

ANÁLISE DA SECAGEM DE SILICATO DE SÓDIO POR MEIO DE SPRAY-DRYER

André Vinícius Leite Pereira(Centro Universitário Padre Anchieta)
Deivid Maicon da Silva(Centro Universitário Padre Anchieta)
Marcelo Caetano de Souza (Centro Universitário Padre Anchieta)
Claudemar José Trevizam (Centro Universitário Padre Anchieta)
Hipólito Alberto Silva Gomes(Centro Universitário Padre Anchieta)

RESUMO

Desde meados do século XVIII a tecnologia de secagem por nebulização “Spray-dryer” é conhecida. A partir da década de 1920 sua utilização pelos setores químico e alimentício ganha força e o processo passa a ser usado em larga escala, nos últimos anos seu uso tem aumentado pelas múltiplas possibilidades técnicas que vão desde a produção de leite em pó até sabão em pó. Neste trabalho analisaremos a secagem de Silicato de Sódio (Na_2SiO_3) bem como as dificuldades enfrentadas no processo. Após o embalo do produto é comum ocorrer a compactação do Silicato de Sódio (Na_2SiO_3) após o embalo do produto, isto acontece devido a sua característica higroscópica. Quando embalado ainda quente, entra em contato com umidade proveniente da vaporização da água residual presente na partícula após a secagem, gerando assim o problema que causa dificuldades ao mercado consumidor. Por meio de uma análise cuidadosa do processo de secagem e embalo do produto, buscamos compreender as variáveis envolvidas nesta compactação sugerindo uma solução viável para o problema.

Palavras-chave: compactação; silicato; silicato de sódio; spray-dryer.

ABSTRACT

Since the middle of the 18th century, spray-dryer spray drying technology has been known. From the 1920s its use by the chemical and food sectors gained strength and the process started to be used on a large scale, in recent years its use has increased due to the multiple technical possibilities that range from the production of powdered milk to powdered soap. In this work we will analyze the drying of Sodium Silicate (Na_2SiO_3) as well as the difficulties faced in the process. After the product is packed, it is common for Sodium Silicate (Na_2SiO_3) to compact after the product is packed, this is due to its hygroscopic characteristic. When packaged while still hot, it comes in contact with moisture from the vaporization of the residual water present in the particle after drying, thus generating the problem that causes difficulties for the consumer market. Through a careful analysis of the drying and packaging process of the product, we seek to understand the variables involved in this compaction suggesting a viable solution to the problem.

Keywords: compaction; silicate; sodium silicate; spray-dryer.

1. INTRODUÇÃO

A secagem por nebulização, mais conhecida por "spray dryer", teve seus primeiros passos na metade do século XVIII, quando foi patenteada a primeira operação de secagem

de ovos (1865); porém, o início de sua utilização como processo a nível industrial data da década de 20. Os primeiros produtos a que se tem notícia como obtidos em larga escala com a secagem por nebulização foram o leite e o sabão em pó (ROSA, TSUKADA e FREITAS,2018).

O spray-dryer é um equipamento de secagem muito utilizado atualmente devido ao seu alto desempenho e rendimento. Sua maior utilização ainda se encontra na indústria de alimentos, no entanto muitas indústrias químicas têm descoberto no spray-dryng um método eficaz para substituir secagens com métodos alternativos. Sua capacidade de alterar parâmetros como vazão de entrada e saída (ar e mistura), temperatura também de entrada e saída, pressão de trabalho assim como a velocidade do pulverizador permitem moldar os vários processos nos quais se possibilita o desenvolvimento de métodos próprios para diferentes produtos e resultados.

A secagem dos líquidos por atomização ou pulverização, frequentemente chamada de secagem por atomização ou “spray dryer”, consiste em dispersar o produto a ser seco sobre forma de pequenas gotículas em uma corrente de ar quente de maneira a obter um pó (NEVES et al., 2014). As pequenas gotículas formadas e a grande área superficial das mesmas resultam em uma rápida evaporação da água a uma temperatura relativamente baixa, minimizando os danos térmicos ao produto (NEVES, 2014 apud SHUCK, 2009). Sua eficácia está baseada no princípio do aumento de área de contato entre o material a ser seco e o agente dessecante, ou seja, o ar quente (ROSA, TSUKADA e FREITAS,2018).

O uso de secadores evolui cada vez mais e se desenvolve de acordo com a necessidade da produção. No entanto como todo e qualquer processo, o mesmo não se encontra em estado de perfeito rendimento e livre de falhas e problemas decorrentes do uso tecnológico do maquinário.

Alguns problemas não passam apenas pelo equipamento, mas também na matéria prima e processo. A grande dificuldade encontra-se em adquirir equilíbrio entre estes três requisitos citados anteriormente, buscando um processo mais rentável, devido a rendimento e custo.

Assim como o equipamento, as matérias primas e soluções utilizadas no processo também tem suas particularidades e conseqüentemente os problemas que podem ser causados por diversos fatores. O que torna cada vez mais necessário a adequação do processo unindo equipamento e insumos.

