

# AGLOMERAÇÃO DE PROTEÍNA CONCENTRADA DO ARROZ EM PÓ EM LEITO FLUIDIZADO: INFLUÊNCIA DAS VARIÁVEIS OPERACIONAIS NO PROCESSO

L. S. KIS<sup>1</sup>, K. ANDREOLA<sup>1</sup> e O. P. TARANTO<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Química  
E-mail para contato: leticiakis@yahoo.com.br

**RESUMO** – O objetivo desse trabalho foi realizar o estudo da aglomeração da proteína concentrada de arroz em pó em leito fluidizado e avaliar a influência da temperatura do ar e vazão de solução ligante na umidade final, fluidez, tempo de instantaneização e rendimento do processo. O processo de aglomeração resultou no aumento no diâmetro médio do material, o que melhorou o nível de fluidez e proporcionou melhores propriedades de instantaneização, viabilizando a sua utilização em diversas aplicações. A condição estudada que forneceu umidade final, fluidez e tempo de instantaneização desejáveis foi para temperatura do ar de 80 °C e vazão de solução ligante de 1,5 mL/min.

## 1. INTRODUÇÃO

As mudanças no estilo de vida e hábitos alimentares da população têm estimulado o aumento no consumo de alimentos industrializados de fácil preparo e consumo. Nesse sentido, torna-se evidente a necessidade de pesquisas para o desenvolvimento de alimentos que aliem qualidade nutricional, benefícios à saúde e praticidade no preparo e consumo.

As proteínas do grão de arroz destacam-se devido às suas propriedades nutritivas, nutracêuticas e funcionais, são ricas em aminoácidos essenciais e apresentam maior digestibilidade em comparação com a maioria das proteínas dos demais cereais (JULIANO, 1993). A proteína concentrada do arroz em pó apresenta partículas muito finas, o que dificulta sua solubilidade e dispersão em líquidos, comprometendo sua utilização. Sendo assim, o processo de aglomeração representa uma alternativa interessante para melhorar as propriedades de instantaneização desse material, viabilizando a sua utilização em diversas aplicações, tais como na formulação de produtos alimentícios e farmacêuticos.

O processo de aglomeração consiste na combinação de três fenômenos. A primeira etapa é a “umidificação e nucleação”, que consiste no contato do agente ligante com o pó e na formação dos grânulos. A segunda etapa é a “consolidação e coalescência”, na qual a colisão dos grânulos entre si provoca o aumento do tamanho das partículas. A última etapa é denominada de “atrito e quebra”, na qual ocorre o rompimento dos grânulos devido ao impacto, desgaste ou compactação das partículas (IVESON *et al.*, 2001). A aglomeração proporciona melhores propriedades de instantaneização, devido ao aumento do tamanho das partículas e da porosidade, o que permite a rápida penetração de líquido no interior do material, via capilaridade. Além disso, facilita as condições de transporte e armazenamento (HOGEKAMP e SCHUBERT, 2003).

Leitos fluidizados são amplamente utilizados para a aglomeração de partículas em diversos setores industriais, pois apresentam elevadas taxas de transferência de calor e de massa, decorrentes da grande mistura do material sólido que é proporcionada pelo movimento das bolhas de gás (KUNII e LEVENSPIEL, 1991). A aglomeração em leitos fluidizados é realizada pela atomização de um líquido ligante sobre partículas em movimento agitado, de modo que o gás utilizado para fluidização das partículas também provoca a evaporação do ligante e a secagem do material.

No presente trabalho foi realizado o estudo do processo de aglomeração da proteína concentrada do arroz em pó em leito fluidizado, com o objetivo de avaliar a influência das variáveis operacionais, temperatura do ar e vazão de solução ligante na umidade final, fluidez, tempo de instantaneização e rendimento do processo.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

