

ASPECTOS TECNOLÓGICOS DA FABRICAÇÃO DE SORO EM PÓ: UMA REVISÃO

Technological aspects of whey powder manufacturing: a review

Ítalo Tuler PERRONE¹

João Pablo Fortes PEREIRA²

Antônio Fernandes de CARVALHO³

SUMÁRIO

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. O objetivo deste trabalho é apresentar uma revisão sobre este tópico.

Termos para indexação: evaporação, cristalização, secagem.

1 INTRODUÇÃO

O aumento na produção de queijos acarretou em grande volume de soro descartado em rios e lagos. O soro é um poluente em potencial, pois apresenta altíssima demanda biológica de oxigênio. De acordo com Giraldo-Zuniga (2002), estima-se que a produção mundial de soro gire ao redor de 120 milhões de toneladas. O aumento da produção de soro no Brasil e, paralelamente a implementação das leis de proteção ao meio ambiente, bem como o reconhecimento de que o uso do soro líquido para a alimentação animal só é regionalmente e de forma restrita praticável, está levando a indústria a analisar as opções de industrialização e aproveitamento (TIBA, 1984). A Tabela 1 apresenta dados sobre a exportação brasileira de alguns produtos lácteos entre os anos de 1996 e 2006. Destaca-se o aumento expressivo das exportações de queijos.

As vendas brasileiras de produtos lácteos cresceram 1043,8% em volume e 619,4% em valor no período de 1996 a 2006, enquanto que as importações caíram, respectivamente, 71,5% e

69,9%. Em paralelo, houve um aumento de 540% no número de novos países importadores de produtos lácteos do Brasil (LEITE et al, 2008).

Tabela 1 – Exportação de produtos lácteos entre os anos de 1996 e 2006.

Ano de exportação	Queijos (toneladas)	Leite in natura (toneladas)	Leite em pó (toneladas)
1996	462	16	6295
1997	391	76	1596
1998	845	9	1686
1999	1028	81	2532
2000	2416	350	4774
2001	2270	586	8422
2002	2122	4402	27213
2003	3180	1803	35577
2004	6406	3064	55311
2005	10995	1905	61792
2006	7582	5027	73391

Fonte: Adaptado de Leite et al (2008).

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

2 FABRICAÇÃO DE QUEIJOS E GERAÇÃO DE SORO

A fabricação de queijos consiste na concentração do extrato seco do leite por meio da coagulação da caseína. Durante o processo de coagulação há a transferência de componentes do leite para a massa e para o soro, conhecido como cifra de transição, fator responsável pela composição físico química do soro e do queijo. Segundo Vilela (2009), a cifra de transição dos sólidos lácteos para a massa de um queijo semiduro obedece os atributos apresentados na Tabela 2. As variações na composição do leite durante ano, bem como as diferentes tecnologias empregadas para a produção de queijos acarretam grande variação na composição físico química do soro. A Tabela 3 apresenta faixas para a composição de soro obtido por diferentes processos de coagulação.

Tabela 2 – Composição centesimal média para leite, soro, queijo semiduro e a respectiva cifra de transição.

Componente para o queijo	Leite	Queijo	Soro	Transição
Lactose (% m/m)	4,7	0,2	4,5	4%
Gordura (% m/m)	3,4	3,1	0,3	91%
Proteína (% m/m)	3,1	2,3	0,8	74%
Minerais (% m/m)	0,9	0,5	0,4	0,6%
Sólidos totais (% m/m)	12,1	6,1	6,0	50%

Fonte: Vilela (2009).

Devido às pressões econômicas e ambientais, a maior parte das fábricas de queijo busca processos para o aproveitamento e recuperação de todos os sólidos lácteos. Há trinta anos atrás se especulava que em algum dia o queijo tornaria-se sub produto da produção de soro, para algumas fábricas produtoras de queijo em grande escala este dia chegou. Hoje o aproveitamento do soro é possível devido ao avanço no conhecimento de suas funcionalidades, o que possibilitou o seu emprego em mais produtos alimentícios, incluindo bebidas. 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). Os sistemas de membranas permitem a separação do leite e do soro em diversas frações. É possível o aproveitamento do soro na forma de lactose, soro em pó, concentrados protéicos com elevados teores de proteínas (próximos a 89 %), isolados protéicos enriquecidos com α -lactoglobulina ou α -lactoalbumina, ou na forma de componentes isolados como glicomacropéptido e lactoferrina (Johnson & Lucey, 2006). Segundo Henning et al. (2006), os Estados Unidos concentram aproximadamente 30 % da produção mundial de queijos, com produção anual estimada em $3,9 \times 10^9$ kg de soro, o que consome um terço de toda produção americana de leite. De acordo com Schuck et al. (2010), a produção anual de queijos na França é de aproximadamente $1,8 \times 10^6$ toneladas e no mesmo período são produzidos aproximadamente

Tabela 3 – Composição do soro para diferentes tipos de processamento.