Um dos grandes problemas encontrados por produtos secos via atomização é quando os mesmos são higroscópicos. Segundo Bezerra (2009) a higroscopicidade é a propriedade de absorver a umidade da atmosfera (apud MARTINS, 2001).

Na necessidade de buscar soluções para um problema físico corriqueiro de empresas que trabalham com secagem industrial de materiais higroscópicos, utilizando o secador spray-drying, tentando ainda reduzir o consumo de energia e buscar o aumento da produção, foi utilizado como fundamento a secagem de Silicato de Sódio (Na_2SiO_3) que apresentava compactação após o envase do produto.

O Silicato de Sódio (Na_2SiO_3) em pó é cada vez mais utilizado em produções como cosméticos e cerâmicas e com sua crescente demanda se transformou em necessidade de produções cada vez em maior volume e menor tempo de resposta a prazos. Empresas do ramo tiveram cada vez mais que investir em processos rentáveis e inovadores para suportar a demanda e não perder um mercado que se encontra em crescimento.

Com esse estudo há a possibilidade da otimização de um equipamento importante no processo de várias empresas, buscando não só a solução do problema que gera perda de produto final como também uma maneira de gerar maior lucro, com maior rendimento e menor gasto.

Sendo assim, buscou-se encontrar e entender o principal problema, sendo este a compactação do produto final, e solucioná-lo da maneira mais eficaz e menos custosa possível.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Secagem é um termo relativo e se refere à redução do teor de líquido de um valor inicial até um valor final aceitável (OLIVEIRA, 2018).

Segundo Ramos (2016) existem diversos tipos de secadores para a secagem de materiais distintos; a determinação de qual secador deve ser utilizado no processo de secagem, depende da natureza do produto a ser desidratado, da forma que se deseja dar ao produto final, da quantidade a ser seca e do fator econômico (apud OI¹, 2011).

Um dos métodos modernos de secagem convectiva de líquidos é a atomização, sendo adotada por vários segmentos industriais, dentre os quais se destacam os da indústria química, alimentícia, farmacêutica e cerâmica; a água, ou qualquer outro líquido, presente no material é evaporada e as gotas atomizadas são transformadas em grânulos ou aglomerados secos, que são coletados parte dentro da própria câmara de

secagem, no caso dos grânulos maiores e mais pesados, e parte em ciclones ou em equipamentos de limpeza de gases, no caso de grânulos mais leves (FAVALLI, 2002).

Segundo Esteves (2006) a atomização, ou sistema de pulverização é responsável por transformar a suspensão em pequenas gotas; este sistema deve ser utilizado de acordo com o tamanho da partícula desejado e as propriedades requeridas no produto seco: granulometria, textura, solubilidade, densidade e molhabilidade; ele também é responsável por determinar a distribuição do tamanho de partícula, área de troca térmica, trajetória e velocidade da partícula (apud FIFKOVA e MUJUNDAR, 1987).

O processo de secagem passa por várias etapas desde a preparação da mistura até a coleta do produto final. Segundo Oi², Tambourgi e Júnior (2011) a Figura 1 ilustra uma instalação de secador por atomização, onde o ar alimentado pelo topo da câmara de secagem é previamente filtrado e aquecido, e escoam em corrente paralela com as gotículas a serem secas, que se formam num bocal pulverizador ou num atomizador de disco rotativo; à medida que as gotículas escoam, a umidade se transfere para o gás quente, e as gotículas se tornam sólidas; os grânulos maiores escoam para o fundo da câmara e os grânulos menores são transportados pelo gás devido à força de arrasto até os ciclones que promovem a separação sólido-gás; os grânulos muito finos passam pelo soprador e alimentam um separador de lavagem a úmido; a suspensão que se obtém neste depurador de gás pode retornar à carga inicial e ser recirculada (apud FOUST et al., 1982).

