



João Dallamuta
(Organizador)

**Estudos Transdisciplinares
nas Engenharias 2**

Atena
Editora
Ano 2019

João Dallamuta

(Organizador)

Estudos Transdisciplinares nas Engenharias 2

Atena Editora
2019

2019 by Atena Editora
Copyright © Atena Editora
Copyright do Texto © 2019 Os Autores
Copyright da Edição © 2019 Atena Editora
Editora Executiva: Profª Drª Antonella Carvalho de
Oliveira Diagramação: Karine de Lima
Edição de Arte: Lorena Prestes
Revisão: Os Autores

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores. Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Conselho Editorial

Ciências Humanas e Sociais Aplicadas

Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionale delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Profª Drª Juliane Sant’Ana Bento – Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Ciências Agrárias e Multidisciplinar

Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

Ciências Biológicas e da Saúde

Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás
Prof.^a Dr.^a Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof.^a Dr.^a Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof.^a Dr.^a Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof.^a Dr.^a Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof.^a Dr.^a Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Prof.^a Dr.^a Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Conselho Técnico Científico

Prof. Msc. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo
Prof.^a Dr.^a Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico
Prof. Msc. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof.^a Msc. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia
Prof. Msc. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista
Prof. Msc. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão
Prof.^a Msc. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal
Prof. Msc. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)	
E82	Estudos transdisciplinares nas engenharias 2 [recurso eletrônico] / Organizador João Dallamuta. – Ponta Grossa, PR: Atena Editora, 2019. – (Estudos Transdisciplinares nas Engenharias; v. 2) Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web Inclui bibliografia ISBN 978-85-7247-356-9 DOI 10.22533/at.ed.569102905 1. Engenharia – Pesquisa – Brasil. 2. Transdisciplinaridade. I. Dallamuta, João. II. Série. CDD 620
Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422	

Atena Editora

Ponta Grossa – Paraná - Brasil

www.atenaeditora.com.br

contato@atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

Caro(a) leitor(a),

Nesta obra temos um compendio de pesquisas realizadas por alunos e professores atuantes em ciências exatas, engenharia e tecnologia. São apresentados trabalhos teóricos e vários resultados práticos de diferentes formas de aplicação e abordagens de simulação, projetos e caracterização no âmbito da engenharia e aplicação de tecnologia.

Tecnologia e pesquisa de base são os pilares do desenvolvimento tecnológico e da inovação. Uma visão ampla destes temas é portanda fundamental. É esta amplitude de áreas e temas que procuramos reunir neste livro.

De abordagem objetiva, a obra se mostra de grande relevância para graduandos, alunos de pós-graduação, docentes e profissionais, apresentando temáticas e metodologias diversificadas, em situações reais.

Optamos pela divisão da obra em dois volumes, como forma de organização e praticidade a você leitor. Aos autores, agradecemos pela confiança e espírito de parceria.

Boa leitura.

