

SECAGEM EM LEITO DE JORRO DE PASTA DE VEGETAIS ENRIQUECIDA DE SANGUE BOVINO: COMPARAÇÃO DAS GEOMETRIAS CONE-CILÍNDRICA E RETANGULAR

S. F. da ROCHA¹, M. L. MONTE¹, M. C. K. RODRIGUES¹, A. P. Q. LARROSA¹ e L. A. A. PINTO¹

¹ Universidade Federal do Rio Grande, Escola de Química e Alimentos
E-mail para contato: silvinharocha_@hotmail.com

RESUMO – A secagem é uma operação que visa aumentar o tempo de conservação dos alimentos. O leito de jorro com partículas inertes tem sido empregado para secagem de pastas e suspensões, mostrando vantagens devido a característica do pó e ao seu custo. O objetivo do trabalho foi avaliar a secagem de pasta de vegetais enriquecida de sangue bovino em leito de jorro, comparando as geometrias cone-cilíndrica e retangular. As condições de secagem foram: vazão de alimentação de 600 mL/h, temperatura do ar de 110°C e concentração da pasta de 7% (g/g). Os melhores resultados da secagem foram encontrados no secador cone-cilíndrico, com acúmulo de material no leito de 10,5% (g/g). Os produtos obtidos pelas diferentes geometrias apresentaram diferenças significativas ($p < 0,05$) nas respostas de solubilidade protéica, índice de solubilidade em água, compostos fenólicos e atividade antioxidante. No entanto, para a digestibilidade proteica e capacidade de retenção de água não foram apresentadas diferenças significativas ($p > 0,05$). O ângulo Hue 82,6° indicou uma pasta desidratada de tonalidade amarela-avermelhada em decorrência do uso do sangue bovino.

1. INTRODUÇÃO

A elaboração de pasta de vegetais enriquecida com sangue bovino é uma alternativa de aproveitamento dos excedentes agropecuários, minimizando o desperdício e o impacto ambiental. O uso de vegetais e sangue na alimentação humana apresenta uma série de benefícios à saúde, devido à rica composição de macro e micronutrientes. O sangue bovino tem elevado teor proteico (18% g/g, b.s.) com boas propriedades funcionais. Alimentos como frutas, verduras e legumes contêm agentes antioxidantes, tais como os compostos fenólicos, que são capazes de restringir a propagação das reações em cadeia e as lesões induzidas pelos radicais livres (Fotsis *et al.*, 1997).

A secagem de alimentos visa reduzir o teor de umidade e aumentar o tempo de vida útil dos mesmos, assim, o estudo das condições da operação de secagem, tem a finalidade de elevar a eficiência do processo e a qualidade final do produto seco. O leito de jorro com partículas inertes tem sido empregado para secagem de pastas e suspensões, sendo uma alternativa ao *spray dryer*, mantendo a qualidade do produto (Massaro e Pinto, 2002; Banga *et al.*, 2003; Oliveira e Freitas,

2004).

O objetivo do trabalho foi realizar a secagem de pasta de vegetais enriquecida de sangue bovino em leite de jorro, comparando as geometrias cone-cilíndrica e retangular, sobre as características do produto final.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Matéria-Prima, Formulação e Obtenção da Pasta de Vegetais Enriquecida de Sangue Bovino

A pasta foi constituída de cebola branca (*Allium cepa L.*), tomate longa vida (*Lycopersicon esculentum*), cenoura (*Daucus carota L.*), couve (*Brassica oleracea*), batata (*Solanum tuberosum*), óleo de soja comercial e sangue bovino. Os vegetais foram escolhidos devido às suas características para a formulação, e foram adquiridos em feiras livres/mercados da cidade do Rio Grande/RS. O sangue bovino foi coletado em sistema aberto em um abatedouro, situado na cidade de Pelotas-RS, com práticas de assepsia devidamente empregadas (Massaro e Pinto, 2002). A quantidade dos constituintes foi determinada pela programação linear, utilizando o aplicativo Microsoft Solver Excel, visando à maximização do conteúdo proteico, por meio de uma função objetivo e restrições (Larrosa, 2012).

