

PROCESSO PARA A SECAGEM DE SORO INTEGRAL EM EQUIPAMENTO SEMI-INDUSTRIAL

Process for drying of whole whey in semi-industrial scale

Ítalo Tuler PERRONE¹

Antônio Fernandes de CARVALHO²

João Pablo Fortes PEREIRA³

Isis Rodrigues Toledo RENHE⁴

Danielle Braga Chelini PEREIRA⁵

SUMÁRIO

Neste trabalho foi estudada a otimização de atributos operacionais e tecnológicos empregados nas etapas de concentração e secagem do processamento semi-industrial do soro em pó integral. Os atributos avaliados foram o teor final de sólidos do soro concentrado integral, as temperaturas do vapor a alta pressão, de pré-aquecimento do soro, a taxa de evaporação no concentrador, a diferença de temperatura entre o vapor a alta pressão e o produto em ebulição e as temperaturas de entrada e de saída do ar na câmara de secagem. A partir da otimização dos atributos nos ensaios preliminares foi possível a produção de soro concentrado integral e soro integral em pó em equipamento semi-industrial. Os soros em pó produzidos apresentaram-se estáveis frente à análise de isotermas, teor de gordura que foi 16 vezes superior ao produto desnatado e valor de atividade de água próximo ao recomendado pela literatura. O produto obtido em escala semi-industrial pode ser aplicado na indústria de alimentos como fonte de proteínas, lactose e gordura láctea.

Termos para indexação: lácteo, desidratado, processamento.

1 INTRODUÇÃO

O soro já foi considerado uma matéria prima de aproveitamento oneroso para a indústria de laticínios, entretanto com as regulamentações ambientais que proíbem o descarte de produtos com elevada demanda biológica de oxigênio, com as comprovações científicas do valor nutricional de seus constituintes e com o desenvolvimento de técnicas de fracionamento, o soro é amplamente requisitado como ingrediente ou como precursor de ingredientes na indústria de alimentos (Gernigon, et al., 2010). Segundo Antunes (2003), as proteínas do soro são consideradas de alta qualidade nutricional e com excepcionais proprie-

dades funcionais, dentre as quais pode-se destacar: propriedades gelatinizantes, capacidade de formar espuma e propriedades bacteriostáticas. O soro de leite bovino é excelente exemplo de aplicação de proteínas como ingredientes funcionais. A secagem de lácteos pode ocorrer por meio de um spray dryer (secagem em único estágio), em um spray dryer juntamente com um fluidizador (secagem de dois estágios), ou ainda, em um spray dryer dotado de um fluidizador interno e um externo (secagem de três estágios) (Westergaard, 2001). Segundo Schuck (2001), as propriedades dos produtos lácteos desidratados são influenciadas por fatores que envolvem as condições de operação dos equipamentos, as características da matéria

-
- 1 Químico, Doutor em Ciência e Tecnologia dos Alimentos. Professor e Pesquisador do ILCT-EPAMIG. italo.perrone@epamig.br.
 - 2 Doutor em Sciences et Techniques des Industries Agricoles et Alimentaire. Professor Adjunto da UFV. antoniofernandes@ufv.br.
 - 3 Estudante de Farmácia e Bioquímica. Técnico de Laticínios do Departamento de Nutrição da UFJF. joapablo_fp@yahoo.com.br.
 - 4 Engenheira de Alimentos. Mestre em Ciência e Tecnologia dos Alimentos. Professora e Pesquisadora do ILCT-EPAMIG. isis@epamig.br.
 - 5 Farmacêutica Bioquímica. Doutoranda em Ciência e Tecnologia de Alimentos. Professora e Pesquisadora do ILCT-EPAMIG. danielle@epamig.br.