João Dallamuta

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
ESTUDO SEMI PROBABILÍSTICO E SIMULAÇÕES NUMÉRICAS PARA O MÓDULO DE ELASTICIDADE DO CONCRETO APLICADO AO PROBLEMA DE FLEXÃO DE UMA VIGA	
Ana Carolina Carius Bruna Teixeira Silveira Ricardo Franciss Leonardo de Souza Corrêa João Vitor Curioni de Miranda Bruna Nogueira da Silva	
DOI 10.22533/at.ed.5691029051	
CAPÍTULO 2	14
EVOLUÇÃO DIFERENCIAL APLICADA NA ESTIMAÇÃO DE PARÂMETROS DE UM SISTEMA OSCILATÓRIO	
Iolanda Ortiz Bernardes Marcelo Favoretto Castoldi Alessandro Goedel	
DOI 10.22533/at.ed.5691029052	
CAPÍTULO 3	20
GERAÇÃO DE UM ACELEROGRAMA SÍSMICO ARTIFICIAL A PARTIR DE UMA FUNÇÃO DENSIDADE ESPECTRAL DE POTÊNCIA COMPATÍVEL COM UM ESPECTRO DE RESPOSTA DE PROJETO	
Daniela Dalla Chiesa Letícia Fleck Fadel Miguel	
DOI 10.22533/at.ed.5691029053	
CAPÍTULO 4	25
GRUPO DE ESTUDOS E INTERVENÇÕES SOCIOAMBIENTAIS ENQUANTO PRÁTICA EDUCATIVA PARA A ENGENHARIA AMBIENTAL: CICLOS QUE SE RETROALIMENTAM	
Gabriela de Souza Carvalho Julia Dedini Felício Lara Ramos Monteiro Silva Rhennan Mecca Bontempi	
DOI 10.22533/at.ed.5691029054	
CAPÍTULO 5	43
MAPEAMENTO DE LINEAMENTOS ESTRUTURAIS E ESTUDO DA POTENCIALIDADE HÍDRICA DO SISTEMA AQUÍFERO SERRA GERAL NA BACIA DO RIBEIRÃO CAMBÉ EM LONDRINA, PR	
Giselly Peterlini Maurício Moreira dos Santos Thiago Henrique da Silva	
DOI 10.22533/at.ed.5691029055	
CAPÍTULO 6	49
MODELAGEM E IMPLEMENTAÇÃO DE UM INVERSOR FONTE DE TENSÃO PARA ACIONAMENTO DE MOTORES DE INDUÇÃO	
Lucas Niquele Endrice Jakson Paulo Bonaldo	
DOI 10.22533/at.ed.5691029056	

CAPÍTULO 7	67
MODELAGEM E SIMULAÇÃO DO PROCESSO PRODUTIVO DE LEITE EM PÓ INTEGRAL: ÊNFASE NA ETAPA DE SECAGEM POR <i>SPRAY DRYING</i> Gustavo Storte Tonin Régis da Silva Pereira DOI 10.22533/at.ed.5691029057	
CAPÍTULO 8	83
NÍVEIS DE RUÍDO DE UM TRATOR AGRÍCOLA EM CONDIÇÃO ESTÁTICA Maria Rosa Alferes da Silva Letícia Rodrigues da Silva Rônega Boa Sorte Vargas Beethoven Gabriel Xavier Alves DOI 10.22533/at.ed.5691029058	
CAPÍTULO 9	88
O MÉTODO SORM DG E SUAS APLICAÇÕES NA ANÁLISE DE CONFIABILIDADE ESTRUTURAL DE PROBLEMAS DE ENGENHARIA Emmanoel Guasti Ferreira Marcílio Sousa da Rocha Freitas José Antônio da Rocha Pinto Geraldo Rossoni Sisquini DOI 10.22533/at.ed.5691029059	
CAPÍTULO 10	106
PROPOSTA DE INTERVENÇÃO PARA CRIAÇÃO DA ZONA DE SEGURANÇA HÍDRICA DO MUNICÍPIO DE CUIABÁ, MATO GROSSO Ibraim Fantin-Cruz Maria Ivoneide Vital Rodrigues Leandro Obadowiski Bruno Marcel Medinas de Campos DOI 10.22533/at.ed.56910290510	
CAPÍTULO 11	123
PROSPECÇÃO QUÍMICA DA CASCA DO FRUTO E DA SEMENTE DA <i>MAGONIA PUBENSCENS</i> A. ST.-HIL Amanda Silva Oliveira Arnaldo Ferreira Ribeiro Júnior Bruna Lane Malkut Fábio Gramani Saliba Júnior Maria Perpétua Oliveira Ramos DOI 10.22533/at.ed.56910290511	
CAPÍTULO 12	128
REÚSO DE EFLUENTE DE ESGOTO TRATADO NO CULTIVO DO PIMENTÃO AMARELO EM SOLO DO CERRADO Delvio Sandri Waltoíres Reis da Silva Júnior Cícero Célio de Figueiredo Rodrigo Moura Pereira DOI 10.22533/at.ed.56910290512	