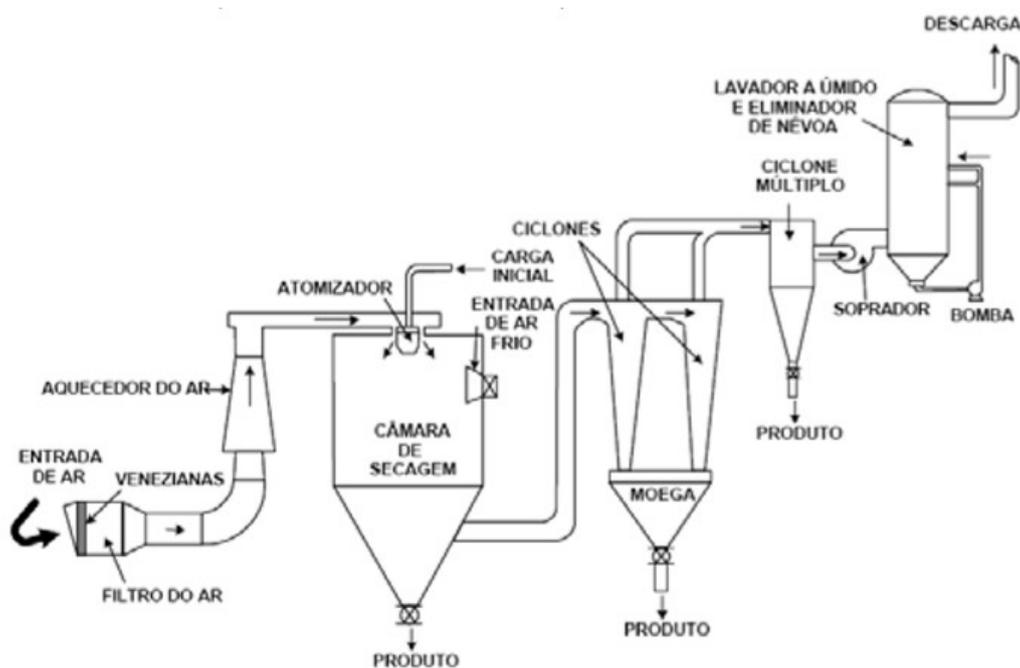


Figura 1– Instalação de secador Spray-Dryer padrão.
Fonte: FOUST et al., 1982.

Entre os vários fatores que envolvem e alteram o processo de secagem está o tempo de residência do material (já em forma de gotículas) dentro da câmara de secagem.

A distribuição do tempo de residência é uma representação estatística do tempo de residência do produto no equipamento, que descreve estatisticamente o tempo/temperatura em que o produto é submetido durante a secagem; em relação aos efeitos de tecnologia, o tempo de residência médio do produto na câmara de secagem é ligeiramente modificado pelas mudanças na configuração do spray dryer (PERRONE et al., 2013). As perspectivas futuras estão no nível de combinação desta abordagem com a temperatura do produto e conteúdo de água no spray dryer; estes atributos podem ser acessados por meio de modelagem ou de medição, e possibilita descrever o histórico de tempo/temperatura do produto, incluindo os efeitos dos tratamentos anteriores à secagem pela medida da distribuição do tempo de residência durante a concentração por evaporação, e estabelecer novas correlações com as mudanças nos constituintes e com as propriedades do pó (JEANTET et al., 2008).

O tempo de secagem das gotículas é muito curto comparado a outros processos. A baixa temperatura na superfície do produto e o curto tempo de secagem permite o processamento de materiais termossensíveis por spray dryer (NATH; SATPATHY, 1998).

Para a secagem de cada gota segundo King, Kieckbusch e Greenwald (1984), materiais alimentados geralmente se comportam como se fossem líquidos puros durante o primeiro período de secagem (taxa de secagem constante); para gotas de líquido puro, no que diz respeito à taxa de transferência de calor com o calor latente consumido na evaporação temos (Eq. 1):

$$\frac{-d}{dt} \left(\frac{\pi \rho_L D_{vs}^3}{6} \right) = \frac{h \pi D_{vs}^2}{\lambda} \Delta T_m$$

Tendo como referência que: D_{vs} é o diâmetro médio da gota; ρ é o raio do disco atomizador; h é o coeficiente de película e T é a temperatura do meio.

A retirada de umidade dos materiais consome uma elevada quantidade de energia devido ao elevado calor latente de vaporização da água; no caso da secagem por spray, a energia consumida para evaporação do solvente é um fator relevante visto que é necessário aquecer o ar a temperaturas acima de 100 °C para se obter um pó com características físicas desejadas; além disso, as temperaturas de saída do ar e do produto

não podem ser baixas para não permitir a aglomeração das partículas na etapa de separação (OLIVEIRA, 2018).

Como grande obstáculo para a produção contínua e em massa do Silicato de Sódio (Na_2SiO_3) tem-se que, ao embalar o produto assim como sai do spray dryer o mesmo tende a se compactar devido a higroscopia do mesmo. Como a própria embalagem deve ser um isolante em relação ao ambiente para que o material proveniente da sílica não absorva umidade, acaba fazendo com que a própria umidade ainda presente no Silicato de Sódio (Na_2SiO_3) evapore devido a sua temperatura e em contato com a embalagem condense gerando a água necessária para fazer com que o material fique compactado.

Segundo Littringer et al., (2013), devido à evaporação da água, há um aumento contínuo na concentração superficial na superfície das gotículas, e uma vez que a concentração seja alta o suficiente, um invólucro se formará; após a formação do invólucro ainda há água presa dentro da partícula de secagem; devido à alta temperatura, a água presa dentro das partículas solidificadas continua a vaporizar e uma pressão se forma dentro da partícula; o aumento da pressão leva à inflação de partículas; partículas menores têm suficiente estabilidade mecânica para permanecer esféricas, enquanto o invólucro das partículas maiores entrará em colapso após a inflação, dando às partículas uma superfície corrugada, como demonstra a Figura 2.