prima e as condições de estocagem. O aprimoramento da qualidade de produtos lácteos desidratados, o qual é governado pelo histórico de tempo e temperatura, envolve um grande entendimento do processo por meio de abordagens físico químicas, termodinâmicas e cinéticas (Jeantet et al., 2008). De acordo com Schuck et al. (2008), a quantidade máxima de umidade em um produto lácteo desidratado deve ser definida pelo valor da atividade de água, sendo desejado um valor próximo a 0,2. Conforme Roos (2001), elevadas temperaturas empregadas durante a secagem, em associação com a presença de água residual nos estágios finais da secagem produzem a pegajosidade, a agregação de partículas coloidais e a adesão do soro em pó no equipamento. Segundo Hardy (2001), no caso de produtos lácteos desidratados, as suas propriedades de fluidez, estabilidade ao armazenamento e solubilização estão intrinsecamente dependentes do modo e da intensidade das interações químicas da água com os outros constituintes e esta dependência é bem representada pelas isotermas de sorção. Na Tabela 1 são apresentados alguns atributos de processamento para secagem de leite desnatado, integral e soro. De acordo com Schuck et al. (2004), ao se produzir soro em pó deve-se controlar a temperatura do ar de saída da câmara de secagem para que seja sempre inferior a 100°C, no intuito de evitar a transformação de lactose amorfa em lactose cristalina, o que acarreta em aglomeração e adesão do produto no equipamento.

Segundo Masters (2002), a secagem do soro sem o pré-tratamento da cristalização pode ser realizada por meio de bicos de atomização operando com pressão de 200 bar, sendo alimentados por soro concentrado entre 42 – 45% m/m de sólidos totais, utilizando temperatura do ar de entrada entre 170°C e 180°C e de saída entre 85°C e 90°C, no intuito de obter um pó entre 3% m/m e 4% m/m de umidade final. Conforme Písecký (1997), a secagem de soro pré-cristalizado em spray dryer de único estágio deve ser conduzida por meio da concentração do soro entre 48% m/m e 55% m/m, emprego de temperatura de entrada da câmara de secagem entre 180°C e 200°C e temperatura do ar de saída em 92°C.

Os lipídios presentes no leite em pó não são empregados em todo o seu potencial nas indústrias de alimentos processados, pois estes lipídios exibem propriedades emulsificantes superiores, auxiliando significativamente na produção de sorvetes (Jiménez-Flores & Brisson, 2008). O objetivo deste trabalho foi aperfeiçoar atributos de processamento para obtenção de soro em pó integral cristalizado, que constitui um produto com importantes aplicações como ingrediente nas indústrias de alimentos.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi dividido em duas etapas: realização de ensaios preliminares e produção do soro em pó integral. Foram realizadas sete evaporações a vácuo de soro integral durante os ensaios preliminares e nove evaporações durante a segunda etapa. Os objetivos dos ensaios preliminares foram definir atributos de tratamento térmico, evaporação e secagem para o soro integral. Os critérios empregados para definir os melhores atributos foram o teor final de sólidos solúveis do soro concentrado por evaporação a vácuo, a eficiência de funcionamento do evaporador e a atividade de água final do pó obtido. A cada 15 minutos do processo de concentração foram realizados os registros da temperatura de ebulição, temperatura de vapor a alta pressão, temperatura de tratamento térmico, pressão de vapor a alta pressão, pressão de evaporação e a temperatura da água no sistema de condensação. O teor mínimo de sólidos solúveis (°Brix) desejado foi de 57°Brix. A eficiência de funcionamento do evaporador foi verificada pela taxa de evaporação da água, pela temperatura da água de condensação da torre de resfriamento e pelo tempo total de funcionamento. Empregou-se o evaporador a placas modelo Júnior da marca APV durante as concentrações do soro no Instituto de Laticínios Cândido Tostes/EPAMIG em Juiz de Fora MG. Para determinação do percentual de cristalização foi utilizada a equação 1 sugerida por Westergaard (2001).

$$\% \text{ cristalização} = \frac{(B_1 - B_2) \times 9500 \times 100}{L \times \text{EST} \times (95 - B_2)} \quad (1)$$

Tabela 1 – Atributos de secagem para produtos lácteos.