CAPÍTULO 13	140
SISTEMA DE IRRIGAÇÃO AUTOMÁTICO	
Camila Dias de Jesus	
Márcio da Silva Vilela	
Leonardo Nazário Silva dos Santos	
Clarissa Vitória Borges dos Santos	
DOI 10.22533/at.ed.56910290513	
CAPÍTULO 14	144
SISTEMA RADICULAR DA CULTIVAR 'GOLD JEWEL' DE KALANCHOE BLOSSFELDIANA POELLN CULTIVADA EM SUBSTRATO COMERCIAL E EM DIFERENTES DOSAGENS DE IRRIGAÇÃO	
Fátima Cibele Soares	
Jumar Luís Russi	
Andressa Fernandes Leal	
Carine Brum Duran	
Francieli Ribeiro Corrêa	
Giordana Trindade de Abreu	
DOI 10.22533/at.ed.56910290514	
CAPÍTULO 15	151
UMA ABORDAGEM DE APRENDIZADO DE MÁQUINAS PARA AUXÍLIO NO PLANEJAMENTO E CONTROLE DE MANUTENÇÃO	
Jéfter Mateus de Oliveira Rezende	
Gustavo de Assis Costa	
Camila Dias de Jesus	
DOI 10.22533/at.ed.56910290515	
CAPÍTULO 16	164
UTILIZAÇÃO DA TÉCNICA DE VELOCIMETRIA POR IMAGENS DE PARTÍCULAS (PIV) PARA OBTENÇÃO DO MAPA DE DEFORMAÇÕES EM PAINÉIS DE MADEIRA DE <i>PINUS OOCARPA</i>	
Eduardo Hélio de Novais Miranda	
Rodrigo Allan Pereira	
DOI 10.22533/at.ed.56910290516	
CAPÍTULO 17	170
UTILIZAÇÃO DE AGENTE DE SECAGEM NA PRODUÇÃO DE PAPEL CARTÃO	
Crivian Pelisser	
Márcio Antônio Fiori	
Josiane Maria Muneron de Mello	
Jaqueline Scapinello	
DOI 10.22533/at.ed.56910290517	
SOBRE O ORGANIZADOR	184

MODELAGEM E SIMULAÇÃO DO PROCESSO PRODUTIVO DE LEITE EM PÓ INTEGRAL: ÊNFASE NA ETAPA DE SECAGEM POR *SPRAY DRYING*

Gustavo Storte Tonin

Instituição Federal Sul-Rio-Grandense – Campus
Pelotas

Pelotas – Rio Grande do Sul

Régis da Silva Pereira

Instituição Federal Sul-Rio-Grandense – Campus
Pelotas

Pelotas – Rio Grande do Sul

RESUMO: O leite em pó integral atualmente, no Brasil, merece destaque no mercado nacional e internacional devido a sua durabilidade e facilidade de armazenamento, além de suas características nutritivas. A fim de se obter um produto com a qualidade desejada, se faz necessário a compreensão de como e quais variáveis operacionais influenciam na produção do mesmo. Assim, este trabalho tem como objetivo a modelagem e simulação do processo produtivo de leite em pó integral durante a etapa de secagem por “spray drying” no software “EMSO”. Foram avaliados 3 cenários distintos para as variáveis mais relevantes ao processo: composição e diâmetro inicial da partícula e temperatura do ar de secagem. O fator que alterou de forma mais expressiva as características finais foi o diâmetro inicial da partícula gerada no secador, podendo reduzir o tempo de processamento em até quatro vezes. Além disso, pode permitir a obtenção do

produto com os padrões de qualidade exigidos em legislação sem necessidade de processos complementares. As demais variáveis analisadas, ou possuem pouca influência no processo, não permitindo atingir a qualidade exigida sem a necessidade de uma secagem secundária ou, ainda, levam a condições de degradação do produto.

PALAVRAS-CHAVE: (Leite em Pó Integral, Spray drying, Modelagem, Simulação).

ABSTRACT: Currently in Brazil, whole milk powder deserves some spotlight in the national and international market due to its durability and easy storage, other than its nutritious characteristics. To achieve a product with the desired quality, it is necessary to comprehend how and which operational variables affect the production. With that in mind, this work has the objective to model and simulate the production process of whole milk powder during the drying process by “spray drying” in the software “EMSO”. Three distinct scenarios were analyzed for the most relevant variables to the process: initial composition and diameter of the particle and temperature of the drying air. The factor that most distinctively influenced the final characteristics was the initial diameter of the particle generated by the dryer, able to reduce the processing time up till 4 times. Besides, it can allow to obtain the necessary quality

demanded on the product by law without needing any extra processing. The other variables analyzed didn't cause much influence on the process, by not allowing the product to achieve the desired quality without a secondary drying stage or, still, led to conditions in which the degradation of the product occurred.