Constituinte	Coagulação enzimática	Coagulação ácida	Queijo Cheddar
Sólidos totais (ST) (g kg ⁻¹ de soro)	64-67	62-64	61-66
Proteína verdadeira (g kg ⁻¹ de ST)	110-140	84-110	99-110
Razão NPN:TN	0,24-0,28	0,30-0,35	0,22-0,30
Cinzas (g kg ⁻¹ de ST)	74-78	117-123	76-91
Lactose (g kg ⁻¹ de ST)	750-810	620-690	744-810
Cálcio (g kg ⁻¹ de ST)	6-8	24-27	6-7
Fosfato Inorgânico (g kg ⁻¹ de ST)	10-16	30-34	8-30
Potássio (g kg ⁻¹ de ST)	18-26	20-24	19-25
Sódio (g kg ⁻¹ de ST)	6-16	6-12	6-11
Cloretos (g kg ⁻¹ de ST)	14-21	13-19	19-20

Sendo: NPN= nitrogênio não protéico; TN= nitrogênio total; ST = sólidos totais

Fonte: Zadow (1994)

285 x 10³ toneladas de soro em pó. O Brasil caracteriza-se como um importador de soro em pó, entre os meses de janeiro e setembro de 2010 importou 23993 mil toneladas do produto e no ano de 2009, 31297 mil toneladas, nos mesmos períodos a exportação foi de 3722 mil toneladas e 3884 mil toneladas. (MILKPOINT, 2010).

3 TECNOLOGIA DE FABRICAÇÃO

Segundo o Codex Alimentarius (2005), entende-se por soro em pó o produto obtido pela desidratação do soro ou soro ácido mediante processos tecnologicamente adequados, apto para a alimentação humana. Conforme Westergaard (2001), o soro em pó possui a composição média apresentada na Tabela 4 abaixo.

Tabela 4 – Composição média e características físico químicas do soro em pó.

Característica físico química ou constituinte	Concentração
Sedimentos	Máximo 200 mg L ⁻¹
pH (após dissolução)	Mínimo 6,3
Acidez titulável (após dissolução)	Máximo 0,12 %
Ácido láctico	Máximo 200 mg L ⁻¹
Gordura	Máximo 0,05 %
Lactose	70 – 74 %
Proteínas	Mínimo 12 %
Cálcio	Máximo 300 mg L ⁻¹
Magnésio	Máximo 100 mg L ⁻¹
Cloro	Máximo 1200 mg L ⁻¹
Gases incondensáveis	Máximo 0,02 %

Fonte: Westergaard, 2001.

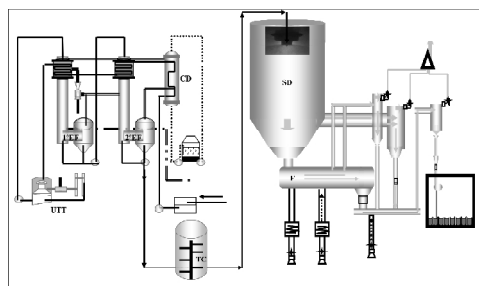


Figura 1 – Esboço de uma linha para processamento de soro em pó.

Sendo: 1ºEF = primeiro efeito; 2ºEF = segundo efeito; UTT = unidade de tratamento térmico; CD = condensador; TC = tanque para cristalização da lactose no soro concentrado; SD = spray dryer; F = fluidizador.

As principais operações unitárias que podem estar envolvidas na produção do soro em pó são a separação por membranas, a evaporação a vácuo, a cristalização e a secagem em spray dryer. A osmose reversa pode ser empregada como fase inicial de retirada de água do soro, sendo caracterizada pelo baixo consumo de energia. Na figura 1 é apresentado um esboço de uma linha para processamento de soro em pó na qual é apresentada a evaporação a vácuo, a cristalização e a secagem em spray dryer.