Produto lácteo	Teor de sólidos totais antes da secagem (%m/m)	Temperatura do ar de entrada da câmara (°C)	Temperatura do ar de saída da câmara (°C)
Leite integral	47-50	175 – 240	70 – 90
Leite desnatado	47-52	175 – 240	75 – 90
Soro	40-60	180 – 250	80 – 95

Fonte: Schuck et al. (2004).

sendo: B_1 = °Brix inicial (tempo zero); B_2 = °Brix final (após cristalização); L = % de lactose no Extrato Seco Total; EST = % de Extrato Seco Total

Empregou-se a câmara de secagem de único estágio modelo Minor da marca NIRO para a obtenção do soro em pó integral. Foram construídas isotermas dos soros integrais obtidos no experimento e de soro desnatado não cristalizado, obtido em minispray dryer de bancada. A atividade de água foi determinada após cada secagem dos ensaios preliminares, no determinador de atividade de água Decagon Série 3®, sendo desejado valor próximo a 0,2 (Schuck et al., 2008). Os sais e as respectivas atividades de água (aw) das soluções saturadas empregadas foram: LiCl (0,113), MgCl₂ (0,331), K₂CO₃ (0,432), Mg(NO₃)₂ (0,544) e NaCl (0,755). O equilíbrio foi alcançado por meio da determinação da massa constante após 21 dias a temperatura média de 25°C. O teor de umidade foi determinado pelo método Karl-Fisher, pois foi considerado o método que apresenta melhor reprodutibilidade para determinação de umidade em lácteos desidratados, principalmente os que possuem lactose cristalizada (Westergaard, 2001; Furmaniak et al., 2009). As análises de teor de proteínas, lactose e gordura foram realizadas segundo Perreira et al. (2000). No intuito de avaliar as equações propostas no experimento foram determinados os coeficientes de correlação dos modelos ajustados (R^2), os coeficientes de Pearson para a análise paramétrica de correlação entre as variáveis (CCP) e os coeficientes de significância estatística dos modelos propostos (P), sendo considerados, no escopo

deste trabalho, os coeficientes de correlação cujo nível de significância seja igual ou menor do que 0,05. A metodologia empregada no experimento é apresentada na Figura 1.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Fase 1 – Ensaios preliminares:

A evaporação de soro ocorreu por batelada no evaporador a vácuo. A entrada de soro no evaporador era interrompida quando, pelo menos, 300 L já haviam sido adicionados. Observou-se que volumes inferiores a 300 L acarretavam em grande incorporação de ar, formação de espuma no separador líquido vapor, dificultando o término da concentração, a posterior cristalização e secagem do produto. O pó obtido nestas condições apresentou-se muito fino, o que pode ser atribuído a grande incorporação de ar, que é indesejável durante a produção de lácteos desidratados (Westergaard, 2001). Após a adição do volume mínimo de soro ao evaporador o processo de concentração entrava em sua fase final, que ocorria quando o produto na linha de evaporação possuía em média 21,7°Brix. A variação no teor de sólidos solúveis do soro integral durante a evaporação nos ensaios preliminares é apresentada na Figura 2. Os atributos estabelecidos para a evaporação do soro integral, por meio da realização dos ensaios preliminares são apresentados na Tabela 2. Observa-se na Figura 2 que durante os ensaios preliminares o teor de sólidos solúveis aumenta lentamente nos primeiros 300 minutos de fabricação, pois ocorre evaporação de água concomitante a adição