KEYWORDS: (Whole Milk Powder, Spray drying, Modelling, Simulation,)

1 | INTRODUÇÃO

O leite e seus produtos derivados merecem destaque por constituir um grupo de alimentos de grande valor nutricional (MUNIZ et al., 2013). O leite é constituído basicamente por água, lactose, gordura, proteínas e sais minerais, além de ser rico em vitaminas A, B e D (INMETRO, 1998). Porém, o consumo deste grupo de alimentos lácteos é associado, principalmente, como meio para que se atinja a ingestão diária necessária de cálcio para a nutrição humana (FAO, 2013), fundamental para a formação e manutenção da estrutura óssea do organismo (MUNIZ et al., 2013).

O Brasil se destaca como produtor leiteiro mundial com uma produção nacional total de leite sob inspeção de 95.950.025 m³ nos anos de 2014 a 2017, com uma média anual de produção de 23.987.506 m³ (IBGE, 2018). Representando em média dos anos de 2014 a 2016 uma fração de 3,6% da produção mundial de leite de vaca, se situando como 4º produtor mundial em 2016 (IBGE, 2018; FAO apud EMBRAPA, 2018). Em 2017, o valor bruto estimado do agronegócio foi de R\$ 539,4 bilhões, dos quais a cadeia produtiva de leite aparece com valor estimado de 12,9% do valor total (CEPEA, 2017). Enquanto que a exportação de lácteos no ano de 2016 somou US\$ 167,9 milhões (ZOCCAL, 2017).

Além de leite fluido, o país se sobressai na produção de derivados lácteos como manteiga, doce de leite, iogurte e bebidas fermentadas, requeijão cremoso, e é reconhecido no cenário mundial principalmente na produção de queijo e leite em pó (FIEMG e FEAM, 2015).

O leite em pó apresentou valor crescente em exportação desde o ano de 2013 a 2015 atingindo um pico de US\$ 236.763,4 em 2015 e decresceu cerca de 63,8% de 2015 a 2016. (SECEX apud EMBRAPA, 2018). Esta queda nos valores de exportação são explicados devido ao cenário econômico brasileiro e devido ao principal país importador de leite em pó do Brasil ser a Venezuela, que vivenciou uma forte crise econômica e política (ZOCCAL, 2017). Porém, apesar da queda nas exportações, o mercado asiático apresentou um aumento na demanda do leite em pó integral para as indústrias de alimentos (SINDILAT, 2018).

O processo de secagem do leite apresenta vantagens do ponto de vista de processamento aumentando a vida útil do produto, facilitando o transporte e comercialização do mesmo pelo fato do pó obtido ser leve, compacto e manter suas qualidades inalteradas por longos períodos. Além dos custos com armazenagem serem

reduzidos (CELESTINO, 2010). O processo de secagem, o qual pode ser realizado em mais de uma etapa com secagem secundária adicional, usualmente é realizado por atomização (“*spray drying*”) pois esta operação possui a vantagem de minimizar o dano térmico ao produto (TETRPAK, 1995; PEARCE, 2002; SCHUCK, 2009).

Entre os fatores essenciais para obtenção de um leite em pó que atenda os padrões de fabricação, destacam-se: (1) a composição do concentrado que antecede a etapa de secagem; (2) a umidade da partícula durante a secagem primária; (3) a temperatura que a gota atomizada atinge enquanto está no processamento.

As características do produto final serão afetadas diretamente por estes fatores como, por exemplo, a solubilidade que será prejudicada caso o processo utilize temperaturas elevadas que favoreçam a formação de insolúveis (desnaturação das proteínas do leite) ou o pó possua ao término um alto teor de umidade, o que pode provocar agregação das partículas (PISECKY, 2012; ROGERS et al., 2012). Já algumas propriedades organolépticas como cheiro, cor e gosto são consequências da composição do concentrado e do produto final, assim como da temperatura de secagem.

Desta forma, este trabalho tem o objetivo de avaliar a influência destes fatores durante a etapa de secagem por *spray drying* do processo de produção de leite em pó integral, utilizando a modelagem matemática e a simulação computacional.

