Revisão Bibliográfica DOI:

**GORDURA SUPERFICIAL EM LEITE EM PÓ**

**FAT IN THE MILK POWDER SURFACE**

*Louise Bergamin Athayde de Souza¹; Gabriel Gama Netto¹; Karina Coelho Moreira da Silva¹; Rodrigo Stephani*2; *Antônio Fernandes de Carvalho¹; Ítalo Tuler Perrone3\**

1Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Tecnologia de Alimentos (DTA), INOVALEITE, Viçosa, MG, Brasil.

2 Universidade Federal de Juiz de Fora, Departamento de Química (DQ), Juiz de Fora, MG, Brasil.

3\*Universidade Federal de Juiz de Fora, Departamento de Ciências Farmacêuticas, Faculdade de Farmácia. Campus Universitário, Rua José Lourenço Kelmer, s/n, São Pedro, 36036-330, Juiz de Fora, MG, Brasil. E-mail: [italotulerperrone@gmail.com](mailto:italotulerperrone@gmail.com)

**RESUMO**

O leite em pó é um produto altamente versátil, fabricado geralmente por meio da técnica de spray drying, que consiste na remoção de grande parte da água expondo o produto a uma corrente de ar quente. Esse produto possui prazo de validade superior ao leite in natura e oferece diversas comodidades, como maior estabilidade microbiológica e química e condições de armazenamento menos restritas. Entretanto um grande acúmulo de gordura na superfície desses pós tem sido vastamente documentado em diversas partes do mundo. Frações dessa gordura que se apresenta na camada externa do pó estão na forma livre sendo associadas a características indesejáveis do produto, como dificuldades de reidratação, oxidação de lipídios, aumento de viscosidade e outros, levando a redução de qualidade do produto. Maneiras de reduzir esse teor de gordura tem sido buscadas para amenizar seus efeitos indesejáveis e uma das formas promissoras parece ser pela estabilização da matriz láctea antes das etapas de atomização e secagem. Nessa revisão bibliográfica será abordada as características do leite em pó, características da gordura, assim como ocorrência da gordura superficial, os causadores e algumas das possíveis solução do problema.

**Palavras-chave:** leite em pó; gordura livre; gordura superficial; pós lácteos

**ABSTRACT**

Milk powder is a highly versatile product produced by spray drying, which consists of removing water by exposing the product to a current of dry and hot air. This product has a longer shelf life than fresh milk and offers positive points, such as greater microbiological and chemical stability and less restricted storage conditions. However, a large migration of fat to the surface of these powders has been widely documented in several studies. Part of this fat present on the powder surface is in the free form and associated with undesirable characteristics of the product, such as rehydration difficulties, lipid oxidation, increased viscosity and others, leading to reduced product quality. Stabilizing the milk emulsition matrix before the atomization and drying steps is the best way to avoid free fat. In this bibliographic review, the characteristics of milk powder, characteristics of fat, as well as the occurrence of superficial free fat, the causes and some of the possible solutions.

**Keywords:** milk powder; free fat; fat at surface; dried dairy powders

1. **INTRODUÇÃO**

O leite e seus derivados merecem destaque por constituírem um grupo de alimentos de grande valor nutricional, uma vez que são fontes consideráveis de proteínas de alto valor biológico, além de conterem vitaminas e minerais. O consumo habitual desses alimentos é recomendado, principalmente, para que se atinja a adequação diária de ingestão de cálcio, um nutriente que, dentre outras funções, é fundamental para a formação e a manutenção da estrutura óssea do organismo (Muniz et al., 2013).

O leite em pó é um derivado do leite natural, sendo uma forma moderna de consumo do mesmo, este é obtido pela desidratação do leite, que pode ser integral, semidesnatado ou desnatado. O objetivo da desidratação do leite é estabilizar os constituintes do leite para seu armazenamento e uso posterior, pela redução da atividade de água do produto, levando a maior vida de prateleira.

É um alimento muito valioso e nutritivo, que pode ser usado como ingrediente na formulação de uma gama enorme de produtos, incluindo produtos de confeitaria, molhos, massas e até produtos farmacêuticos. Além disso, ao ser adicionado o teor de água removido, ele pode ser reconstituído, voltando a ter características do leite fluido, entretanto para que sua reconstituição seja adequada é necessário que esse produto atenda algumas exigências, como ter boa molhabilidade, dispersabilidade, solubilidade e penetrabilidade, que dependem de diversos fatores, entre eles as características da superfície da partícula.

Durante as etapas de processamento geralmente ocorre uma camada indesejada de gordura sobre a superfície das partículas, sendo composta por frações de gordura livre que leva a efeitos prejudiciais nas propriedades do pó, incluindo solubilidade reduzida na água, oxidação de lipídios, aumento de viscosidade, perda da qualidade do produto.