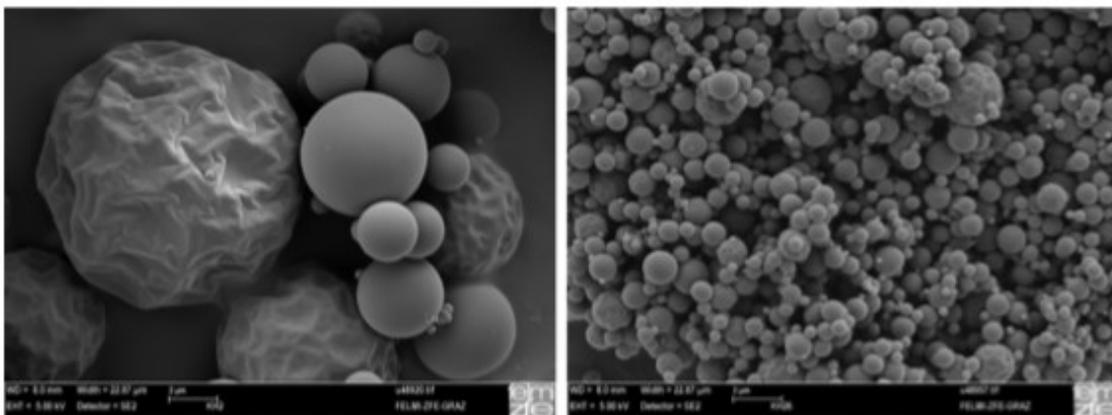


Figura 2 - Micrografias SEM dos produtos com os tamanhos de partículas maiores (amostra 2, esquerda) e menor (amostra 26, direita).

Fonte: Littringer et al (2013).

Como descrito por Littringer et al., (2013), embora a forma geral da partícula fosse esférica, as partículas de tamanho maior exibiam uma superfície corrugada, enquanto as partículas menores não apresentavam corrugação; identificando assim que a morfologia apresentada por partículas maiores facilita a ligação entre duas ou mais, contando ainda

com a presença da água proveniente da própria vaporização, devido a sua forma corrugada.

Durante o estudo realizado não foi possível encontrar nenhum estudo destinado a secagem por atomização do Silicato de Sódio (Na_2SiO_3) no qual se designava a obter não só a solução, como também uma explicativa do problema causador da compactação após embalo do produto. Sendo assim, foi buscado compreender os fatores que causam tal inconveniência, que pode ter graves resultados na produção em larga escala, para esclarecer o fundamento da solução apresentada pela UnaProsil Indústria e Comércio de Produtos Químicos LTDA, assim como propor a apresentação de possíveis melhorias no processo.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Para os estudos realizados foram utilizados os dados de equipamentos e processos da empresa UnaProsil Indústria e Comércio de Produtos Químicos LTDA, onde é realizada a secagem de Silicato de Sódio (Na_2SiO_3) via atomização por Spray-dryer. O equipamento de secagem, peças e acessórios são de origem chinesa, fornecido pela empresa Changzhou Suncheer Dryng no modelo LPG 400, vide Figura 3 abaixo.



Figura 3 - Spray-dryer modelo LPG 400 da marca SunCheer na empresa UnaProsil.

Fonte: Do autor.

3.1. Solução de Silicato de Sódio (Na_2SiO_3)

O Silicato de Sódio (Na_2SiO_3) é formado pela reação (mistura) de Hidróxido de Sódio (NaOH) e areia (de onde se obtém a sílica da reação), onde passa pela sedimentação via decantação e filtragem por prensagem. O filtro prensa tem por finalidade a clarificação do líquido pensando já nas características do produto final.

Sendo assim é tida a seguinte reação estequiométrica:



Para sua formação é então desenvolvido o seguinte processo (Figura 4):

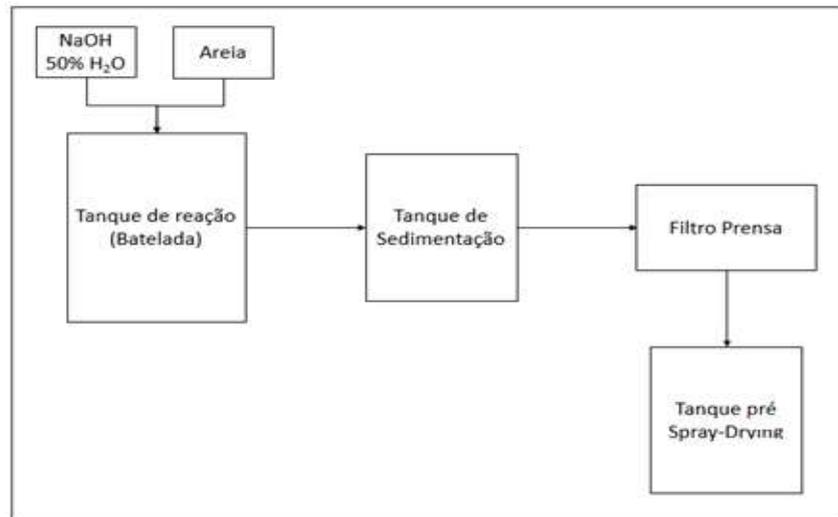


Figura 4 - Fluxograma do processo para obtenção da mistura Silicato de Sódio + Água na empresa UnaProsil.

Fonte: Do autor.

3.2. Ar de secagem

A operação de secagem se dá desde a preparação da mistura que origina o Silicato de Sódio (Na_2SiO_3) até a retirada do produto final, no qual o mesmo passa por diversas partes do sistema. No processo podemos retirar um Silicato de Sódio (Na_2SiO_3) mais grosseiro e um mais refinado no qual sua aplicação ainda é a mesma, apenas há a separação para atender a individualidade de cada cliente.