2 | REVISÃO TEÓRICA DO MODELO MATEMÁTICO DE SECAGEM

2.1 PERFIL DE UMIDADE

Uma abordagem foi inicialmente proposta por CHEN e XIE (1997) com o objetivo de criar um modelo geral que pudesse ser utilizado para diferentes processos de secagem por “*spray drying*” de produtos alimentícios e dessa forma estes fossem classificados e seus comportamentos modelados. Este vem sendo utilizado com boa aproximação de processos reais (LIN e CHEN, 2006; CHEN, 2008; PATEL et al., 2010; ROGERS et al., 2012; CHAVES, 2016). Conforme CHEN e LIN (2005), quando a partícula gerada pelo atomizador está sendo processada, a taxa de secagem pode ser expressa de acordo com a equação 2.11:

$$m_s \frac{dX}{dt} = -h_m A (\rho_{v,s} - \rho_{v,b}) \quad (2.1-1)$$

Sendo “ m_s ” a massa de sólidos em uma partícula/gota (kg), “ h_m ” o coeficiente de transferência de massa externo a partícula ($m \cdot s^{-1}$), “ $\rho_{v,b}$ ” a concentração de vapor de água (umidade) no ar de secagem ($kg \cdot m^{-3}$), “ $\rho_{v,s}$ ” a concentração de vapor na superfície da partícula ($kg \cdot m^{-3}$), “ A ” a área superficial da partícula (m^2), “ X ” a umidade média da partícula calculada em base seca ou seja, teor de umidade em relação ao

conteúdo sólido ($kg.kg^{-1}$) e “” o tempo de secagem (s).

De acordo com CHEN e XIE (1997), a concentração de vapor de água na superfície da partícula ($\rho_{v,s}$) é uma relação com a concentração de saturação na superfície da mesma ($\rho_{v,sat}$) através da equação 2.12:

$$\rho_{v,s} = \exp\left(-\frac{\Delta E_v}{RT_d}\right) \rho_{v,sat}(T_d) \quad (2.1-2)$$

Sendo “ ΔE_v ” a energia de ativação aparente de evaporação para água ($J.mol^{-1}$), “ R ” a constante universal dos gases ($8,314 J.mol^{-1}.K^{-1}$), “ T_d ” a temperatura na superfície da partícula (K) que é considerada constante em toda a mesma e “ $\rho_{v,sat}(T_d)$ ” a concentração de saturação da água na superfície da partícula em função da temperatura da mesma ($kg.m^{-3}$).

De acordo com LIN e CHEN (2006), a correlação entre “ $\rho_{v,sat}$ ” ($kg.m^{-3}$) e “ T_d ” (K) pode ser expressa através da equação 2.13:

$$\begin{aligned} \rho_{v,sat}(T_d) = & 4,844.10^{-9}(T_d - 273)^4 - 1,4807.10^{-7}(T_d - 273)^3 \\ & + 2,6572.10^{-5}(T_d - 273)^2 - 4,8613.10^{-5}(T_d - 273) \\ & + 8,3420.10^{-3} \end{aligned} \quad (2.1-3)$$

A equação 2.14 foi levantada através da correlação experimental obtida entre “ ΔE_v ” e “ X ” para leite integral (CHEN e LIN, 2005):

$$\frac{\Delta E_v}{\Delta E_{v,e}} = 0.957 \exp[-1.291(X - X_e)^{0.934}] \quad (2.1-4)$$

Sendo “ $\Delta E_{v,e}$ ” a energia de ativação aparente de equilíbrio ($J.mol^{-1}$) que pode ser calculada através da equação 2.15 (CHEN e LIN, 2005), utilizando as condições do ar de secagem, como a temperatura (T em K), umidade relativa (a_w em $kg.kg^{-1}$) e umidade de saturação (a_{sat} em $kg.kg^{-1}$), sendo ambas no ar de secagem e “ X_e ” a umidade de equilíbrio calculada através de isotermas de dessorção do leite utilizando o modelo GAB (Guggen-heim-Anderson-de Boer) através da equação 2.16 (LIN et al., 2005):