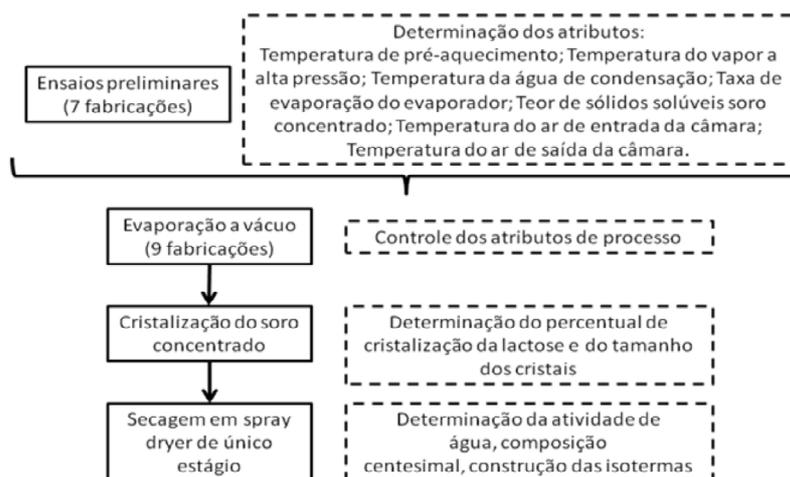
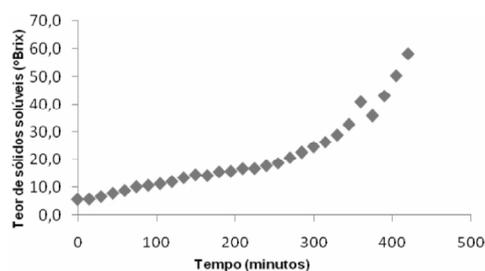
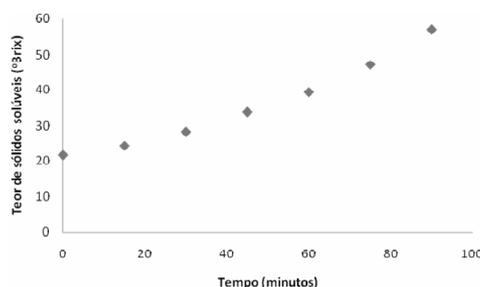


Figura 1 – Fluxograma do delineamento experimental empregado.

Tabela 2 – Atributos para evaporação do soro integral estabelecidos durante os ensaios preliminares.

Atributo	Valor
Teor de sólidos solúveis inicial do soro	Mínimo 5,5
Teor de sólidos solúveis inicial ao final da concentração	Mínimo 20,0
Teor de sólidos solúveis final	Mínimo 57,0
Tempo em evaporação (minutos)	Máximo 400
Volume de soro (L)	Mínimo 300
Fator de concentração	Mínimo 10,0
Massa de evaporado (kg)	Mínimo 275
Taxa de evaporação (kg/h)	Mínimo 40,5
Temperatura de pré-aquecimento (°C)	65-66
Temperatura de ebulição (°C)	46-47
Temperatura do vapor a alta pressão (°C)	60,5-61,5
Diferença de temperatura entre o vapor a alta pressão e o produto em ebulição (ΔT) (°C)	14,5-15,5
Temperatura de água no sistema de condensação (°C)	Máximo 34
Pressão do vapor a alta pressão (MPa)	Mínimo 0,5
Pressão de evaporação do soro	- 79993 Pa

**Figura 2** – Variação média no teor de sólidos solúveis durante a evaporação do soro durante os ensaios preliminares (n=7).**Figura 3** – Variação no teor de sólidos solúveis ao final da evaporação do soro.

de mais soro ao evaporador. O aumento na concentração dos sólidos torna-se mais intensa nos últimos 100 minutos do processo e caracteriza a fase final da evaporação, que é apresentada na Figura 3.

O perfil de concentração dos sólidos em função do tempo na fase final da evaporação pode ser descrito por um polinômio de segundo grau apresentado na equação 2.

$$(^{\circ}\text{Brix}) = 0,002 (T)^2 + 0,123 (T) + 21,81 \quad (2)$$

$(R^2=0,9992; \text{CCP}=0,9808 ; P<0,0001)$

sendo: T = tempo de evaporação; $^{\circ}\text{Brix}$ = teor de sólidos solúveis do soro.