A função objetivo é uma equação linear que relaciona cada constituinte com seu respectivo teor proteico, de acordo com a Equação 1. As funções de restrição são (Equações 2–6) são equações e inequações que limitam o máximo e o mínimo de cada constituinte. A Equação 2 relaciona a quantidade de todos os constituintes em base seca. As Inequações 3 e 4 limitam o teor de nutrientes (carboidratos, proteínas, lipídios e valor calórico). As Inequações 5 e 6 restringem a possibilidade de valores negativos para quantidade de massa e dos constituintes com quantidade máxima estabelecida, respectivamente.

$$P_T = \sum_{i=1}^n m_i P_i \quad (1)$$

$$C_{bs} = \sum_{i=1}^{i=7} m_i \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^{i=7} m_i \cdot x_i \geq X_1 \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^{i=7} m_i \cdot x_i \leq X_2 \quad (4)$$

$$m_i \geq 0 \quad (5)$$

$$m_i \leq m \quad (6)$$

Após a determinação da quantidade necessária de cada constituinte, a pasta de vegetais foi obtida segundo as etapas descritas na Figura 1.

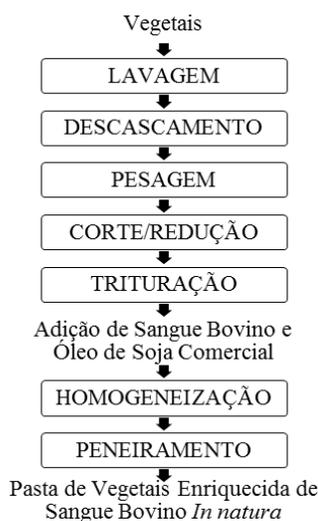


Figura 1 – Fluxograma do processo de obtenção da pasta de vegetais enriquecida de sangue bovino.

2.2. Secagem em Leito de Jorro

A secagem da pasta de vegetais foi realizada em duas geometrias de leito de jorro. A célula de secagem de geometria cone-cilíndrica possui um diâmetro de 17,5 cm, bases inferior e superior de vidro com ângulo de 60°, altura de 75 cm. O diâmetro de entrada (D_i) de 2,9 cm, sendo a relação (D_c/D_i) igual a 6,0. A célula de secagem de geometria retangular apresenta paredes planas verticais e base inclinada com ângulo interno de 60°, espessura de 5,4 cm, largura de 30 cm e altura de 20 cm. A coluna retangular possui 5,4 cm de espessura, 30 cm de largura e 45 cm de altura. O diâmetro de entrada de 5,08 cm sendo a relação 1:6 entre o diâmetro do orifício de entrada do ar e a largura da do leito. O leito foi constituído de partículas de polietileno (diâmetro médio de 3,2 mm, esfericidade 0,7 e densidade de 0,96 g/cm³), com uma carga de 2,0 kg para ambas as geometrias. O fluido de secagem foi ar quente, sendo que as vazões de ar foram determinadas por meio de placa de orifício e, as medidas de temperaturas foram realizadas por termopares cobre-constantan. A parte superior da coluna estava conectada a um ciclone tipo *Lapple* com diâmetro de 100 mm. O pó seco foi recolhido em um recipiente de vidro acoplada na saída do ciclone. Foram fixadas a pressão de atomização em 200 kPa absoluta e a taxa de circulação de sólidos de 100% acima da velocidade de jorro mínimo. A pasta foi alimentada em sistema contínuo com auxílio de uma bomba peristáltica. O regime da operação foi de 4 h. As condições de secagem para a pasta foram: vazão de alimentação de 600 mL/h,

temperatura de 110 °C e concentração de sólidos de 7 % (g/g), para ambas as geometrias.

2.3. Análise Estatística

Os resultados dos experimentos de secagem foram analisados pelo teste de Tukey ao nível de 95% de confiança ($p < 0,05$).