Diversos estudos têm documentando uma grande quantidade de gordura na superfície dos pós que ocorre principalmente durante as etapas de atomização e secagem e seus efeitos prejudiciais. Tem-se notado que possivelmente maneiras eficientes de se reduzir esse teor de gordura pode ser pela estabilização da matriz láctea antes dela passar por esses processos, de modo que o glóbulo de gordura esteja mais protegido antes de sofrer as alterações causadas por esse processo.

Conhecer as características dessa gordura e procurar maneiras de reduzi-la se faz necessário para aumentar a qualidade do leite em pó e outros produtos lácteos, que apresentam esse mesmo problema.

Essa revisão tem como foco abranger as características do leite em pó, de sua gordura, os relatos sobre esse acumulo superficial de gordura, além disso indicar algumas alternativas para redução do problema trazido.

1. **REFERENCIAL TEÓRICO**

**2.1- LEITE EM PÓ**

Entende-se por leite em pó o produto que se obtém por desidratação do leite de vaca, integral, desnatado ou parcialmente desnatado e apto para a alimentação humana, mediante processos tecnologicamente adequados. É classificado como integral quando o teor de gordura for maior ou igual a 26,0%, desnatado quando o teor de gordura for menor ou igual a 1,5% de gordura e parcialmente desnatado se o teor de gordura for maior do que 1,5 e menor que 26%. Pode ser classificado como instantâneo ou não, a depender de sua umectabilidade e dispersibilidade, e, seu teor de umidade deve ser de no máximo 5,0% (BRASIL, 2018).

O leite em pó, por possuir baixa atividade de água é considerado um produto estável em termos microbiológicos. Apesar do alto custo energético do processo de secagem, tem-se como outras vantagens o transporte do produto que não necessita de refrigeração e é facilitado devido à redução considerável de volume. Como basicamente somente a água é retirada do produto a redução de volume não altera a composição do extrato seco do leite e facilita, ainda, o manuseio e o armazenamento do produto. Além disso, há uma enorme demanda de leite em pó como ingrediente para diversos produtos, como biscoitos, massas, farinhas, sorvetes e diversos outros alimentos lácteos (MEDEIROS, 2010).

A produção mundial de leite em pó tem aumentando constantemente nos últimos anos devido a diversas comodidades trazidas pela sua fabricação, como: os elevados atributos de qualidade do produto, que pode ser mantido sem condições especiais de armazenamento preservando a funcionalidade, a segurança e suas propriedades tecno-funcionais para aplicação; a redução de volume, favorecendo etapas como transporte e estocagem; a possibilidade de oferta do produto por tempo superior ao produto fluido, a não exigência de embalagens complexas; a facilidade de reconstituição, entre outras. (KITAMURA et al., 2009; PRADO; PARADA; SOCCOL, 2008; CUQ; RONDET; ABECASSIS, 2011; SCHUCK, 2016).

As etapas de processamento do leite em pó consistem em recepção, clarificação, resfriamento e armazenamento, padronização, tratamento térmico, evaporação, homogeneização, secagem e embalagem (LANOTTE et al., 2018).

**2.2 CARACTERÍSTICAS DE RECONSTITUIÇÃO**

O pó obtido pelo processo de secagem deve ser de fácil hidratação e reconstituição. Ao ser despejado sobre a superfície da água deverão ocorrer os seguintes fenômenos: (i) molhabilidade, que consiste na penetração do liquido para o interior da estrutura do pó, movido por forças capilares, (ii) imersibilidade, que é a imersão das partículas ou de porções do pó no líquido; (iii) dispersibilidade, ou seja, a capacidade do pó de se espalhar no liquido e a (iv) solubilidade, que é a dissolução das partículas pelo líquido, desde que estas sejam solúveis. O índice de insolubilidade de um pó é uma medida do grau em que pode ser prontamente solubilizado em água antes da utilização. Está relacionado com a quantidade de sedimento obtido sob condições definidas de mistura de pós de leite.  A fluidez também é influenciada por outros fatores, como a gordura total no pó e a quantidade de gordura livre. As propriedades associadas a essas quatro etapas são denominadas de "instantaneidade" do produto (PISECKY, 2012).

O leite em pó instantâneo visa atender consumidores, que são exigentes quanto à praticidade e à qualidade do produto. Diversos fatores estão relacionados com a obtenção de leite em pó instantâneo, dentre os quais destacam-se gordura livre, densidade da partícula, aglomeração, intensidade do tratamento térmico, presença de lactose amorfa, retorno de finos para câmara de secagem, tipo de atomizador e equipamento de secagem empregado (SILVEIRA et al., 2013).