Por meio da equação é possível determinar o tempo necessário para atingir o teor de sólidos solúveis desejado no soro concentrado ao empregar o concentrador em questão. A secagem foi conduzida de forma a obter-se um soro em pó com atividade de água próxima a 0,200 (Schuck et al., 2008), o que ocorreu quando a temperatura do ar

de entrada estabilizava-se em $(200 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ e a temperatura de saída em $(87,5 \pm 2,5)^{\circ}\text{C}$, atributos que foram padronizados nas demais secagens. Entretanto, deve-se ressaltar que o spray dryer empregado no experimento não possuía sistema para determinação da umidade relativa do ar de entrada, o que dificulta a padronização do teor de umidade e de atividade de água do produto final.

Fase 2 – Produção do soro em pó integral:

Na Tabela 3 são apresentados os valores médios e a variação em relação a média dos atributos de evaporação durante a segunda fase do experimento. Observa-se que foi possível a obtenção de um elevado teor de sólidos solúveis no soro concentrado integral, fato determinante para que os produtos apresentassem em média 70% de cristalização da lactose, após a concentração e manutenção sob agitação.

O fator de concentração desejado para a produção de soro concentrado é igual a 10 segundo

(Westergaard, 2001), sendo superado durante o experimento ao se empregar os atributos estipulados durante os ensaios preliminares, o que impacta no favorecimento da cristalização da lactose durante a próxima etapa do processamento. Os experimentos foram realizadas no intuito de simular um processo industrial controlado e padronizado. Na Figura 4 são apresentadas as temperaturas registradas durante a evaporação dos soros. Na Tabela 4 é apresentada a composição físico química média do soro em pó integral cristalizado obtido no experimento e a composição do soro em pó desnatado segundo diferentes autores.

De acordo com a Tabela 4 o soro em pó integral apresenta menores teores de lactose, lactose nos sólidos e proteínas, o que é esperado pela maior concentração de gordura, estando em média 16 vezes mais concentrada. Esse percentual de gordura pode ter importante aplicação na indústria de alimentos, pois o soro integral passa a ser um ingrediente que vincula gordura láctea nas formulações. O soro em pó integral apresenta atividade de água próxima a 0,200, sendo o valor recomendado quanto ao controle das reações

químicas de degradação para produtos lácteos desidratados segundo Schuck et al. (2008). A fim de avaliar o comportamento do soro em diferentes umidades relativas do ar foi determinada a isoterma de sorção a 25°C, apresentada na Figura 5.

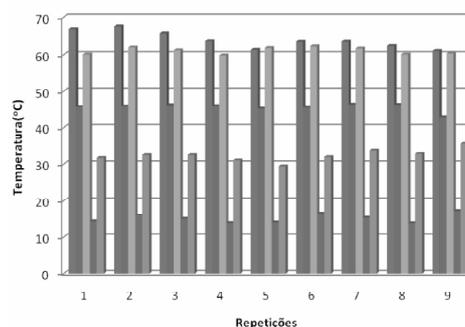


Figura 4 – Temperaturas empregadas para a evaporação do soro integral durante as fabricações.

Sendo: primeira coluna da esquerda para a

Tabela 3 – Atributos para a evaporação do soro integral (n=9).

Atributos	Valor
Temperatura de pré-aquecimento (°C)	64±2
Temperatura de ebulição (°C)	46±1
Temperatura do vapor a alta pressão (°C)	61,1±0,9
Diferença de temperatura entre o vapor a alta pressão e o produto em ebulição (°C)	15,1±1,3
Temperatura de água no sistema de condensação (°C)	32±2
Pressão do vapor a alta pressão (MPa)	0,57±0,04
°Brix inicial do soro	5,6±0,2
°Brix inicial na fase final da concentração	21,7±1,3
°Brix final	59,3±1,1
Tempo em evaporação (minutos)	295±53
Volume de soro (L)	351±19
Fator de concentração	10,7±0,5
Massa de evaporado (kg)	318±18
Taxa de evaporação (kg/h)	49,3±6,4

Tabela 4 – Composição e atividade de água de soros em pó (n = 9).