$$\Delta E_{v,e} = -RT \ln\left(\frac{a_w}{a_{sat}}\right) \quad (2.1-5)$$

$$X_e = \frac{Ckm_0a_w}{(1 - ka_w)(1 - ka_w + Cka_w)} \quad (2.1-6)$$

Sendo “ m_0 ” é a umidade absoluta da monocamada (com valor de $0,04277 kg.kg^{-1}$ para leite em pó integral) e “ a_w ” a umidade relativa no ar de secagem. “ C ” e “ k ” são funções da temperatura do ar da câmara de secagem, que podem ser determinadas

através das equações 2.17 e 2.18 (LIN et al., 2005):

$$C = C_0 \exp\left(\frac{\Delta H_1}{RT}\right) \quad (2.1-7)$$

$$k = k_0 \exp\left(\frac{\Delta H_2}{RT}\right) \quad (2.1-8)$$

Conforme LIN et al. (2005), para leite em pó integral foram determinados estatisticamente $C_0 = 0,1925$ e $\Delta H_1 = 10,485 \text{ J/mol}$, assim como $k_0 = 2,960$ e $\Delta H_2 = -3215 \text{ J/mol}$.

2.2 PERFIL DE TEMPERATURA

No modelo que representa o balanço energético, a fim de se calcular a temperatura da partícula (T_d), considera-se que esta seja constante em todo seu volume (CHEN e LIN, 2005). Também considera-se neste modelo que a relação entre a alimentação do ar de secagem e a entrada de matéria-prima seja cerca de 1000:1 ($\text{kg.s}^{-1}/\text{kg.s}^{-1}$), garantindo, desta forma, que a diminuição de temperatura e aumento de umidade no ar devido a secagem das partículas se torne desprezível. Assim, a temperatura " T_d " pode ser determinada através da equação 2.21 (ROGERS et al., 2011):

$$mC_{p,d} \frac{dT_d}{dt} = hA(T - T_d) + \Delta H_l m_s \frac{dX}{dt} \quad (2.2-1)$$

Sendo " m " a massa da partícula (kg), " $C_{p,d}$ " a capacidade calorífica específica da gota ($\text{J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$), " T " a temperatura do ar de secagem (K), " h " o coeficiente de transferência de calor ($\text{W.m}^{-2}\text{K}^{-1}$), " A " a área superficial da partícula (m^2) e " ΔH_l " o calor latente de vaporização da água (J.kg^{-1}).

Conforme LIN e CHEN (2002), a fim de se determinar os coeficientes de transferência de massa (h_m) e de transferência de calor (h), foram obtidas correlações matemáticas demonstradas pelas equações 2.22 e 2.23:

$$Nu = \frac{hD}{k} = 2,04 + 0,62Re^{1/2}Pr^{1/3} \quad (2.2-2)$$

$$Sh = \frac{h_m D}{\zeta_{v,a}} = 1,63 + 0,54Re^{1/2}Sc^{1/3} \quad (2.2-3)$$

Sendo " $\zeta_{v,a}$ " a difusividade do vapor de água no ar ($\text{m}^2.\text{s}^{-1}$), " D " o diâmetro da gota (m), " k " a condutividade térmica do ar ($\text{W.m}^{-1}\text{K}^{-1}$), " h " coeficiente de transferência de calor, " Nu " o número de Nusselt, " Sh " o número de Sherwood, " Re " o número de Reynolds, " Pr " o número de Prandtl e " Sc " o número de Schmidt.

De acordo com ÇENGEL (2012), o cálculo dos números adimensionais de

Schmidt (Sc), Reynolds (Re) e Prandtl (Pr) podem ser feitos através das equações 2.24, 2.25 e 2.26 respectivamente, utilizando as condições do ar de secagem e o diâmetro da partícula:

$$Sc = \frac{\nu}{\zeta_{v,a}} \quad (2.2-4)$$

$$Re = \frac{VD}{\nu} \quad (2.2-5)$$

$$Pr = \frac{C_{p,ar}\mu}{k} \quad (2.2-6)$$

Sendo então " ν " a viscosidade cinemática do ar de secagem ($m^2.s^{-1}$), " V " a velocidade de escoamento do ar de secagem ($m.s^{-1}$), " D " o diâmetro da partícula (m), " $C_{p,ar}$ " a capacidade calorífica do ar de secagem ($J.kg^{-1}.K^{-1}$) e " μ " a viscosidade dinâmica do ar ($Pa.s$).