3.1 Evaporação a vácuo

A evaporação a vácuo consiste na retirada de água por meio do fornecimento de energia na forma de calor ao soro sob uma pressão inferior a pressão atmosférica. Este processo promove a evaporação em temperaturas entre 40°C e 75°C, o que minimiza as modificações causadas aos constituintes do soro devido ao aquecimento. A evaporação a vácuo possibilita que o soro seja concentrado a teores de sólidos lácticos entre 52% m/m e 60% m/m, com um custo energético por quilograma de água evaporada até vinte vezes inferior ao processo de retirada de água em spray dryer (SCHUCK et al., 2010). De acordo com Walstra et al. (2001), a evaporação a vácuo do leite e do soro é aplicada com as seguintes finalidades: a) elaborar produtos concentrados como leite evaporado, leite condensado e iogurte concentrado; b) como uma etapa intermediária na fabricação de produtos lácteos em pó; c) para produzir lactose a partir da recristalização do soro. Os evaporadores tubulares de película descendente são os mais empregados nos laticínios e podem ser acoplados a sistemas para finalização da concentração e para o resfriamento rápido do produto concentrado, denominado flash cooler (WESTERGAARD, 2001). No processamento de soro é fundamental que se busque uma elevada concentração de sólidos lácticos ao final da evaporação (acima de 55% de sólidos lácticos), no intuito de minimizar o gasto energético na câmara de secagem, e, principalmente visando a saturação do produto em relação à lactose, o que favorecerá a etapa posterior de cristalização.

3.2 Modificações causadas pelo tratamento térmico e pela evaporação a vácuo

As principais modificações causadas pela concentração do leite e do soro, de acordo com Walstra et al. (2001), são as seguintes: a) diminuição da atividade de água; b) aumento da higroscopicidade; c) mudanças no equilíbrio salino; d) modificação na conformação das proteínas; e) aumento da pressão osmótica, diminuição do ponto

crioscópico, aumento do ponto de ebulição, da condutividade elétrica, da densidade e do índice de refração; f) aumento da viscosidade; g) saturação da solução e tendência a cristalização da lactose. O dissacarídeo lactose é o predominante e mais importante carboidrato do leite, existindo concentrações muito baixas de outros monossacarídeos, incluindo glicose e galactose, oligossacarídeos neutros e ácidos e carboidratos ligados a peptídeos e proteínas (ROBINSON, 1981). A reação entre um açúcar redutor e um grupamento amina é denominada de escurecimento não-enzimático. Segundo Boekel (1998), as consequências da reação de escurecimento não enzimático no leite e seus derivados são: a) diminuição do valor nutritivo devido ao bloqueio dos resíduos de lisina, a qual não fica disponível para a digestão; b) produção de compostos que geram flavor; c) formação de compostos antioxidantes nas etapas mais avançadas da reação; d) formação de compostos antibacterianos; e) desenvolvimento de coloração amarronzada devido à melanoidina. De acordo com Morales & Boekel (1998), o escurecimento oriundo da reação de Maillard é desejável em alguns tipos de produtos, como os de confeitaria, chocolate e café, porém indesejável em leites esterilizados ou lácteos em pó. Segundo Bobbio (1992), os principais fatores que interferem na reação de escurecimento não enzimático são: a) temperatura: a reação é lenta a temperaturas baixas e apresenta coeficiente de aumento na velocidade da reação a cada elevação de 10°C na temperatura (Q_{10}) aproximadamente igual a dois; b) pH do meio: a velocidade da reação é máxima em pH próximo da neutralidade; c) atividade de água: quando a atividade de água é superior a 0,9 há diminuição da velocidade de escurecimento e essa velocidade tende a zero quando a atividade de água aproxima-se de 0,2; d) natureza do carboidrato: a velocidade da reação é maior em monossacarídeos do que em dissacarídeos; e) natureza do aminoácido: a estrutura da molécula dos aminoácidos é importante para a velocidade da reação, sendo decrescente na ordem do aminoácido básico lisina, para o ácido glutâmico e posteriormente para o aminoácido neutro glicina; f) efeito dos catalisadores: a reação é acelerada pela presença de ânions como fosfato, citrato e pela presença de cobre.