O ar sendo um fator fundamental na operação também passa por algumas circunstâncias onde é preparado e encaminhado para a câmara de secagem, sendo responsável pela brusca mudança de estado do Silicato de Sódio (Na_2SiO_3). De uma maneira geral pode-se demonstrar o processo como na Figura 5:

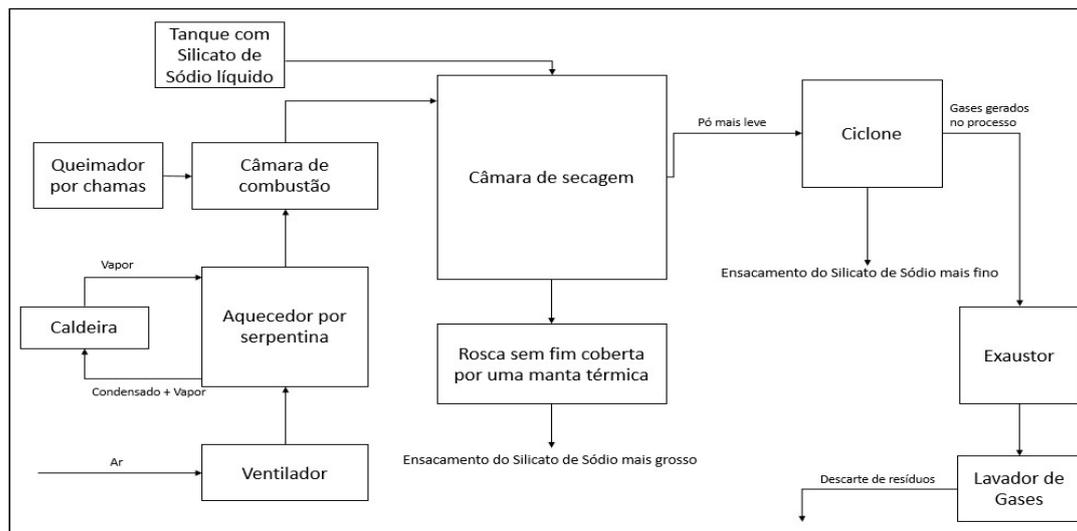


Figura 5 - Fluxograma do processo de secagem do Spray-dryer na empresa UnaProsil.

Fonte: Do autor.

3.3. Monitoramento e controle

Com etapa metodológica do processo já desenvolvida para a secagem do Silicato de Sódio (Na_2SiO_3), tem-se que o conjunto de equipamentos operam de maneira padrão nas seguintes condições (Tabela 1):

Tabela 1 - Condições do conjunto de secagem.

Soprador	40Hz
Exaustor	60Hz
Atomizador	60Hz
Bomba de Alimentação	23Hz
Pressão da câmara	- 0,4 KPa
Temperatura de entrada do ar	210 °C
Temperatura de saída do ar	109,2 °C

Fonte: Do autor.

Para realizar o controle dos parâmetros durante o processo, assim como a possibilidade de ligar e/ou desligar pontualmente cada uma das etapas no funcionamento do conjunto para a secagem, utiliza-se um painel, geralmente *touch screen*, no qual são carregadas e inseridas todas as ações e configurações julgadas necessárias. Com o painel de monitoramento e controle também é possível obter um demonstrativo do processo, vide Figura 6:



Figura 6 - Painel de funcionamento do Spray-Dryer da empresa UnaProsil.

Fonte: Do autor.

3.4. Resfriamento do pó seco (Na_2SiO_3)

Mesmo com todos os parâmetros controlados e os métodos desenvolvidos buscando a melhor o rendimento, economia e principalmente a qualidade do produto final, ainda é necessário a adição de alguns outros sistemas que buscam complementar e melhorar o processo. Estes sistemas individuais necessitam de controle e metodologia específicos e independem das condições de operação do Spray-dryer.

Na necessidade de controlar a temperatura pré-ensacamento do produto era necessário um sistema no qual fosse possível o resfriamento do Silicato de Sódio (Na_2SiO_3), sem que suas características físico-químicas fossem alteradas. Com isso utilizou-se para tal processo o resfriamento via rosca sem fim (Figuras 7 e 8), no qual o produto já finalizado é transportado de uma extremidade a outra da rosca sem fim enquanto perde calor se tornando apto ao ensacamento.



Figura 7 - Ligação entre Spray-Dryer e rosca sem fim na empresa UnaProsil.

Fonte: Do autor.



Figura 8 - Sistema de perda de calor via rosca sem fim na empresa UnaProsil.

Fonte: Do autor.