2.4. Metodologia Analítica

Retenção de material no leito – O percentual de acúmulo foi determinado relacionando a massa inicial e final de inertes e também a umidade final do pó aderido no leito, segundo a Equação 7.

$$\% Ac = \frac{(m_{fi} - m_{ii})(1 - U_j)}{m_{ii}} \times 100 \quad (7)$$

Solubilidade proteica: A determinação da solubilidade proteica em meio aquoso da pasta desidratada foi feita pelo método Morr *et al.* (1985).

Digestibilidade proteica *in vitro*: A digestibilidade foi realizada utilizando as enzimas pepsina e pancreatina, simulando as condições do trato gastrointestinal (Sgarbieri, 1996). O teor de aminoácidos liberados foi determinado pelo método de Lowry *et al.* (1951), empregando uma curva padrão de tirosina (0,01 a 0,1 mg/mL).

Capacidade de retenção de água (CRA) e Índice de Solubilidade em água (ISA): Os índices CRA e ISA foram quantificados segundo adaptações de Anderson *et al.* (1969).

Compostos fenólicos e atividade antioxidante (AA): A quantificação dos compostos fenólicos foi realizada pelo método espectrofotométrico, empregando-se uma curva padrão de ácido gálico (0 a 20 µg/mL) (Oliveira *et al.*, 2007). A atividade antioxidante (AA) foi determinada pela capacidade de seqüestrar o radical estável DPPH, segundo o método de Brand-Williams *et al.* (1995) modificado por Miliauskas *et al.* (2004).

Cor: O parâmetro cor foi avaliado utilizando um colorímetro Minolta (CR-300, Osaka, Japão) por meio do diagrama tridimensional de cores ($L^* - a^* - b^*$), onde L indica a luminosidade da amostra variando de 0 (escuro) a 100 (claro), a indica cromaticidade tendendo do verde (-) ao vermelho (+) e b indica a cromaticidade que varia do azul (-) ao amarelo (+). O ângulo Hue (H_{ab}) é o valor em graus correspondente ao diagrama tridimensional de cores, onde: 0°(vermelho), 90°(amarelo), 180°(verde) e 270°(azul), e foi calculado conforme a Equação 8 (Srinvasa *et al.*, 2004).

$$H_{ab} = \tan^{-1} \left(\frac{b^*}{a^*} \right) \quad (8)$$

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As quantidades calculadas dos constituintes para a formulação da pasta de vegetais, otimizando a quantidade de proteína, foram: 266 g de cebola, 206 g de tomate, 238 g de cenoura, 116 g de couve, 2,1 g de óleo de soja e 35,3 g de sangue bovino.

Na Tabela 1 estão apresentados os resultados de solubilidade, digestibilidade, capacidade de retenção de água, índice de solubilidade em água, compostos fenólicos, atividade antioxidante e ângulo Hue obtidos nos experimentos de secagem nos leitos de jorro de geometrias cone-cilíndrico e retangular.

Tabela 1 – Resultados obtidos para as respostas nos experimentos de secagem nos dois leitos de jorro utilizados.

Geometria	Sol* (% g/g)	Digest.* (% g/g)	CRA* (g/g)	ISA* (% g/g)	Fenóis* (mg _{EAG} /g)	AA* (% inib)	H _{ab} * (°)
Cone-cilíndrica	63,3±4,6 ^a	79,7±0,8 ^a	3,9±0,3 ^a	38,5±0,4 ^a	12,7±0,7 ^a	37,8±0,1 ^a	82,6±0,1 ^a
Retangular	40,7±3,2 ^b	78,4±1,2 ^a	3,8±1,3 ^a	39,5±1,4 ^a	9,4±1,1 ^b	47,6±0,7 ^b	83,1±0,01 ^b

*Valor médio ± erro médio (em triplicata). (% g/g): porcentagem em massa. Letras diferentes na mesma coluna apresentam diferença significativa ($p < 0,05$). Sol: solubilidade; Digest: digestibilidade; CRA: capacidade de retenção de água; ISA: índice de solubilidade em água; Fenóis: compostos fenólicos; AA: atividade antioxidante; H_{ab}: ângulo Hue