Constituintes/propriedade	Soro em pó integral	Soro em pó desnatado
Umidade (% m/m)	4,44±0,38	4,60 ¹
Sólidos totais (% m/m)	95,56±0,38	96,80±0,61 ²
Lactose (% m/m)	67,5±1,5	73 ¹
Teor de lactose nos sólidos (%m/m)	70,6±1,6	74 ³
Proteínas (% m/m)	10,6±0,5	12,20±1,80 ²
Gordura (% m/m)	7,5±1,5	0,46±0,52 ²
Atividade de água (aw)	0,231±0,029	0,220±0,020 ⁴

Sendo: ¹ Thomas et al. (2004); ² Banavara et al. (2003); ³ Westergaard (2001); ⁴ Schuck et al. (2005).

direita = pré-aquecimento; segunda coluna = ebulição; terceira coluna = vapor a alta pressão; quarta coluna = diferença de temperatura entre o meio de aquecimento e o soro em ebulição; quinta coluna = água do sistema de condensação.

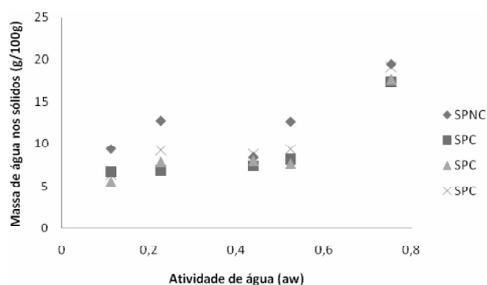


Figura 5 – Isoterma a 25°C para soro em pó.

Sendo: SPNC = soro em pó não cristalizado obtido em spray dryer de bancada; SPC = soro em pó cristalizado obtido durante o experimento, onde cada cor representa a média de 3 repetições.

A partir da Figura 5, pode-se observar que os soros cristalizados são mais estáveis ao armazenamento, pois a massa de água nos sólidos está sempre abaixo do soro não cristalizado e não há uma depressão em suas respectivas curvas, na região de atividade de água de 0,438, causada pela passagem de lactose amorfa para cristalina. Segundo Thomas et al. (2004), as modificações físico químicas que comprometem a durabilidade de lácteos desidratados estão intimamente ligadas a transição vítrea.

4 CONCLUSÕES

Durante a realização do experimento a otimização dos atributos de concentração e secagem, por meio da realização dos ensaios preliminares, possibilitou a produção de soro concentrado integral e soro integral em pó em equipamento semi-industrial, o que funciona como ponto de partida para as indústrias interessadas em produzir soro em pó integral. Os pós obtidos apresentaram bom comportamento frente a análise de isotermas, composição com teor de gordura 16 vezes superior ao produto desnatado e valor de atividade de água próximo ao recomendado pela literatura. O produto desenvolvido em escala semi-industrial pode ser aplicado na indústria de alimentos como fonte de proteínas, lactose e gordura láctea e os parâmetros tecnológicos para evaporação a vácuo, cristalização da lactose e secagem em spray dryer podem ser empregados por indústrias de laticínios interessadas na produção de soro em pó.

SUMMARY

In this work was studied the optimization of the technological parameters applied in the concentration and drying stages of whole whey powder production in semi-industrial scale. The analyzed parameters were the final total solids content of the whole concentrated whey, the temperatures of the life steam, the whey pre-heating temperature, the evaporation rate at the evaporator, the difference between the temperatures of the vapor and the whey during evaporation, and, the temperatures of the inlet and the outlet airs of the dryer system. From the optimized parameters was possible the production of concentrated and dried whole whey in semi-industrial scale production. The whole whey powders shows 16 times more fat content than the commercial skin whey powders and water activity value close to the recommended in the literature. The obtained powder in semi-industrial scale can be apply in the food industry as a source of proteins, lactose and dairy fat.