2.3 DIÂMETRO DA PARTÍCULA

Pode-se observar que as equações 2.11, 2.21, 2.22, 2.23 e 2.26 dependem do diâmetro da partícula (" D ") que varia conforme a redução da umidade, esta relação é proposta por ROGERS et al. (2011) e é representada pela equação 2.31.

$$\frac{D}{D_0} = b + \frac{(1-b)X}{X_0} \quad (2.3-1)$$

Sendo " D " o diâmetro da partícula esférica no instante atual (m), " D_0 " o diâmetro de partícula inicial na saída do atomizador (m), " X_0 " a umidade inicial da partícula calculada em base seca ($kg.kg^{-1}$), " X " a umidade instantânea da partícula em base seca ($kg.kg^{-1}$) e " b " um valor constante determinado experimentalmente.

De acordo com LIN e CHEN (2009), os valores da constante " b ", que aparecem na equação 2.31, foram obtidos previamente por LIN e CHEN (2004) para concentração de sólidos inicial de 20% e 30% $kg.kg^{-1}$. Com a obtenção do valor da constante " b " para uma concentração de sólidos inicial de 40% $kg.kg^{-1}$, pôde-se obter uma correlação em função da umidade inicial da partícula (X_0) para leite em pó integral, representada pela equação 2.32, utilizando-se um ar de secagem com umidade em base seca de aproximadamente $0,0001 kg.kg_{ar\ seco}^{-1}$:

$$b = 0,0083X_0^2 - 0,1036X_0 + 1,00 \quad (2.3-2)$$

2.4 ÍNDICE DE SOLUBILIDADE

Outro fator relevante no controle da qualidade do leite em pó é o índice de solubilidade do leite em pó (ou índice de insolubilidade) determinado pelo método

analítico padronizado citado na portaria nº 146 de 1996 do MAPA (Federação Internacional de Laticínios 129A: 1988) no qual, resumidamente, uma quantidade específica do pó é reconstituída em água e o produto reconstituído é centrifugado. O volume de sedimento obtido após a centrifugação é denominado índice de solubilidade, o qual é medido em mililitros (ml).

De acordo com STRAATSMA et al. (1999), a taxa de formação de resíduos insolúveis, e portanto o valor do índice de solubilidade pode ser estimado através da equação 2.41:

$$r_{ISI} = \frac{d(ISi)}{dt} = k_{0ISI} \times \exp\left(-\frac{E_{aISI}}{R} \times \left(\frac{1}{T_d} - \frac{1}{T_{0ISI}}\right)\right) \quad (2.4-1)$$

Sendo “ r_{ISI} ” a taxa de formação de material insolúvel ($ml.s^{-1}$), “ISI” o índice de solubilidade (ml), “ t ” o tempo transcorrido na reação de formação (s), conforme STRAATSMA et al. (1999), as constantes cinéticas “ k_{0ISI} ”, “ E_{aISI} ” e “ T_{0ISI} ” foram determinadas de forma experimental sendo respectivamente “ $k_{0ISI} = 0,0054 \text{ ml/s}$ ”, “ $E_{aISI} = 2,7 \times 10^5 \text{ J/mol}$ ” e “ $T_{0ISI} = 348 \text{ K}$ ”, “ R ” a constante dos gases ideais e, por fim, “ T_d ” a temperatura instantânea da partícula (K).

Ainda conforme STRAATSMA et al. (1999), a equação 2.41 considera que a formação de material insolúvel só ocorre durante a faixa de umidade de 10 a 30% kg/kg ($kg_{\text{água}}/kg_{\text{total}}$), região em que a sensibilidade ao dano térmico é agravada e que, neste intervalo, a taxa de formação é independente do conteúdo úmido. Por fim, considera que a “reação” de formação de insolúveis acaba quando o valor do índice de solubilidade atinge $10ml$. Conforme ROGERS et al. (2012), o valor de $10ml$ marca o fim da presença de proteínas termosensíveis, sendo que todas essas foram desnaturadas e perderam sua solubilidade em água.