A Tabela 1 mostra que os resultados de digestibilidade proteica, capacidade de retenção de água e índice de solubilidade em água não apresentaram diferença significativa ($p > 0,05$) entre os experimentos. É possível verificar na Tabela 1, que a temperatura de 110 °C para a digestibilidade proteica, para ambos os experimentos, pode ter influenciado a inativação dos fatores antinutricionais presentes nos vegetais, permitindo que as enzimas digestivas atuassem nas proteínas, pois para a pasta sem adição de sangue a digestibilidade foi de apenas 19,4±0,3 % (g/g), assim, altos valores podem ser atribuídos à adição de sangue bovino que apresenta uma elevada digestibilidade, em torno de 91-97 % (g/g) (Prata, 2002). A capacidade de retenção de água nos experimentos foi superior a encontrado por Larrosa (2011), na faixa de 2,9 a 4,2 g/g, para uma pasta de vegetais sem adição de sangue bovino. A variação dos resultados da pasta com adição ou não de sangue bovino está relacionada com as proteínas presentes no plasma, as quais são altamente hidrofílicas. Em relação ao índice de solubilidade em água nos experimentos, os resultados também foram superiores aos encontrados por Larrosa (2011) para uma pasta de vegetais seca em leito de jorro, apresentando um valor de 14,9% (g/g). Isso pode ser explicado não só pelas proteínas presentes no sangue bovino, como também pela temperatura utilizada no experimento. Larrosa (2011) estudou faixas de temperatura de 95 e 105°C, e neste trabalho foi utilizada temperatura mais elevada (110°C). Diante disso, apresentou temperaturas de saída do ar mais elevadas e menor tempo de residência do produto (15±1 min), aumentando a capacidade dos componentes solúveis oriundos dos vegetais (amido, pectina) e do sangue (proteínas) de se hidratarem com a água.

A solubilidade proteica, compostos fenólicos, atividade antioxidante e ângulo Hue diferiram significativamente ao nível de significância de 95% ($p < 0,05$), e estão apresentadas na Tabela 1. Para

a resposta de solubilidade proteica observa-se que a temperatura de saída da geometria cone-cilíndrica foi menor (89 ± 1 °C) do que a do retangular (93 ± 1 °C), fazendo com que as proteínas não desnaturassem, apenas sofresse uma modificação estrutural deixando os grupos proteicos susceptíveis a solubilização em água. A solubilidade proteica é influenciada pela temperatura, principalmente quando esta aumenta suficientemente por um determinado período de tempo, causando modificações nos átomos da proteína entre as ligações de hidrogênio e grupos sulfidríla (Strumillo, Kaminski e Zbicinski, 1995; Pelegrine e Gasparetto, 2003). Além disso, a secagem em leito de jorro retangular possui um orifício de entrada maior do que o leito cone-cilíndrico permitindo uma maior vazão de ar, e conseqüentemente, o produto atinge temperatura mais elevada, capaz de desnaturar as proteínas presentes na pasta.

Os fenóis no experimento do leito cone-cilíndrico apresentaram perdas em relação ao leito retangular, pois em um vegetal intacto, os fenóis encontram-se nos vacúolos, separados das enzimas oxidativas e quando a estrutura rompe-se durante a secagem resulta na liberação dessas enzimas que catalisam a oxidação dos fenóis (Dewanto *et al.*, 2002). Nos equipamentos de secagem em leito de jorro o tempo de residência é baixo ($15,0\pm 1,0$ min), assim, a diminuição branda dos fenóis no leito cone-cilíndrico, pode ser atribuída a não ocorrência de reações de complexação e polimerização de taninos ocorrentes na secagem de vegetais, pois o produto não atingiu elevadas temperaturas no leito. A atividade antioxidante foi superior no leito retangular devido à exposição do material ao ar de secagem. Neste estudo foi evidenciado um aumento da atividade antioxidante, pois o aquecimento de produtos ricos em dissacarídeos e proteínas pode induzir a formação de compostos como as melanoidinas, que podem ter efeitos antioxidantes, aumentando os antioxidantes totais do alimento processado (Anese *et al.*, 1999). Os valores de ângulo Hue para ambos os experimentos foram inferiores a 90° , mostrando uma tendência à tonalidade amarela-avermelhada, devido à adição de sangue bovino que tem em sua composição hemoglobina que é o pigmento responsável pela coloração vermelha do sangue.