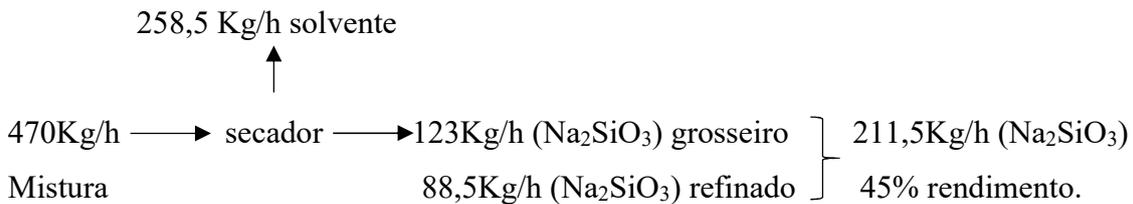
Com os dados e informações obtidos foi possível analisar e entender a causa dos problemas encontrados na planta de Silicato de Sódio (Na_2SiO_3) da empresa UnaProsil Indústria e Comércio de Produtos Químicos LTDA e assim desenvolver o estudo

referente ao problema apresentado e a solução utilizada, de modo a demonstrar tecnicamente tais situações.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para iniciar as verificações foi necessário obter os dados referente à mistura que origina o Silicato de Sódio (Na_2SiO_3) e assim em uma amostra de 16,39g da mistura, temos que o Na_2O corresponde a 11,05% (1,81g) e SiO_2 corresponde a 25,71% (4,21g). Com um teor de relação molar $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ igual a 2,33, temos que o teor de sólidos totais corresponde a 36,76% da mistura restando 63,24% de H_2O .

Em um balanço de massa simplificado utilizando a alimentação atual do processo em 470Kg/h temos que, com uma taxa de evaporação correspondente a 258,5Kg/h consegue-se retirar 123Kg/h de Silicato de Sódio (Na_2SiO_3) grosseiro e 88,5Kg/h de Silicato de Sódio (Na_2SiO_3) refinado. Tendo em consideração esses resultados tem-se que o rendimento do pó final é de 45%.



Como a secagem não se dá 100% (visto que assim o produto seria Silicato de Sódio anidro) tem-se que:

$470\text{Kg/h alimentado} \times 63,24\% \text{ H}_2\text{O}$ (valor inicial da mistura) = 297,228Kg/h de H_2O .

Para uma secagem 100% eficiente (gerando o Silicato de Sódio anidro) este valor de 297,228Kg/h de H_2O deveria ser totalmente evaporado da câmara de secagem. No entanto em valores reais tem-se que são retirados 258,5Kg/h de H_2O contabilizando 55% do solvente em relação a mistura inicial.

Sendo assim, 8,24% do solvente continua no pó seco ao final do processo:

$8,24\% \text{ H}_2\text{O} \times 470\text{Kg/h alimentado} = 38,728 \text{ Kg/h H}_2\text{O}$ no produto final

Como obtêm-se no produto final 211Kg/h (Na_2SiO_3), apenas 172,272Kg/h é (Na_2SiO_3) puro. Com isso conclui-se que 18,35% do produto final ainda é solvente.

Como um melhor rendimento não depende apenas da alteração de um parâmetro tem-se que, por testes, um aumento na alimentação gera aglomeração devido a má secagem por ausência de ar quente suficiente. O aumento da temperatura de entrada de ar altera as propriedades físico-químicas do produto gerando degradação devido ao excesso de temperatura, mesmo que aumentada a vazão do exaustor além, da degradação pelo calor ocasiona-se a perda do material leve que tende a sair pela alta vazão da exaustão. Sendo assim um conjunto de ações podem ser tomadas para gerar uma melhoria no desempenho do processo. Como o ar de secagem é pré-aquecido antes de entrar no queimador, tendo uma serpentina proveniente da caldeira instalada na planta (trabalhando a uma pressão de 6 Kgf/cm²) é possível ainda reutilizar a mesma linha de vapor que aquece o ar, fazendo com que o mesmo passe pelo tanque de mistura anterior ao spray-dryer e também via serpentina. Com uma pequena alteração de fluxo do vapor é possível que a mistura eleve sua temperatura brandamente, evitando que se inicie a evaporação em massa da água o que causaria uma concentração dos sólidos na mistura, fazendo com que a quantidade de ar e conseqüentemente o gás utilizado para a queima do mesmo seja menor, caso sejam mantidas as vazões pode-se aumentar a entrada de mistura resultando em maior rendimento. No entanto, como se trata de uma planta já instalada em operação e com escala industrial, não é possível realizar tal teste por se tratar de uma mudança física que necessita de aprovação e investimento da entidade.

Tendo em vista que a economia no processo e rendimento podem estar ligados entre si, qualquer alteração realizada pensando somente em um destes parâmetros pode ocasionar alta impactação no outro. Além de melhorias no processo, é necessário realizar algumas correções para prevenir de problemas tanto com os insumos quanto o produto final. Nem sempre a solução está no processo sendo necessário melhorá-lo via inovação tecnológica buscando a melhoria contínua.