Em relação a molhabilidade, segundo PISECKY (2012) existe uma correlação inversa entre esta e o conteúdo de gordura livre. Quando maior o teor de gordura livre mais difícil será a penetração do liquido pelas partículas, dificultando a hidratação.

**2.3- GORDURA LIVRE, ENCAPSULADA E GORDURA SUPERFICIAL**

A partícula de leite em pó, é composta por gordura livre e encapsulada, a gordura livre é considerada como a gordura (i) que não é inteiramente revestido e estabilizado por moléculas anfifílicas, por exemplo, pela membrana nativa do glóbulo de gordura, composta por fosfolípidios e proteínas ou por um revestimento reconstituído de proteínas adsorvidas após alguns passos de processamento, tais como tratamento térmico e homogeneização, ou (ii) que não é totalmente protegido por uma matriz composta por hidratos de carbono amorfas (por exemplo, lactose) e proteínas durante a secagem. Essa gordura está localizada tanto na superfície quanto nas partes internas de uma partícula do pó (VIGNOLLES et al., 2007).

As frações de gordura livre apresentam concentrações levemente mais altas de ácidos graxos saturados C6-C18 e concentrações ligeiramente menores de ácidos graxos insaturados C16-C18 em comparação com a gordura total.  Apresentam maior proporção de espécies triglicérides de alto ponto de fusão do que a gordura encapsulada. As espécies de triglicerídeos de alto ponto de fusão presentes nas frações de gordura livre são levemente acumuladas na superfície do pó (KIM; DONG; PEARCE, 2005a).  Entretanto a gordura encapsulada representa cerca de 90% da gordura total (VIGNOLLES et al., 2007).

A gordura livre, pode ser também definida como a fração de gordura que é extraída por solventes orgânicos sob condições padronizadas, sendo um parâmetro importante para caracterizar os pós lácteos que contêm gordura. O tempo e o solvente e a técnica delimitam qual fração da gordura será extraída, frações internas e encapsuladas são extraídas consideravelmente de forma mais lenta (KIM; DONG; PEARCE, 2005a). Acredita-se que a gordura livre esteja presente principalmente (e, portanto, extraída) na superfície do pó. (VIGNOLLES et al., 2007).

Nem toda gordura presente na superfície estará na forma livre, uma parte dela será encapsulada. A quantidade total de gordura superficial livre, frequentemente expressa pela eficiência de encapsulação de uma amostra de pó, é frequentemente quantificada pela extração de gordura superficial. Entretanto nenhum procedimento padrão foi estabelecido e as técnicas na literatura variam consideravelmente entre si, conforme resumido por  [Vega e Roos (2006).](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780081005965211554" \l "bib80)  A quantidade de gordura extraída depende ainda do tamanho e da porosidade da partícula ([VIGNOLLES et al., 2007).](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780081005965211554" \l "bib82) Acredita-se que uma quantidade significativa de gordura extraível não se origine das superfícies das partículas, mas da gordura livre interna que é extraída do interior das partículas através de poros e fissuras, em particular em misturas relativamente intensas e longos tempos de exposição ao solvente ([SCHMIDMEIER et al., 2019](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780081005965211554" \l "bib6); [BUCHHEIM, 1982](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780081005965211554" \l "bib5)). Por essa razão, os resultados da extração de gordura das amostras de leite em pó podem, na maioria das vezes, representar a quantidade de gordura livre em vez da quantidade de gordura da superfície livre ([KIM; DONG; PEARCE, 2005b).](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780081005965211554" \l "bib45)

Nesse sentido para caracterizar amostras de pós quando a gordura superficial comumente utiliza-se análise espectroscópica de fotoelétrons de raios X (XPS), também referida como espectroscopia de elétrons para análise química, neste contexto é o método predominante para quantificar a composição química superficial de partículas de leite (GAIANI et al., 2010; [MURRIETA-PAZOS et al., 2012](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780081005965211554#bib61); WU et al., 2014; NIKOLOVA et al., 2014; NIKOLOVA et al., 2015; KELLY et al 2015). Nesta técnica de análise de superfície sensível, as amostras de pó são irradiadas com um feixe de raios X de um nível de energia bem definido sob alto vácuo, e elétrons são emitidos se sua [energia de ligação](https://www.sciencedirect.com/topics/agricultural-and-biological-sciences/binding-energy) for ultrapassada pela energia do fóton (FOERSTER; WOO; SELOMULYA, 2017). Apesar da técnica não detectar a gordura livre, ela é capaz de determinara composição superficial do pó que geralmente é rica por lipídeos. Como grande parte da gordura se acumula na superfície, consequentemente junto a ela estará a gordura livre. É de grande importância medir adequadamente a composição superficial de pós lácteos, a fim de prever suas propriedades de uso, pois quanto maior o teor de gordura na superfície maior será o teor de gordura livre e pior qualidade será a qualidade do pó.