Na operação de secagem em leito de jorro retangular obteve $51,3\pm 0,1$ % (g/g) de acúmulo de material no leito, sendo cerca de cinco vezes maior do que no leito cone-cilíndrico que operou nas mesmas condições pelo mesmo tempo de operação, e foi obtido um percentual de retenção de $10,5\pm 0,2$ % (g/g). O elevado percentual de retenção para geometria retangular pode ter sido devido ao fato de que a vazão de ar quente que entra no sistema é maior do que na geometria cone-cilíndrica, para a mesma taxa de circulação (100% acima da taxa para o jorro mínimo), deixando o sistema retangular com temperatura interna mais elevada causando uma tendência a aderência das partículas da pasta nos inertes, pois temperaturas altas tornam os carboidratos susceptíveis a reações de escurecimento não-enzimático.

4. CONCLUSÃO

Ao comparar os experimentos de secagem pode-se afirmar que o leito de jorro cone-cilíndrico foi mais efetivo para a secagem da pasta, pois obteve melhores resultados para solubilidade proteica ($63,3\pm 4,6$ %, m/m), compostos fenólicos ($12,7\pm 0,7$ mg_{EAG}/g) e acúmulo de sólidos no leito (10% g/g). Para a secagem no leito de jorro retangular os melhores resultados foram de ângulo Hue ($83,1^\circ$) e atividade antioxidante ($47,6\pm 0,7$ % inibição), entretanto, tais resultados não tornam esse equipamento

efetivo para a secagem de pasta de vegetais enriquecida de sangue bovino devido ao elevado acúmulo de material no leito (51 % g/g).

5. NOMENCLATURA

C_{BS} - somatório dos constituintes da pasta em base seca
 m – quantidade total estabelecida (g)
 m_i - quantidade máxima de cada constituinte (g)
 m_{fi} - quantidade de inerte após a secagem (g)
 m_{ii} - quantidade inicial de inerte antes da secagem (g)
 Ma - massa de amostra utilizada (g)
 Mrc - massa de precipitado (g)
 Mre - massa de resíduo evaporado (g)
 p_i - quantidade de proteínas de cada constituinte (g/100g)
 P_T - Proteína total (% , m/m)
 U_j - umidade final do pó aderido às partículas de inerte (adimensional)
 x_i - quantidade de nutriente de cada constituinte em (g/100g)
 X_1 - valor mínimo de cada nutriente (% , m/m)
 X_2 - valor máximo de cada nutriente (% , m/m)