A constante compactação do Silicato de Sódio (Na₂SiO₃) pós spray-dryer resulta-se na perda de material e desgaste com clientes gerando prejuízos a curto, médio e longo prazo. De acordo com Littringer et al., (2013) devido à evaporação da água, há um aumento contínuo na concentração superficial na superfície das gotículas, e uma vez que a concentração seja alta o suficiente, um invólucro se formará. Após a formação do invólucro ainda há água presa dentro da partícula de secagem; devido à alta temperatura, a água presa dentro das partículas solidificadas continua a vaporizar e uma pressão se forma dentro da partícula. Tal processo provou-se pela compactação após o material ser

embalado (Figura 9), visto que sua temperatura de saída do spray-dryer é de 50,9°C, fazendo com que a temperatura, ainda elevada continue a vaporizar a água presente dentro da partícula já seca. No entanto a embalagem para o Silicato de Sódio (Na_2SiO_3) deve ter alto grau de impermeabilidade para que o mesmo não absorva umidade do ambiente, essa mesma embalagem faz com que a água vaporizada do interior se condense na parede da embalagem. Como o Silicato de Sódio (Na_2SiO_3) é um material higroscópico no qual tem por definição a alta capacidade de absorção de umidade, a própria água que foi vaporizada e condensada é absorvida pelo Silicato de Sódio (Na_2SiO_3) ocasionando a compactação do mesmo.



Figura 9 - Silicato de Sódio compactado após embalo quente.

Fonte: Do autor.

Os resultados analisados comprovam como descrito por Littringer et al. (2013), que as partículas de tamanho maior exibiam uma superfície corrugada, enquanto as partículas menores não apresentam corrugação; identificando assim que a morfologia apresentada por partículas maiores facilita a ligação entre duas ou mais, contando ainda com a presença da água proveniente da própria vaporização, devido a sua forma corrugada. Já que o Silicato de Sódio (Na_2SiO_3) fino é retirado pelo ciclone tem uma chance menor de compactar não só pela sua estrutura morfológica, mas também devido a temperatura já estar inferior à quando é causada compactação. Granulometria dos sólidos.



Figura 10 – Silicato de Sódio fino.
Fonte: Do autor.



Figura 11 - Silicato de Sódio grosso.
Fonte: do autor

Com o problema eminente, buscou-se a adaptação de um método para que esse vapor de água não fique preso dentro da embalagem e com isso era necessário que o mesmo não estivesse mais preso dentro da partícula a uma temperatura que permita e facilite sua vaporização. A solução tornou-se a utilização de um trocador de calor em sistema fechado para que não houvesse nenhum tipo de contaminação ou absorção da umidade do meio. Utilizou-se então um trocador de calor do tipo rosca sem fim no qual ainda se adaptou uma camisa térmica de fluxo contracorrente com a finalidade de trocar calor com o produto final e permitir que o vapor proveniente da própria partícula fosse descartado em meio mais amplo que não impactasse nas propriedades físicas do pó.

O trocador de calor tipo rosca sem fim utilizado contém 5,6 metros em seu comprimento e conta com um diâmetro de 17,5cm no qual somado com a camisa térmica totaliza 24cm, vide Figura 12.



Figura 11 - Conjunto de spray-dryer com o trocador de calor tipo rosca sem fim na empresa UnaProsil.
Fonte: Do autor.

Com a utilização do trocador de calor tipo rosca sem fim obteve-se grande troca térmica como pode-se observar na Tabela 2:

Tabela 2 - Temperatura encontrada no processo antes da embalagem do produto.

Local da medição de temperatura	Temperatura encontrada
Saída inferior do Spray-dryer	50,9°C
Início do trocador de calor	43,1°C
Saída do trocador de calor	24,9°C
Dentro da embalagem	21,8°C

Fonte: Do autor.

Sendo assim, a variação de temperatura obtida desde a saída da parte inferior do secador até a coleta no trocador de calor é de 26°C como disposto na Tabela 2. O tempo de residência do material no interior do trocador de calor é de 94 segundos, com uma média aproximada de 0,28°C perdidos por segundo dentro do equipamento.

A água utilizada na camisa térmica é disponibilizada por uma torre de resfriamento (com uma vazão de 7,9 m³/h) que após sua utilização retorna para resfriamento em fluxo contínuo. A mesma apresenta grande ganho de temperatura ao final do processo da troca de calor, variando em média de 29°C no início do processo para em média 34°C no final do processo, apresentando um delta de 5°C na temperatura e 0,89°C para cada metro do trocador de calor.

Após feitas as alterações na planta e modelado os parâmetros para que, a temperatura da partícula seja reduzida antes de embalar e a água contida dentro da partícula possa vaporizar em ambiente amplo afim de evitar o contato do Silicato de Sódio com a água e assim sua compactação, obteve-se a diminuição dos casos de compactação, fazendo com que mesmo a morfologia propícia ao problema não afetasse em grande proporção e este tenha sido minimizado.

5. CONCLUSÕES

O processo de secagem via spray-dryer apresenta diversas possibilidades para modelar e adaptá-lo afim de buscar melhorias desde a formação da mistura até o produto final. Tendo em consideração a dificuldade de realizar testes devido este presente estudo se desenvolver com base em uma planta já instalada e em funcionamento, os estudos

referentes à economia no processo e a melhoria no rendimento final, mesmo que as mudanças de alguns parâmetros já tenham sido utilizadas buscando a otimização do mesmo, estes não podem ser comprovados, se desenvolvendo apenas pela experiência adquirida durante os estudos e as técnicas de operação dos membros do presente estudo.