Na maioria dos casos, 'gordura livre' é considerado um defeito. A exceção é onde 'gordura livre' é necessária para uma aplicação específica, por exemplo, fabricação de chocolate. Uma das influências mais críticas da 'gordura livre' é o teor de umidade do pó. Se a umidade for muito baixa (< 2,5%), a 'gordura livre' aumenta e diminui à medida que o teor de umidade aumenta de 2,5 para 4 a 5%, mas aumenta novamente se o teor de umidade for superior a 6 a 7% (LI et al., 2019).

**2.4-GORDURA SUPERFICIAL EM LÁCTEOS DESIDRATADO**

**2.4.1 Aspectos indesejáveis**

A camada hidrofóbica formada devido ao acúmulo de gordura torna as partículas de pó hidrofóbicas dificultando a hidratação do pó, além disso a gordura livre na superfície é um fácil alvo para a oxidação, podendo levar o produto a rancidez hidrolítica, aumento de viscosidade, redução das características de reconstituição (molhabilidade, penetrabilidade, dispersabilidade e solubilidade) e perda de qualidade do produto etc (PISECKY, 2012; VEGA; ROOS, 2006; KIM; DONG; PEARCE, 2005; 2005b; NIJDAM; LANGRISH, 2006).

A segregação de componentes do leite em pó é sistematicamente observada entre a superfície e o núcleo, onde a gordura migra preferencialmente para a superfície afetando fortemente as propriedades do pó.  (NIKOLOVA et al., 2015). O acúmulo de gordura na superfície do pó não é desejado, atribuindo ao pó algumas características indesejáveis, como dificuldade de reconstituição, aumento da taxa de oxidação de lipídios, aumento da viscosidade, perdas do produto entre outros ([KIM; DONG; PEARCE 2005a](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0268005X11001585#bib19) , [KIM DONG; PEARCE, 2005b](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0268005X11001585#bib20); [VIGNOLLES, et al., 2007](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0958694615001363" \l "bib44); KIM; CHEN; PEARCE, 2009; [GAIANI et al.., 2010](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0268005X11001585#bib9); MURRIETA-PAZOS et al., 2012)

**2.4.2 Ocorrências sobre acúmulo de gordura superficial**

O acúmulo de gordura na superfície tem sido documentado por diversos estudos (GAIANI et al., 2010; [MURRIETA-PAZOS et al., 2012](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780081005965211554#bib61); WU et al., 2014; NIKOLOVA et al., 2014; NIKOLOVA et al., 2015; KELLY et al 2015) trazendo consequências negativas para qualidade do pó.

KIM et al (2005a) investigaram a composição em massa e a composição superficial de pós lácteos (Tabela 1.).

**Tabela1**. Composição em massa e composição superficial dos pós industriais lácteos secos por pulverização (assumindo que os pós lácteos são compostos por três componentes principais: lactose, proteína e gordura)

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Produtos |  | Composição em massa  (% em massa) | | | | |  | | Composição da superfície (%) | | |
|  |  | | Lactose | Proteína | Gordura |  | | Lactose | | Proteína | Gordura |
| LPD |  | | 58 | 41 | 1 |  | | 36 | | 46 | 18 |
| LPI |  | | 40 | 31 | 29 |  | | 2 | | - | 98 |
| CLP |  | | 13 | 12 | 75 |  | | 1 | | - | 99 |
| WPC |  | | 8 | 86 | 6 |  | | 6 | | 41 | 53 |

LPD: Leite em pó desnatado; LPI: Leite em pó integral; CLP: Creme de leite em pó, WPC: Whey protein concentrado.

Fonte: adaptado de (KIM et al., 2005)

Como pode ser observado pela tabela 1, a medida que o teor de gordura do pó aumenta, há um aumento acentuado na cobertura de gordura da superfície. O leite em pó integral com composição de 29% de gordura em massa, apresentou uma cobertura superficial de 98% de gordura, ou seja, praticamente toda a superfície foi formada por gordura. Mesmo para lácteos com teor muito baixo de gordura, como leite em pó desnatado, por exemplo, com apenas 1% de gordura sua superfície era constituída por 18% de gordura (KIM et al., 2005). O comportamento de escoamento dos pós também foi verificado, e o pó com menor teor de gordura superficial, o leite em pó desnatado pode fluir mais facilmente que os demais. A gordura na superfície dos pós tem tendência a fazer com que as partículas se colem umas às outras ou se aglomerem, diminuindo a fluidez dos pós (KIM et al., 2005).