6. REFERÊNCIAS

- ANDERSON, R.A.; CONWAY, H.F.; PFEIFER, U.F.; GRIFFIN JR., E.L. Gelatination of corn grits by roll and extrusion cooking. *Cereal Sci. Today*, v. 14, n. 1, p. 4-7, 1969.
- ANESE, M.; MANZOCCO, L.; NICOLI, M.C.; LERICI, C.R. Antioxidant properties of tomato juice as affected by heating. *J. Sci. Food Agric.*, v. 79, p. 750–754, 1999.
- BANGA, J.; BALSACANTO, E.; MOLES, C.; ALONSO, A. Improving food processing using modern optimization methods. *Trends Food Sci. Tech.*, v. 14, p. 131-144, 2003.
- BRAND-WILLIAMS, W.; CUVELIER, M. E.; BERSET, C. Use of free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT – Food Sci. Technol.*, v. 8, p. 25-30. 1995.
- DEWANTO, V.; WU, X.Z.; ADOM, K.K.; LIU, R.H. Thermal processing enhances the nutritional value of tomatoes by increasing total antioxidant activity. *J. Agric. Food Chem.*, v. 50, p. 3010–3014, 2002.
- FOTSIS, T.; PEPPER, M.S.; AKTAS, E.; BREIT, S.; RASKU, S.; ADLERCREUTZ, H.; WÄHÄLÄ, K.; MONTESANO, R.; SCHWEIGERER, L. Flavonoids, dietary-derived inhibitors of cell proliferation and in vitro angiogenesis. *Cancer Res.*, v. 57, n. 14, p. 2916-2921, 1997.
- LARROSA, A. P. Q. *Secagem de pasta de vegetais: análise da operação em leito de jorro e caracterização do produto final*. Rio Grande: FURG, 2012. 129 p. Dissertação. (Mestrado em Engenharia e Ciência de Alimentos).

- LARROSA, A. P. Q.; MUSZINSKI, P.; PINTO, L. A. A.; Programação linear para formulação de pasta de vegetais e operação de secagem em leito de jorro. *Ciência Rural*, v. 41, n.11, p. 2032-2038, 2011.
- LOWRY, O. H.; ROSENBROUGH, M. J.; FARR, A. L.; RANDALL, R. J. Protein measurement with the Folin Phenol Reagent. *J. Biol. Chem.*, v.193, p. 265-275, 1951.
- MASSARO, A.; PINTO, L. A. A. Enriquecimento proteico de farelo de arroz desengordurado com sangue bovino, utilizando a técnica de leito de jorro. *Rev. Inst. Adolfo Lutz*, v. 61, n. 2, p. 77-84, 2002.
- MILIAUSKAS, G.; VENSKUTONIS, P. R.; VAN BEEK, T. A. Screening of radical scavenging activity of some medicinal and aromatic plant extracts. *Food Chem.*, v. 85, p. 231-237. 2004.
- MORR, C. V.; GERMAN, B.; KINSELA, J. E.; REGENSTEIN, J. M.; VAN-BUREN, J. P.; KILARA, A.; LEWIS, B. A.; MAGNINO, M. E. Collaborative study to develop a standardized food protein solubility procedure. *J. Food Sci.*, v. 50, p.1715-1718, 1985.
- OLIVEIRA, H. V.A., FREITAS, L.A.P. The effect of processing factors on the efficiency of hard gelatin capsules coating in a spouted bed. In: INTERNATIONAL DRYING SYMPOSIUM, 14. São Paulo. *Proceedings of the 14th International Drying Symposium*. São Paulo: v. B, p. 852-859, 2004.
- OLIVEIRA, M. S.; DORS, G. C.; SOUZA-SOARES, L. A.; BADIALE-FURLONG, E. Antifungal and antioxidant activity of vegetables extracts. *Food Nutr.*, v. 18, p. 267-275, 2007.
- PELEGRINE, D. H. G.; GASPARETTO, C. A. Estudo da solubilidade das proteínas da clara do ovo em função da temperatura e do pH. *Revista Ciências Exatas e Naturais*, v. 5, p. 169-178, 2003.
- PRATA, A. S., *Proteínas de soro de sangue bovino: propriedades nutritivas e funcionais*. Campinas: UNICAMP, 2002. 147p. Dissertação. (Mestrado em Alimentos e Nutrição).
- SGARBIERI, V. C. *Proteínas em alimentos proteicos*. São Paulo: Varela, 1996.
- SRINIVASA, P. C.; RAMESH, M. N.; KUMAR, K. R.; THARANATHAN, R. N. Properties of chitosan films prepared under different drying conditions. *J. Food Eng.*, v. 63, p. 79-85, 2004.
- STRUMILLO, C.; KAMINSKI, W.; ZBICINSKI, I. Some aspects of the drying of protein products. *The Chemical Journal*, 58, p. 197-204, 1995.