. Wiley-VCH, Singapore. 216 p.

Wang, Q. and S.W. Cui. 2005. Understanding the physical properties of food polysaccharides. pp. 161-217. In: Cui, S. (ed.). Food carbohydrates: chemistry, physical properties and applications. Taylor and Francis, New York. 418 p.

Williams, P.A. and G.O. Phillips. 2000. Introduction to food hydrocolloids. pp. 1-19. In: Phillips, G.O. and P.A. Williams (eds.). Handbook of Hydrocolloids. CRC Press, New York. 450 p.