3.3 Propriedades e cristalização da lactose

De acordo com Damodaran et al. (2007), a concentração de lactose no leite varia conforme a origem entre 2,0% a 8,5%. O leite de vaca contém, corriqueiramente, maior quantidade de lactose do que qualquer outro componente sólido, apresentando uma concentração quase constante entre 45 g.L⁻¹ a 50 g.L⁻¹ (WALSTRA & JENNESS,

1984). Os açúcares que possuem átomos de carbono assimétricos são opticamente ativos, suas soluções desviam o plano de vibração da luz polarizada que os atravessa. A alfa lactose e a beta lactose diferem em sua rotação específica. Uma solução recém preparada de qualquer uma delas mudará sua rotação com o passar do tempo à medida que tem lugar o equilíbrio com a outra forma. Segundo Holsinger (1997), a lactose pode ocorrer em duas formas cristalinas nos produtos lácteos, α -hidratada e β -anidra, ou como uma mistura vítrea amorfa de alfa e beta lactose. A forma estrutural da α -lactose pode ser convertida na forma estrutural beta por meio da mudança na posição da hidroxila e do hidrogênio no grupo redutor. Esta mudança na rotação na conformação espacial é denominada mutarrotação. De acordo com Whittier (1944), a mutarrotação é um fenômeno característico de todo açúcar redutor em solução aquosa e, em algumas instancias, é atribuído a mudanças nas concentrações das formas alfa e beta. Uma solução de lactose em seu estado de equilíbrio, a 25°C, possui 62,25 % de sua lactose na forma beta e 37,75% na forma alfa. As formas beta e alfa possuem propriedades físicas distintas. Segundo Nickerson (1974), a α -lactose, a 20°C, possui rotação específica em água de $[\alpha]_D = 89,4^\circ$ e possui um ponto de fusão de 201,6°C. Já a β -lactose possui rotação específica em água de $[\beta]_D = 35^\circ$ e possui um ponto de fusão de 252,2°C. Para a mutarrotação, segundo Walstra & Jenness (1984), o coeficiente Q_{10} é igual a 2,8 e a energia de ativação da reação é de 75 kJ mol⁻¹. Os mesmos autores relatam que, sob condições de elevada concentração de açúcares, como em leite condensado e doce de leite, ocorre uma diminuição significativa na taxa de mutarrotação. As frações de alfa e beta lactose possuem solubilidades distintas e a mutarrotação torna-se um fator importante na cristalização (HOLSINGER, 1997). Segundo Whittier (1944), quando um excesso de α -lactose é colocado em água a temperatura de 15°C, uma quantidade definida, de aproximadamente 7 g/100 g, é dissolvida, sendo definida como a solubilidade verdadeira da forma alfa. O aumento da solubilidade, com o passar do tempo, deve-se a mutarrotação, pois a forma alfa é convertida na forma beta, tornando a solução insaturada em relação à α -lactose. Desta forma, maior quantidade de α -lactose pode ser dissolvida. O processo continua até que o ponto final de equilíbrio seja alcançado, aproximadamente 17 g/100 g. De acordo com Holsinger (1997), a β -lactose, sob condições similares, apresenta uma solubilidade inicial sensivelmente mais elevada, ao redor de 50 g/100 g. Segundo Walstra et al. (2001), se β -lactose é adicionada em água, o processo de solubilização inicia-se muito rápido, porém torna-se mais lento com o passar do tempo. Como con-

sequência da mutarrotação, forma-se mais α -lactose do que o limite de solubilidade da solução, acarretando em cristalização da forma alfa. Nestas condições, a solubilidade depende em parte do equilíbrio de mutarrotação, da velocidade de dissolução e da velocidade de mutarrotação. Os valores para solubilidade da lactose variam entre o valor inicial, o valor final e o de supersolubilidade (Tabela 5). As soluções de lactose podem se tornar extremamente supersaturadas antes que ocorra o fenômeno da cristalização (HOLSINGER, 1997).

De acordo com Walstra et al. (2001), quando a concentração de lactose na solução é 2,1 vezes o valor de saturação, se produz rapidamente a cristalização espontânea, provavelmente porque a nucleação primária é homogênea. Quando a concentração de lactose é menor que 1,6 vezes o valor da saturação, geralmente é necessário à adição de sementes de cristais para induzir a cristalização. O solvente e a presença de sais ou sacarose influenciam na solubilidade da lactose. Na Tabela 6 encontra-se a solubilidade relativa da lactose em soluções contendo sacarose. Segundo Whittier (1944), em uma solução contendo sacarose próxima ao seu ponto de saturação, a solubilidade da lactose é reduzida à metade do que seria em uma solução sem sacarose. Concentrações de sacarose entre 40 e 70% m/v produzem uma redução na solubilidade da lactose entre 40 a 80%

(NICKERSON, 1974). A α -lactose cristaliza como hidrato, contendo quantidades equimolares de lactose e água, sendo seus cristais bastante duros e não higroscópicos. A temperatura ambiente, a β -lactose anidra se dissolve mais rapidamente que o hidrato de α -lactose e sua solubilidade é aproximadamente dez vezes superior, sendo seus cristais menores e com maior área superficial (WALSTRA & JENNESS, 1984).