Mesmo para pós com baixo teor de gordura como fosfato nativo, é possível observar sobre-representação gordura na superfície dos pós, fosfato nativo possuindo apenas 0,4% de lipídios em massa, possuiu 6% de gordura em sua superfície. Após 30 dias de armazenado houve aumento do teor de gordura na superfície sendo encontrados valores de 13% de gordura e após 60 dias o teor de gordura superficial foi de 17%, evidenciando migração de gordura para a superfície durante a etapa de armazenamento (GAIANI et al., 2010).

Outros estudos tem também relatado que a gordura tende a ser sobre-representada na superfície da partícula em comparação com a composição da massa (KIM et al., 2005; GAIANI et al., 2010; KIM et al., [2009](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780081005965216934" \l "bib22); FYFE et al., 2011; FOERSTER et al., 2016a; FOERSTER et al., 2017). Emulsões de leite (modelo) com teor de gordura similar ao leite integral, após secas, apresentaram em suas superfícies mais de 80% de gordura (KIM et al., 2005;  [MURRIETA-PAZOS et al., 2012](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780081005965211554#bib61) ; [FOERSTER et al., 2016](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780081005965211554#bib24)b; FOERSTER et al., 2017). Teor de gordura quase três vezes maior em relação à composição em massa. Emulsões modelo de [leite desnatado](https://www.sciencedirect.com/topics/agricultural-and-biological-sciences/skim-milk) e [concentrados de proteína do leite](https://www.sciencedirect.com/topics/agricultural-and-biological-sciences/milk-protein-concentrates) também obtiveram acúmulo de gordura na superfície do pó com 3,5% e 45,9% de gordura superficial para conteúdo de gordura de 0,6% e 1,5% em massa. Representação de gordura de 6 a 30 vezes em comparação com a composição em massa ([KIM et al., 2009](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780081005965211554#bib46); [FYFE et al., 2011](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780081005965211554#bib27); [MURRIETA-PAZOS et al., 2012](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780081005965211554#bib61); [NIKOLOVA et al., 2014](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780081005965211554#bib65); [KELLY et al., 2015](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780081005965211554#bib39)).

**2.4 – Processos de acúmulo de gordura**

Uma das técnicas de secagem mais utilizadas para lácteos desidratados é a secagem por atomização também conhecida como “spray drying”. O leite concentrado é pulverizado em pequenas gotículas na câmara de secagem que em contato com uma corrente de ar quente e seco, seca-se instantaneamente devido à diferença de temperatura e pressão parcial de vapor entre o ar e a gotícula (PERRONE et al., 2016). O processo de secagem faz com que ocorra modificações estruturais e físico-químicas no leite, que por sua vez influenciará a reconstituição e propriedades de manuseamento dos pós.

A migração de componentes do leite ocorre tanto durante a atomização ( Wu et al., 2014; [Foerster et al., 2016a](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0268005X16306452#bib24); FOERSTER et al., 2017) quanto durante a secagem (ADHIKARI et al., 2009; GAIANI et al., 2010; FU; WOO; CHEN, 2011; NIKOLOVA et al., 2014; WU et al., 2014; KELLY et al., 2015). Durante ambos os processos, as gorduras do leite se acumulam preferencialmente na superfície das gotículas de leite, levando a uma cobertura de gordura dominante no leite em pó (KIM et al., 2009; FU; WOO; CHEN, 2011; FOERSTER et al., 2017)

Os principais fatores que foram estudados como causadores da segregação durante a secagem, onde as gotículas entram em contato com o ar quente, foram a difusividade, atividade de superfície, hidrofobicidade dos componentes e formação de crosta (ADHIKARI et al., 2009; GAIANI et al., 2010; FU; WOO; CHEN, 2011; NIKOLOVA et al., 2014; WU et al., 2014; KELLY et al., 2015).

No caso da atomização propõe-se que durante o estágio de atomização, um mecanismo de desintegração ao longo da interface óleo-água dos glóbulos de gordura cause a predominância superficial da gordura (FOERSTER et al., 2016, FOERSTER et al., 2017).

O teor de gordura superficial não é significativamente redutível, modificando as condições de secagem por pulverização, já que grande parte da gordura já se acumula na superfície dos pós durante a etapa de atomização, e por esse motivo uma forma promissora de reduzir a quantidade de gordura superficial é modificar a emulsão antes da secagem por pulverização, de modo a moderar a segregação entre o lipídio e a fase aquosa durante a atomização (FOERSTER et al., 2016; FOERSTER et al., 2017).