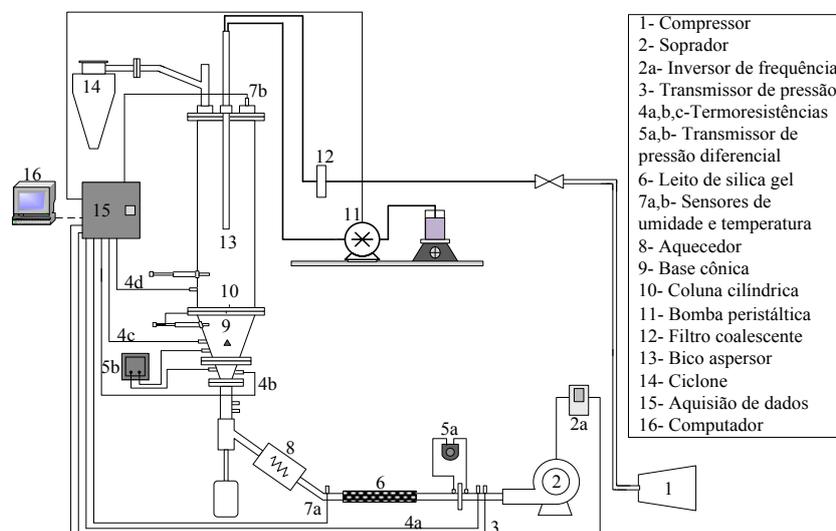
### 2.1. Matéria-Prima

A matéria-prima utilizada nesse trabalho foi a proteína concentrada de arroz, fornecida pela empresa Grankow, localizada na cidade de Joinville, SC.

### 2.2. Sistema Experimental

O equipamento utilizado consiste de um leito fluidizado de acrílico Plexiglas®. O ar é fornecido por um soprador de ar (WEG, 7,5 HP) e aquecido por uma resistência elétrica blindada. Sensores de pressão, temperatura e umidade estão dispostos na unidade e são acoplados ao computador. O acionamento dos equipamentos e o processamento dos dados são realizados de forma automatizada por meio do *software* Labview™ 8.6, através de instrumentos virtuais (VI). Uma bomba peristáltica (Cole Parmer, 7780-60, Masterflex L/S) é utilizada para o transporte da solução ligante até um bico atomizador do tipo duplo fluido (Spraying Systems, SU12A). A Figura 1 apresenta o sistema experimental.

Figura 1 – Sistema experimental



### 2.3. Caracterização da Matéria-Prima e do Produto Aglomerado

A caracterização físico-química da matéria-prima e do produto aglomerado consistiu na realização de análises de teor de umidade, diâmetro médio de partícula, tempo de instantaneização e fluidez. O teor de umidade foi determinado em estufa a 105 °C até peso constante (AOAC, 1995). Foi considerado como desejável, um produto aglomerado com umidade final menor ou igual à umidade da matéria-prima. O diâmetro médio ( $D_{50}$ ) das partículas da matéria-prima e do produto aglomerado, exceto nas condições do ponto central, foi determinado por difração a laser através do equipamento Mastersizer 3000 (Malvern Instruments).

Tempo de instantaneização: O tempo de instantaneização é o tempo necessário para a submersão de todas as partículas do pó, após serem colocadas sobre a superfície de um líquido. Essa análise foi realizada de acordo com Dacanal e Menegalli (2010) e utilizou-se 2g de amostra e 60 mL de água destilada. O teste de instantaneização foi acompanhado por meio de uma câmera digital (Sony Cyber) e as imagens foram processadas com o auxílio do *software* Windows Live Movie Maker. O teste foi finalizado quando ocorreu a submersão completa da camada de partículas. Foi considerado como desejável, tempo de instantaneização menor que o obtido para a matéria-prima.

Fluidez: A fluidez, que é a facilidade em que um determinado material particulado escoar, foi avaliada através do índice Carr ( $I_{Carr}$ ) (Equação 1). O índice de Carr foi calculado empregando-se a densidade do leito ( $\rho_b$ ) e a densidade do leito compactado ( $\rho_t$ ). Na Tabela 1 é apresentada a relação entre o índice de Carr e a fluidez do material. Escoamento livre ou bom escoamento foram considerados como sendo desejáveis para o produto aglomerado.

$$I_{Carr}(\%) = \frac{\rho_t - \rho_b}{\rho_t} \times 100 \quad (1)$$

Tabela 1 - Relação entre o índice de Carr ( $I_{Carr}$ ) e a fluidez (TURCHIULI *et al.*, 2005)

$I_{Carr}$ (%)	Nível de fluidez
$I_{Carr} < 15$	Escoa livremente
15 – 20	Bom escoamento
20 – 35	Moderado
35 – 45	Coesivo
$I_{Carr} > 45$	Muito coesivo

### 2.4. Procedimento Experimental

Para a realização do processo de aglomeração de proteína concentrada do arroz em leito fluidizado, utilizou-se como agente ligante uma solução de maltodextrina 20%. A pressão de atomização utilizada foi de 15 psi e a vazão do ar de fluidização foi de 0,11 kg/m<sup>3</sup>. O procedimento experimental consistiu, primeiramente, da alimentação do leito com 400g de material. Em seguida, foram acionados o soprador de ar e a resistência elétrica. Após 5 minutos de aquecimento do sistema, acionou-se a bomba peristáltica, iniciando-se a

alimentação da solução ligante. Para cada experimento padronizou-se como sendo o final do processo a adição completa de 100 mL de solução ligante.