Segundo Walstra et al. (2001), para evitar a agregação e o aparecimento de arenosidade nos produtos lácteos, os cristais de lactose devem ser inferiores a 10 μ m. Holsinger (1997) afirma que para os cristais produzirem uma textura arenosa, devem exceder o tamanho de 16 μ m. De acordo com Nickerson (1954), na produção de sorvetes, cristais de lactose com tamanho superior a 14 μ m produzem textura arenosa. Hunziker (1934) afirma que em leite condensado, os cristais não devem exceder 10 μ m e que quando superam 30 μ m tornam o produto arenoso.

3.4 Secagem por atomização

De acordo com Knipschildt & Andersen (1994), o método de secagem é o mais importante método de conservação de lácteos, pois a utilização desta técnica possibilita a conversão do leite ou soro em leite ou soro em pó com perdas

Tabela 5 – Solubilidade da lactose a diferentes temperaturas.

Temperatura (°C)	Solubilidade (g/100 g água) α inicial	Solubilidade (g/100 g água) β inicial	Solubilidade (g/100 g água) Final (α e β)
0	5,0	45,1	11,9
15	7,1	-	16,9
25	8,6	-	21,6
39	12,6	-	31,5
50	17,4	-	43,7
90	60,0	-	143,9
100	-	94,7	157,6

Fonte: Holsinger (1997)

Tabela 6 – Solubilidade relativa da lactose (SRL) em soluções com sacarose¹.

Solução Sacarose (m/v)	SRL 25°C	SRL 40°C	SRL 50°C	SRL 60°C	SRL 80°C	SRL 85°C
40%	74,5	76,7	75,5	81,9	89,4	80,5
50%	63,0	64,8	64,9	71,9	76,7	73,0
60%	50,9	53,5	53,5	57,8	70,2	66,4
70%	42,1	44,3	43,2	54,3	63,9	62,7

Sendo: ¹= porcentagem de solubilidade de lactose em água a mesma temperatura.

Fonte: Nickerson & Moore (1972)

nutricionais mínimas. Há três tipos principais de sistemas de secagem em utilização pelas indústrias. Na secagem em único estágio, emprega-se apenas a câmara de secagem para transformar o leite ou soro concentrados em pó, o que produz um pó particulado caracterizado pela baixa solubilidade em água. Na secagem em dois estágios, além da câmara de secagem, emprega-se o fluidizador, acarretando na obtenção de um pó aglomerado, com características superiores de solubilidade. A associação de dois fluidizadores com capacidade de evaporação junto à câmara de secagem caracteriza o processo de secagem em três estágios e em intensa aglomeração do pó (WESTERGAARD, 2001). O processo de secagem de lácteos implica na formação de lactose no estado amorfo que é altamente higroscópica. Segundo Hynd (1980), o soro em pó possui a tendência de absorver água do ar ambiente, acarretando agregação de partículas coloidais do produto durante o armazenamento e a substituição de parte da lactose amorfa por lactose cristalina, como resultado da cristalização do soro concentrado, transforma o soro em um produto não higroscópico. De acordo com Fox & McSweeney (1998), no intuito de aumentar o prazo de conservação do soro em pó deve-se realizar controle da acidez do soro, da cristalização da lactose e da temperatura do ar de saída câmara de secagem. As curvas de sorção, conforme Jouppila & Roos (1994), são drasticamente afetadas pela presença de lactose amorfa. Segundo Masters (2002), o soro em pó, quando obtido sem prévia cristalização, é um pó muito fino, higroscópico e com grande tendência a agregação de partículas coloidais, o que se deve a presença de lactose em um estado vítreo ou amorfo. De acordo com Knipschildt & Andersen (1994), a cristalização do soro concentrado pode ser realizada pela adição de núcleos de cristalização, lactose microcristalina ou soro em pó, seguida de agitação e controle da temperatura. 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 prima e as condições de estocagem.