* 1. **– PROCESSOS DE ESTABILIZAÇÃO**

**2.5.1 Lecitinação**

A lecitina tem propriedades hidrofílicas e lipofílicas e pode ser utilizada para recobrir a superfície das partículas do leite em pó, suas características anfifílicas permitem que elas sejam adsorvida na interface gordura / água, com a porção hidrofílica na fase aquosa e a porção lipofílica na fase oleosa. O resultado é um revestimento em torno da superfície das partículas de leite em pó (contendo gordura) aumentando a sua afinidade pela água servindo literalmente de ponte entre a gordura e a água e facilitando, assim, a dispersão do pó (PISECKY, 2012). O teor máximo permitido no Brasil de lecitina para leite em pó instantâneo é de 5g/kg (BRASIL,2018).

**2.5.3 Aglomeração**

A aglomeração em leito fluidizado é utilizada para produzir aglomerados secos grandes e porosos com propriedades instantâneas melhoradas. É um processo de transformação do material do estado do pó para o estado de grânulos com estrutura porosa permitindo melhorias na reconstituição do leite em pó. As partículas de pó secas por atomização são umidificadas, inchando rapidamente e fechando os capilares, de modo que suas superfícies se tornem pegajosas e se colem umas às outras para formar aglomerados / conglomerados (BARKOUTI et al., 2013). As propriedades de reidratação (por exemplo, molhabilidade, capacidade de escoamento, dispensabilidade, solubilidade e taxa de dissolução) são aprimoradas. Em grandes indústrias, são as etapas de aglomeração e lecitinação que dão ao leite em pó seu caráter instantâneo, por meio de uma unidade de leito fluidizado adicionada ao final da linha de secagem por pulverização (GAIANI et al., 2010).

**2.5.1 Adição de estabilizantes a emulsão**

Algumas formas de reduzir o teor de gordura livre pode ser pela estabilização da emulsão antes dela passar pelo processo de secagem, que consiste no encapsulamento eficiente da gordura (FOERSTER et al., 2017; JAFARI et al., 2008; SARKAR et al., 2016). Isso pode ser feito pela adição de agentes interfaciais, como surfactantes, polissacarídeos, e outros agentes interfaciais antes do processo de atomização. ([FONSECA et al., 2011](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0268005X16306452" \l "bib26) ,[LALLBEEHARRY et al., 2014](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0268005X16306452" \l "bib40), Xu et al., 2013, [MILLQVIST-FUREBY; SMITH, 2007](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0268005X16306452#bib46) [, WANG, LIU, CHEN; SELOMULYA, 2016; FOERSTER et al., 2017)](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0268005X16306452#bib60).

Para emulsões lácteas a adição de agentes interfaciais pode ser de grande interesse, entretanto tratando-se de leite em pó, como aditivo, somente é permitido o uso da lecitina, no teor máximo de 5g/kg para leite em pó instantâneo (BRASIL, 2018). Portanto a estabilização com outros compostos não é possível.

**2.5.2 Redução do tamanho do glóbulo de gordura por homogeneização**

Uma forma de reduzir a ocorrência de gordura livre na superfície do pó poderia ser a utilização de homogeneização, com pressões mais altas que as convencionais. Havendo por esse processo maior redução do tamanho dos glóbulos de gordura e melhor encapsulamento desses glóbulos, tornando a emulsão mais estável e possivelmente menor ocorrência de gordura livre na superfície do pó. A pressão de homogeneização mais comumente utilizada nas indústrias é em torno de 20 MPa. No entanto, com o desenvolvimento de projetos de homogeneizadores, os processos de homogeneização podem atingir pressões muito mais elevadas, como 350 MPa, (MERCAN, SERT, AKIN, 2018) o que permite novas pesquisas, desenvolvimento de produtos e área de aplicações.

Durante a homogeneização há deformação e quebra de gotículas de gordura líquida, formando gotículas menores que são rapidamente adsorvidas pelo surfactante, que no caso do leite são pelas suas proteínas que são capazes de ajudar na separação das gotículas durante a homogeneização e prevenção da coalescência das gotículas de óleo (FENNEMA, DAMODARAN, PARKIN, 2017). As proteínas do leite adsorvidas aos glóbulos de gordura são responsáveis por promover repulsão eletrostática entre as gotículas e também promovem estabilização estérica.