A compactação do Silicato de Sódio (Na_2SiO_3) que causa grandes perdas em meio ao processo e ao mercado, pode-se considerar já não ser um problema não solucionável ou no mínimo amenizável. Como a empresa UnaProsil Indústria e Comércio de Produtos Químicos LTDA utilizou-se da técnica de troca de calor para evitar tal problema, coube a este estudo demonstrar tecnicamente a causa do problema e sua solução, visto que não foi encontrado nenhuma literatura que o fizesse.

Em definitivo, a higroscopia do produto final unida a vaporização da água, favorecida pela temperatura de saída do pó seco da câmara de secagem, presente no interior da partícula, são os principais causadores da compactação do produto. Com a solução já desenvolvida, cabe-se expor tecnicamente que a perda de temperatura e a livre vaporização da água, via trocador de calor, antes de realizar o embalo do produto mesmo que a morfologia das partículas maiores seja propícia a ligações entre si, minimiza drasticamente as possibilidades de compactação do Silicato de Sódio (Na_2SiO_3) em pó.

6. REFERÊNCIAS

BEZERRA, Tânia Sulamytha. **Comportamento higroscópico de pós de diferentes variedades de manga (*Mangifera indica* L.)**. 2009. 101 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pósgraduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2009.

ESTEVES, Bruno Neves. **Influência do processo de secagem por pulverização mecânica (Spray Dryer) no tamanho de partícula de densidade aparente no café solúvel**. 2006. 86 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Engenharia Química, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

FAVALLI, R. C. **Modelagem e simulação do processo de atomização na indústria de revestimento cerâmico**. 2002. 174 f. Tese (Doutorado) - Curso de Tecnologia Nuclear - Materiais, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares Autarquia Associada à Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

FIFKOVA, I.; MUJUNDAR, A. S. **Industrial spray dryer systems**. In: MUJUNDAR, A. S. Handbook of industrial dryer. New York, Marcel Dekker, 1987. p. 243-294.

JEANTET, R. et al. **Residence time distribution: a tool to improve spray-dryer control**. *Dairy Science and Technology*. Rennes, v.88, p.31–43, 2008.

LITTRINGER E. M. et al. Spray Dryer of Aqueous Salbutamol Sulfate Solutions Using the Nano Spray Dryer B-90—The Impact of Process Parameters on Particle Size. *Dryer Technology*, [s.l.], v. 31, n. 12, p.1346-1353, 10 set. 2013. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/07373937.2013.793701>.

MARTINS. M. **Açúcar invertido: propriedades e aplicações**. Revista Food Ingredients: Guia 2001 de fornecedores. Ano 2, nº10, jan/fev. 2001.p 97.

NATH, S.; SATPATHY, G. R. **A SYSTEMATIC Approach for investigation of spray dryer processes**. *Dryer Technology*, [s.l.], v. 16, no 6, p. 1173–1193, 1998.

NEVES, I.C.O. et al. **Spray dryer na indústria de laticínios**. 2014. Disponível em: <<https://www.milkpoint.com.br/artigos/industria/spray-dryer-na-industria-de-laticinios-205439n.aspx>>. Acesso em: 15 out. 2018.

OI¹, R. K. **Secagem da Biomassa de Banana Verde em Spray Dryer**. 2011. 83f. Tese (Doutorado em Engenharia Química), Faculdade de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, Campinas.

OI², R. K.; TAMBOURGI, E. B.; JÚNIOR, D. M. . Dimensionamento da câmara de secagem de um secador por atomização para produção de farinha de banana verde. *Ciência & Engenharia (science & Engineering Journal)*, Campinas, v. 20, n. 2, p.31-35, dez. 2011.

OLIVEIRA, K. S. . **Modelagem e simulação do processo de microencapsulação de lipídios por spray dryer**. 2018. 71 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Química, Escola de Engenharia da Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2018.

PERRONE, Í. T. et al. **Influência das condições de operação em spray dryer piloto sobre a umidade e a atividade de água do leite em pó integral**. *Rev. Inst. Laticínios Cândido Tostes, Juiz de Fora*, v. 68, n. 393, p.5-9, ago. 2013.

RAMOS, F. M.. **Avaliação de sistema de secagem em vacuum spray dryer**. 2016. 96 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Engenharia de Alimentos, Engenharia de Alimentos da Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2016.

ROSA E.D.; TSUKADA M.; FREITAS L.A.P. **Secagem por atomização na indústria alimentícia: fundamentos e aplicações.** Trabalho financiado pela Labmaq do Brasil Ltda. Disponível em: <<http://www.labmaqdobrasil.com.br/downloads/spray-dryers/Fundamentos%20e%20Aplicacoes%20da%20Secagem%20por%20Atomizacao%20na%20Industria%20de%20Alimentos.pdf>>. Acesso em: 15 out. 2018.

SCHUCK, P. **Understanding the factors affecting spray-dried dairy powder properties and behavior.** In: CORREDIG, M. Dairy-derived ingredients. 1 ed. Boca Raton: CRC, 2009. Cap. 2, p. 24-50.