O aprimoramento da qualidade de produtos lácteos desidratados, o qual é governado pelo his-

tórico 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 ao equipamento. Segundo Hardy (2001), no caso de produtos lácteos desidratados, as suas propriedades (fluidez, estabilidade ao armazenamento e solubilização) são 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 7 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 20 MPa (200 bar), sendo alimentados por soro concentrado entre 42% e 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 Pisecký (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 entre 180°C e 200°C e temperatura do ar de saída em 92°C. Segundo Vuataz (2002), o processo de secagem do leite e de seus derivados foi desenvolvido empregando uma base mais empírica e tecnológica do que em conceitos da ciência dos materiais alimentícios, o que pode ser desen-

Tabela 7 – Atributos de secagem para produtos lácteos.

Produto lácteo	Teor de sólidos totais no soro concentrado (% m/m)	Temperatura do ar de entrada no spray dryer (°C)	Temperatura do ar de saída no spray dryer (°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).

volvido por meio de diagramas de fases, curvas de sorção e análise da composição físico química.

4 CONCLUSÕES

O soro já foi considerado uma matéria prima de aproveitamento oneroso para a indústria de laticínios, entretanto atualmente é amplamente requisitado como ingrediente ou como precursor de ingredientes na indústria de alimentos. Dentre as diversas formas de processamento do soro na indústria encontra-se a produção do soro em pó. O Brasil caracteriza-se como um grande importador deste produto. A obtenção do soro em pó pode ser realizada empregando a associação de processos de filtração por membranas, evaporação a vácuo e secagem em Spray Dryer. Diversos problemas tecnológicos podem ocorrer durante a produção do soro em pó, destacando-se adesão de partículas coloidais, entupimento de equipamentos e diminuição do prazo de validade do produto. O desenvolvimento de atributos operacionais e tecnológicos para o processamento do soro em pó são necessários para um eficiente projeto de equipamentos na indústria de Concentrados e Desidratados nacional. Equipamentos e linhas de processo bem projetados contribuirão para uma maior competitividade destas indústrias nos mercados nacional e internacional, bem como o melhor aproveitamento do soro.

SUMMARY

In the past, whey was considered to be an onerous by-product and was spread on the fields or used as cattle feed. Nowadays, due to the stringent environmental regulations that forbid the dumping of high oxygen-demanding products such as whey, and the scientific demonstration of the nutritional qualities of whey components and the fractionation techniques, whey is better used as an ingredient or an ingredient precursor. The aim of this work is to show a review about this topic.

Index terms: evaporation, crystallization, drying.

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

BOBBIO, F. O.; BOBBIO, P. A. **Introdução à química de alimentos**. 2. ed. São Paulo: Varela, 1992. 151 p.

BOEKEL, M. A. J. S. Effect of heating on Maillard reactions in milk. **Food Chemistry**. Elsevier Science Ltd, v. 62. n. 4. p. 403-414, 1998.

Codex Alimentarium – CODEX STAN A-15-1995, Ver.1-2005. Disponível em: <www.inmetro.gov.br/credenciamento/palestras/RegulamentacaoTecnica.pdf>. Acesso em: 09/03/2010.

DAMODARAN, S.; PARKIN, K. L., FENNEMA, O. R. **Fennema's Food Chemistry**. 4ed. New York: CRC Press, 2007. 1144p.

FOX, P. F.; McSWEENEY, P. L. H. **Dairy Chemistry and Biochemistry** 1ed. London: Thomson Science, 1998. 461p.

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.

GIRALDO-ZUNINGA, A. D. Propriedades funcionais e nutricionais das proteínas do soro de leite. **Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes**, v. 57, n. 325, p. 35-46, 2002.

HARDY, J. Water activity and hydration of milk powders. **First international symposium on spray drying of milk products**, Rennes, France, 2001.

HOLSINGER, V. H. Physicol and chemical properties of lactose. In: FOX, P.F. **Advanced dairy chemistry**. 2. ed. London: Chapman & Hall, v. 3, p. 1-38, 1997.

HUNZIKER, O. F. **Condensed milk and milk powder**. 5ed. La Grange, Illinois, 1934. 696p.

HYND, J. Drying of whey. **Journal of The Society of Dairy Technology**, Wembley, v. 33, n. 2, p. 52-55, apr. 1980.

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.