Dependendo da pressão diferencial utilizada no processo de homogeneização, o fluido apresenta grande cisalhamento, cavitação e turbulência, e esses efeitos mecânicos são utilizados para mistura, dispersão, redução do tamanho de partículas e emulsificação. A adsorção de proteínas e a coalescência ocorrem em escalas de tempo curtas e a faixa final de tamanho de gotas da dispersão coloidal e sua estabilidade é governada pela entrada de energia mecânica, tipo e concentração do estabilizador e proporção de emulsificante para estabilizador ([LEE et al., 2013](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0260877416302916#bib22)).

Estudos sistemáticos sobre o papel da alta pressão durante a emulsificação da gordura são escassos, podendo ser uma nova linha de pesquisa a ser estudada.

1. **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

O leite em pó e produtos lácteos em pó apresentam maior vida de prateleira, viabilizando ganhos econômicos no armazenamento e transporte. Enquanto que o leite “in natura” é altamente perecível e volumoso, exigindo embalagem, estocagem e transporte especiais. Entretanto a ocorrência de gordura na superfície de pós lácteos, tanto gordura livre como gordura encapsulado, tem sido vastamente documentada, juntamente a isso problemas tecnológicos também estão atrelados a essas características como maior taxa de oxidação, maior viscosidade, dificuldades de reidratação e outros. Leites em pós integrais podem apresentar mais de 80% de gordura em sua composição superficial e para leites em pós ou lácteos em pós com teor reduzido de gordura, ainda assim se observa predominância desse componente na superfície, diferindo bastante da composição em massa. As etapas mais críticas para esse acúmulo de gordura são as etapas de atomização e secagem. Muitas indústrias já usam as etapas de aglomeração e lecitinação para reduzir os efeitos indesejáveis da gordura superficial. Outras propostas para menor ocorrência de gordura livre na superfície estão atreladas a melhor estabilização da emulsão antes do processo de secagem por atomização. Como no Brasil adição de componentes no leite em pó não é permitido, salvo os especificados em regulamento, uma das ideias promissoras é tentar estabilizar a emulsão com a utilização da ultra-alta homogeneização. Estudos sistemáticos sobre o papel da alta pressão durante a emulsificação da gordura são escassos, podendo ser uma nova linha de pesquisa a ser estudada.

1. **AGRADECIMENTOS**

Os autores agradecem ao CNPq pelas bolsas de produtividade e pelos investimentos em pesquisas.

1. **REFERÊNCIAS**

ADHIKARI, B. et al. Effect of addition of proteins on the production of amorphous sucrose powder through spray drying. **Journal of Food Engineering**, v. 94, n. 2, p. 144–153, 2009.

BARKOUTI, A. et al. Milk powder agglomerate growth and properties in fluidized bed agglomeration. **Dairy Science and Technology**, v. 93, n. 4–5, p. 523–535, 2013.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento Instrução Normativa 53, de 01 de outubro de 2018: **Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade do Leite em Pó.** Brasília, 2018

BUCHHEIM, W. **Electron microscopic localization of solvent-extractable fat in agglomerated spray-dried whole milk powder particles.** **Food Struct.,** v.1, p. 12, 1982.

FENNEMA, O.R.; DAMODARAN, S.; PARKIN, K.L. Introduction to food chemistry. In: Fennema's Food Chemistry. **CRC Press**,. p. 1107, 2017.

FYFE, K. et al. Influence of dryer type on surface characteristics of milk powders. **Drying Technology**, v. 29, n. 7, p. 758–769, 2011.

FOERSTER, M. et al. The impact of atomization on the surface composition of spray-dried milk droplets. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**, v. 140, p. 460–471, 2016a.

FOERSTER, M. et al. The influence of the chemical surface composition on the drying process of milk droplets. **Advanced Powder Technology**, v. 27, n. 6, p. 2324–2334, 2016b.

FOERSTER, M. et al. Reduction of surface fat formation on spray-dried milk powders through emulsion stabilization with λ-carrageenan. **Food Hydrocolloids**, v. 70, p. 163–180, 2017.

FOERSTER, M.; WOO, M. W.; SELOMULYA, C. Component Segregation During Spray Drying of Milk Powder. [S.l.]: **Elsevier**, 2017.

FU, N.; WOO, M. W.; CHEN, X. D. Colloidal transport phenomena of milk components during convective droplet drying. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**, v. 87, n. 2, p. 255–266, 2011.

GAIANI, C. et al. How surface composition of high milk proteins powders is influenced by spray-drying temperature. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**, v. 75, n. 1, p. 377–384, 2010.

KELLY, G. M. et al. Influence of protein concentration on surface composition and physico-chemical properties of spray-dried milk protein concentrate powders. **International Dairy Journal**, v. 51, p. 34–40, 2015.

KIM, E. H. J.; CHEN, X. D.; PEARCE, D. Surface composition of industrial spray-dried milk powders. 2. Effects of spray drying conditions on the surface composition. **Journal of Food Engineering**, v. 94, n. 2, p. 169–181, 2009.