Os ensaios foram realizados de forma aleatória de acordo com um planejamento fatorial completo  $2^2$  com três repetições no ponto central. As variáveis independentes foram temperatura do ar (60 - 80 °C) e vazão de solução ligante (1,5- 2,5 mL/min), codificadas como X1 e X2, respectivamente. As respostas do planejamento foram umidade final e rendimento do processo. A análise estatística foi realizada com auxílio do *software* Statistica® 8.0, considerando limite de confiança de 95 % ( $p \leq 0,05$ ). O rendimento do processo ( $\eta\%$ ) foi obtido por meio da Equação 2, sendo definido como a razão entre a massa de produto remanescente no leito ao final dos ensaios ( $m_f$ ) e a massa inicial de produto adicionado no leito ( $m_i$ ). Desconsiderou-se a fração de material elutriado ( $m_{elut}$ ) e as perdas decorrentes da incrustação de produto na parede do leito ( $m_{inc}$ ), ou pela formação de torrões ( $m_{torrões}$ ).

$$\eta(\%) = \frac{m_f}{m_i} = \frac{m_i - (m_{elut} - m_{inc} - m_{torrões})}{m_i} \quad (2)$$

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A matéria-prima apresentou umidade de 4,65%, diâmetro médio de 54,2  $\mu\text{m}$ , nível de fluidez moderado representado pelo  $I_{Carr} = 30\%$  e tempo de instantaneização de 140 segundos.

Os resultados de umidade final, rendimento do processo e diâmetro médio para as condições estudadas no planejamento experimental estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Variáveis codificadas, reais e respostas do planejamento experimental e diâmetro médio de partícula

Ensaio	Variáveis codificadas		Variáveis reais		Respostas		
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	T (°C)	Q <sub>sol</sub> (mL/min)	U (% b.u)	$\eta$ (%)	D <sub>50</sub> ( $\mu\text{m}$ )
1	-1	-1	60	1,5	7,40	63,69	97,38
2	1	-1	80	1,5	4,64	58,85	100,88
3	-1	1	60	2,5	11,40	72,31	90,59
4	1	1	80	2,5	6,60	61,49	85,76
5(PC)	0	0	70	2,0	7,35	65,27	-
6(PC)	0	0	70	2,0	7,46	66,49	-
7(PC)	0	0	70	2,0	7,82	67,61	-

X<sub>1</sub>, T: Temperatura do ar; X<sub>2</sub>, Q<sub>sol</sub>: vazão de solução ligante; U<sub>bu</sub> : umidade em base úmida;  $\eta$ : rendimento; D<sub>50</sub>: diâmetro médio; PC: ponto central.

Pela Tabela 2 é possível constatar que maiores diâmetros de partículas foram obtidos para menores vazões de solução atomizada. A menor vazão de solução ligante atomizada favoreceu o aumento do tamanho das partículas, uma vez que o regime de fluidização

permaneceu estável até o final do processo, o que foi observado visualmente. Provavelmente, houve um equilíbrio entre o balanço da evaporação do ligante e a taxa de secagem, propiciando o crescimento dos grânulos. Para maiores vazão de solução ligante, observou-se uma tendência a defluidização do leito à medida que o processo evoluía, o que provavelmente dificultou a secagem e, conseqüentemente, prejudicou a consolidação e coalescência dos grânulos, impedindo o seu crescimento. A condição de maior temperatura e menor vazão de solução ligante (ensaio 2) foi a única condição na qual obteve-se umidade final menor ou igual a umidade da matéria-prima. A variação na temperatura do ar não teve uma correlação clara com o diâmetro médio das partículas.

A Tabela 3 mostra a influência dos efeitos principais e de suas interações nas respostas estudadas. Verifica-se que ambas as variáveis operacionais tiveram efeitos significativos na umidade final e no rendimento do processo, para um limite de confiança de 95%. Observa-se ainda que, o efeito da temperatura do ar apresentou uma influência negativa, o que significa que com o aumento da temperatura do ar a umidade final do produto e o rendimento do processo diminuiriam.