KNIPSCHILDT, M. E., ANDERSEN, G. G. In: ROBINSON, R. K., **Advances in Milk Processing**, London: Chapman & Hall, v. 1, p. 159-254, 1994.

LEITE, J. L. B.; SIQUEIRA, K. B.; CARVALHO, G. R.; FORTES, L. R. L. S. **Comércio**

- Internacional de Lácteos**. Juiz de Fora: Templo Gráfica e Editora, 2008. 281p.
- MASTERS, K. **Spray Drying in Practices**. Denmark: SprayDryConsult International ApS, 2002. 464 p.
- MILKPOINT. **Estatísticas**. Disponível em: <http://www.milkpoint.com.br/estatisticas/Expotacoes_Brasileiras.htm> Acesso em 26 de novembro de 2010.
- MORALES, F. J; BOEKEL, M. A. J. S. A study on advanced Maillard reaction in heated casein / sugar solutions: colour formation. **International Dairy Journal**. Oxford, n. 8, p. 907-915, 1998.
- NICKERSON, T. A. Lactose crystallization in ice cream: Controle of crystal size by seeding. **Journal of dairy science**. Ohio, v. 37, n. 4, p. 1099-1105, Abril, 1954.
- NICKERSON, T. A. Lactose. In: WEBB, B. H.; JOHNSON, A. H.; ALFORD, J. A. **Fundamentals of Dairy Chemistry**. Westport: AVI Publishing, v. 1. p. 273-324, 1974.
- NICKERSON, T. A.; MOORE, E. E. Solubility interrelations of lactose and sucrose. **Journal of food science**. Chicago, v. 37, n. 1, p. 60-61, Jan/Feb. 1972.
- Písecký, J. **Handbook of milk powder manufacture**, Niro A/S, Copenhagen, Denmark 1997.
- ROBINSON, R. K. **Dairy Microbiology: the microbiology of milk**. London and New Jersey: Applied Science Publishers, 1981. 258p.
- 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.; BOUHALLAB, S.; DURUPT, D.; VAREILLE, P.; HUMBERT, J. P.; MARIN, M. Séchage des lactosérums et derives: role du lactose et de la dynamique de l'eau. **Le Lait**, Rennes, v. 84, 243-268, 2004.
- SCHUCK, P.; JEANTET, R.; CARVALHO, A. F. Cristalização da lactose e secagem de soro. Curso ministrado na Disciplina TAL 795 Ciência e tecnologia de leite e derivados Universidade Federal de Viçosa, 2010.
- 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.
- TIBA, R. Teoria da secagem na Industrialização de Leite em Pó Instantização – Secagem de Soro. **Primeiro Curso de Concentrados e Desidratados**, p. 5.23-5.24, 1984.
- VILELA, S. C. Cifra de transição em queijos. **Informativo Hala Biotec CHR Hansen**. N.108, agosto/setembro, 2009.
- VUATAZ, G. The phase diagram of milk: a new tool for optimizing the drying process. **Le Lait**, Rennes, v. 82, p. 485-500, 2002.
- WALSTRA, P.; GEURTS, T. J.; NOOMEN, A.; JELLEMA, A.; BOEKEL, M. A. J. S. **Ciencia de la leche y tecnología de los productos lácteos**. Zaragoza: Editorial Acribia, 2001.729 p.
- WALSTRA, P.; JENNESS, R. **Química y física lactológica**. Zaragoza: Editorial Acribia, 1984. 423 p.
- WESTERGAARD, V. **Tecnología de La Leche en Polvo – Evaporación y Secado por Atomización**. Copenhagen: Niro A/S, 2001. 166 p.
- WHITTIER, E. O. Lactose and its utilization: a review. **Journal of Dairy Science**. Ohio, v. 27, n. 7, p. 505-529, Julho. 1944.
- ZADOW, J. G. In: ROBINSON, R. K. **Advances in Milk Processing**, London: Chapman & Hall, v. 1, p. 313-374. 1994.
- HENNING, D. R.; BAER, R. J.; HASSAN, A. N.; DAVE, R. Major Advances in Concentrated and Dry Milk Products, Cheese, and Milk Fat-Based Spreads. **Journal of Dairy Science**. Ohio, v. 89, p. 1179-1188. 2006.
- JOHNSON, M. E.; LUCEY, J. A. Major Technological Advances and Trends in Cheese. **Journal of Dairy Science**. Ohio, v. 89, p. 1174-1178. 2006.