KIM, E. H.; DONG, X.; PEARCE, D. Melting characteristics of fat present on the surface of industrial spray-dried dairy powders. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces** v. 42, p. 1–8, 2005a.

KIM, E. H.-J.; CHEN, X. D.; PEARCE, D. Effect of surface composition on the flowability of industrial spray-dried dairy powders. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**, v. 46, n. 3, p. 182–187. 2005b.

LALLBEEHARRY, P. et al. Effects of ionic and nonionic surfactants on milk shell wettability during co-spray-drying of whole milk particles. **Journal of Dairy Science**, v. 97, n. 9, p. 5303–5314, 2014.

LEE, L. L. et al. Emulsification: Mechanistic understanding. **Trends in Food Science and Technology**, v. 31, n. 1, p. 72–78, 2013.

LI, Y. H. et al. Comparative study on the characteristics and oxidation stability of commercial milk powder during storage. **Journal of dairy science**, v. 102, n. 10, p. 8785-8797, 2019.

MEDEIROS, U. K. L. DE. **Viabilidade técnica de uma rota não convencional para a produção de leite de cabra em pó em cooperativas do Rio Grande do Norte**. Programa de Pós Graduação em Engenharia Química (Tese de Doutorado) Universidade Federal do Rio Grande do Norte, p. 166. 2010.

MERCAN, E.; SERT, D.; AKIN, N. Determination of powder flow properties of skim milk powder produced from high-pressure homogenization treated milk concentrates during storage. **LWT**, v. 97, p. 279-288, 2018.

MURRIETA-PAZOS, I. et al. Composition gradient from surface to core in dairy powders: Agglomeration effect. **Food Hydrocolloids**, v. 26, n. 1, p. 149–158, 2012.

NIJDAM, J. J.; LANGRISH, T. A. G. The effect of surface composition on the functional properties of milk powders. **Journal of Food Engineering**, v. 77, n. 4, p. 919–925, 2006.

NIKOLOVA, Y. et al. Is it possible to modulate the structure of skim milk particle through drying process and parameters? **Journal of Food Engineering**, v. 142, p. 179–189, 2014.

NIKOLOVA, Y. et al. Toward a better determination of dairy powders surface composition through XPS matrices development. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**, v. 125, p. 12–20, 2015.

PERRONE, I. T.; SCHUCK, PIERRE ; MARTINS, E. ; SILVA, . R. ; PEREIRA, J. P. F.; RODRIGUES, R.C.; STEPHANI, R.; CARVALHO, A.F. Uso de ferramentas matemáticas em processos de secagem de leite e soro. **Indústria de Laticínios**, v. 123, p. 68-70, 2016.

PISECKY, J., Handbook of Milk Powder Manufacture, second ed. **GEA Process Engineering A/S**. 2012

SCHUCK, P.; JEANTET, R.; BHANDARI, B.; CHEN, X.D.; PERRONE, I.T.; CARVALHO, A.F.; FENELON, M.; KELLY, P. Recent advances in spray drying relevant to the dairy industry: A comprehensive critical review. **Drying Technology**, v. 34, p. 1773-1790, 2016.

SCHMIDMEIER, C. et al. Elucidation of factors responsible for formation of white flecks in reconstituted fat filled milk powders. **Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects**, v. 575, p. 245-255, 2019.

SILVEIRA, A. C. P., et al. Secagem por Spray drying: uma revisão. **Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes,** v. 68, n. 391, p. 51–58, 2013.

VEGA, C.; ROOS, Y. H. Invited Review: Spray-Dried Dairy and Dairy-Like Emulsions—Compositional Considerations. **Journal of Dairy Science**, v. 89, n. 2, p. 383–401, 2006.

VIGNOLLES, M. L. et al. Methods’ combination to investigate the suprastructure, composition and properties of fat in fat-filled dairy powders. **Journal of Food Engineering**, v. 94, n. 2, p. 154–162, 2009.

VIGNOLLES, M.-L. et al. Free fat, surface fat and dairy powders: interactions between process and product. **A review. Le Lait**, v. 87, n. 3, p. 187–236, 2007.

XU, Y. Y. et al. Effects of Emulsification of Fat on the Surface Tension of Protein Solutions and Surface Properties of the Resultant Spray-Dried Particles. **Drying Technology,** v. 31, n. 16, p. 1939–1950, 2013.

WU, W. D. et al. Towards spray drying of high solids dairy liquid: Effects of feed solid content on particle structure and functionality. **Journal of Food Engineering**, v. 123, p. 130–135, 2014.