Tabela 3 - Estimativa dos efeitos para as respostas do planejamento experimental

Variáveis operacionais	U <sub>b,u</sub> (umidade)		η (%) (rendimento)	
	Efeito	P	Efeito	P
Média	7,52	0,0001	65,10	0,00004
T (°C) (X <sub>1</sub> )*	-3,78	0,004*	-7,83	0,021*
Q <sub>sol</sub> (mL/min) (X <sub>2</sub> )*	2,98	0,006*	5,63	0,040*
X <sub>1</sub> *X <sub>2</sub>	-1,02	0,053	-2,99	0,125

\*efeitos significativos para um limite de confiança de 95 % ( $p \leq 0,05$ ).

Ainda constatou-se que a vazão de solução ligante apresentou um efeito positivo sobre as respostas umidade final e rendimento do processo. Isso demonstra que o aumento da vazão de ligante resultou em maior umidade final e rendimento do processo. Esses resultados corroboram com os resultados obtidos por Dacanal e Menegalli (2010) que estudaram a aglomeração da proteína isolada de soja. A interação entre as variáveis independentes não teve influência significativa nas respostas umidade final e rendimento do processo.

Na Tabela 4 constam os resultados de nível de fluidez e tempo de instantaneização para as condições estudadas. Verificou-se que aumento no tamanho das partículas ocasionado pelo processo de aglomeração melhorou o nível de fluidez e diminuiu o tempo de instantaneização do material. Para todas as condições estudadas o produto aglomerado apresentou bom escoamento, exceto na condição com menor temperatura do ar (60 °C) e maior vazão de solução ligante (2,5 mL/min), em que o escoamento foi moderado. Nessa condição, o produto apresentou elevada umidade final (11,40% b.u), o que provavelmente afetou sua escoabilidade. O produto aglomerado apresentou menor tempo de instantaneização quando comparado com a matéria-prima, para todas as condições estudadas. Esse resultado é devido ao aumento do tamanho das partículas, que permitiu a penetração de líquido no seu interior de forma mais rápida (HOGEKAMP e SCHUBERT, 2003). Também se observa que maiores temperaturas resultaram em menores tempos de instantaneização, o que pode estar

relacionado com a umidade do produto, que foi menor para maiores temperaturas, facilitando a penetração da água no interior dos grânulos.

Tabela 4 – Nível de fluidez e tempo de instantaneização para o produto aglomerado

Testes	T (°C)	Q <sub>sol</sub> (mL/min)	Tempo de instantaneização (s)	I <sub>Carr</sub>	Nível de Fluidez
1	60	1,5	90	15	Bom escoamento
2	80	1,5	36	19	Bom escoamento
3	60	2,5	85	23	Moderado
4	80	2,5	22	20	Bom escoamento
5(PC)	70	2,0	43	20	Bom escoamento
6(PC)	70	2,0	47	20	Bom escoamento
7(PC)	70	2,0	39	20	Bom escoamento

#### 4. CONCLUSÃO

O processo de aglomeração resultou no aumento do diâmetro médio do material, o que melhorou seu nível de fluidez e proporcionou melhores propriedades de instantaneização, viabilizando sua utilização em diversas aplicações. A condição estudada que proporcionou umidade final, fluidez e tempo de instantaneização desejáveis foi para temperatura do ar de 80 °C e vazão de solução ligante de 1,5 mL/min, apesar de nessa condição o rendimento do processo ter sido menor (58,85%). Nessa condição o produto aglomerado apresentou umidade final de 4,64%, bom escoamento e tempo de instantaneização de 36 segundos.

#### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AOAC. Official methods of analysis of the Association of official analytical chemists. 16 ed. Washington, 1995.
- DACANAL, G. C.; MENEGALLI, F. C. Selection of operational parameters for the production of instant soy protein isolate by pulsed fluid bed agglomeration. *Powder Technol.*, v. 203, p. 565-573, 2010.
- HOGKAMP, S.; SCHUBERT, H. Rehydration of food powders. *Food Sci. Technol. Int.*, v. 9, p. 223-235, 2003.
- IVESON, S. M.; LITSTER, J. D.; HAPGOOD, K.; ENNIS, B. J. Nucleation, growth and breakage phenomena in agitated wet granulation processes: a review. *Powder Technol.*, v. 117, p.3-39, 2001.
- JULIANO, B. O. *Rice in human nutrition*. Rome: FAO, 1993. 168 p.
- KUNII, D.; LEVENSPIEL, O. *Fluidization Engineering*. New York: John Wiley, 1991.
- TURCHIULI, C.; ELOUALIA, Z.; MANSOURI, N. E.; DUMOULIN, E. Fluidised bed agglomeration: Agglomerates shape and end-use properties. *Powder Technol.*, p. 168-175, 2005.