Index terms: dairy product, dried, process.

AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (Fapemig) pelo suporte financeiro ao projeto APQ 00499-08 e pela bolsa de incentivo a pesquisa.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANTUNES, J. A. **Funcionalidade de Proteínas do Soro de Leite Bovino**. Barueri: Manole, 2003, 135p.
- BANAVARA, D. S.; ANUPAMA, D.; RANKIN, S. A. Studies on Physicochemical and Functional Properties of Commercial Sweet Whey Powders. **Journal of Dairy Science**. Ohio, v. 86, p. 3866-3875, 2003.
- FURMANIAK, S.; TERZYK, A. P.; GO EMBIEWSKI, R.; GAUDEN, P. A.; CZEPIRSKI, L. Searching the most optimal model of water sorption on foodstuffs in the whole range of relative humidity. **Food Research International**, 42, p. 1203-1214, 2009.
- GERNIGON, G.; SCHUCK, P.; JEANTET, R. Processing of Mozzarella cheese wheys and stretchwaters: a preliminary review. **Dairy Science and Technology**. Rennes, v. 90, p. 27-46, 2010.
- HARDY, J. Water activity and hydration of milk

powders. First international symposium on spray drying of milk products, Rennes, France, 2001.

JEANTET, R.; DUCEPT, F.; DOLIVET, A.; MÉJEAN, S.; SCHUCK, P. Residence time distribution: a tool to improve spray-drying control. **Dairy Science and Technology**. Rennes, v. 88, p. 31-43, 2008.

JIMÉNEZ-FLORES, R.; BRISSON, G. The milk fat globule membrane as an ingredient: why, how, when? **Dairy Science Technology**, Rennes, v. 88, p. 5-18, 2008.

MASTERS, K. **Spray Drying in Practices**. Denmark: SprayDryConsult International ApS, 2002. 464 p.

PEREIRA, D. B. C.; OLIVEIRA, L. L.; COSTA JÚNIOR, L. C. G.; SILVA, P.H.F. da **Físico-química do leite e derivados – Métodos Analíticos** 2ed. Juiz de Fora: Oficina de Impressão Gráfica e Editora, 2000, 190p.

Písecký, J. **Handbook of milk powder manufacture**, Niro A/S, Copenhagen, Denmark. 1997.

ROOS, Y. H. Importance of glass transition and water activity to spray drying and stability of dairy powders. First international symposium on spray drying of milk products, Rennes, France, 2001.

SCHUCK, P.; BLANCHARD, E.; DOLIVET, A.; MÉJEAN, S.; ONILLON, E.; JEANTET, R. Water activity and glass transition in dairy ingredients. **Le Lait**, Rennes, v. 85, p. 295-304, 2005.

SCHUCK, P.; BOUHALLAB, S.; DURUPT, D.; VAREILLE, P.; HUMBERT, J. P.; MARIN, M. Séchage des lactosérums et dérivés: rôle du lactose et de la dynamique de l'eau. **Le Lait**, Rennes, v. 84, p. 243-268, 2004.

SHUCK, P. Spray drying of milk products: state of art. First international symposium on spray drying of milk products, Rennes, France, 2001.

SHUCK, P.; DOLIVET, A.; MÉJEAN, S.; JEANTET, R. Relative humidity of outlet air: the key parameter to optimize moisture content and water activity of dairy powders. **Dairy Science and Technology**, Rennes, v. 88, p. 45-52, 2008.

THOMAS, M. E. C.; SCHER, J.; DESOBRY-BANON, S.; DESOBRY, S. Milk powders ageing: effect on physical and functional properties. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**. London, v. 44, p. 297-322, 2004.

WESTERGAARD, V. **Tecnología de La Leche en Polvo – Evaporación y Secado por Atomización**. Copenhagen: Niro A/S, 2001. 166 p.