3 | SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

A simulação computacional do processo de “*spray drying*” foi realizada baseada em torno de quatro equações matemáticas resolvidas simultaneamente para descrever o processo: (1) equação 2.11 a qual modela o perfil de umidade de uma partícula no processo ao longo do tempo de secagem; (2) equação 2.21 que calcula o perfil da temperatura de uma gota também ao longo do período de secagem; (3) equação 2.31 modelando o diâmetro da partícula em função da umidade em cada instante; (4) equação 2.41 que prevê o desenvolvimento do índice de solubilidade no produto final em função da temperatura que a partícula atinge ao longo do tempo de secagem.

Buscou-se obter entendimento de como a qualidade do produto final é influenciada pelas principais condições iniciais que alteram os padrões estabelecidos em legislação. Para tal, estas foram avaliadas em 3 cenários (valor mínimo, médio e máximo). Analisaram-se temperatura do ar de secagem, o diâmetro inicial de atomização e a

umidade inicial da partícula de leite. Os valores mínimos, médios e máximos estão resumidos na tabela 3.1.

As faixas utilizadas industrialmente em patentes de produção de leite em pó integral para a temperatura de secagem no processo de “*spray drying*” são amplas, sendo citados valores de 60°C a 93°C (WISCONSIN ALUMNI RESEARCH FOUNDATION, 1959; AFICO A.G., 1962; PETMILK COMPANY, 1963; NESTLÉ S.A, 2003; NESTEC S.A, 2004).

Já a fração mássica de extrato seco inicial na partícula, a qual possui correlação direta com a umidade inicial da gota, é tida na faixa de 40 a 55 %kg/kg (TETRAPAK, 1995; PEARCE, 2002; FIEMG e FEAM, 2015; TORRES, 2016).

O diâmetro inicial da gota gerada no processo de “*spray drying*” varia conforme o tipo de atomizador utilizado no equipamento de secagem porém, industrialmente, a faixa de utilização usual varia de 10 a 1000 (OAKLEY, D. E., 1997 apud ROGERS et al., 2011; NANDIYANTO e OKUYAMA, 2011).

Com relação ao tempo de secagem, este pode variar em média de 20 a 60 segundos (SCHUCK, 2002; PISECKY, 2012).

	Mínimo	Médio	Máximo
Temperatura de secagem (°C)	60	76,5	93
Diâmetro inicial (µm)	10	505	1000
Fração de sólidos (%)	40	47,5	55

Tabela 3.1 Condições iniciais das variáveis utilizadas na simulação da etapa de “*spray drying*”.

Fonte: Autor.

Para a análise de cada variável nos três cenários possíveis as demais foram fixadas nos valores médios. Os quais foram determinados através da média aritmética entre os extremos encontrados na bibliografia consultada.

O ambiente de programação utilizado para a modelagem e simulação foi o “EMSO” (Environment for Modeling, Simulation and Optimization). Devido ao fato de que o mesmo traz a possibilidade da criação/edição de modelos matemáticos, permite a simulação em estado transiente e é um software gratuito, específico para simulação de processos químicos.

4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 EFEITOS DO DIÂMETRO INICIAL DA PARTÍCULA

Apesar da literatura sugerir que o diâmetro inicial possa partir de 10µm, conforme a tabela 3.1, para as simulações foi utilizado o valor mínimo de 190µm, uma vez que o método numérico divergiu para valores menores do que este. Nota-se

pela figura 4.1.1 que os efeitos do diâmetro inicial na umidade da partícula ao longo do processo são expressivos. Em 10 segundos de secagem com o diâmetro inicial mínimo atinge-se uma umidade absoluta de $0,1447 \text{ kg/kg}$, valor suficiente para que o pó siga para a etapa de secagem secundária ($0,12 - 0,16 \text{ kg/kg}$) (PISECKY, 2012). Ao contraste de que os demais diâmetros simulados, ao final do tempo de secagem médio de 40 segundos, ainda não atingem a faixa satisfatória para dar seguimento a etapa secundária, atingindo valores de $0,1911 \text{ kg/kg}$ para o diâmetro médio e $0,3581 \text{ kg/kg}$ para o máximo.

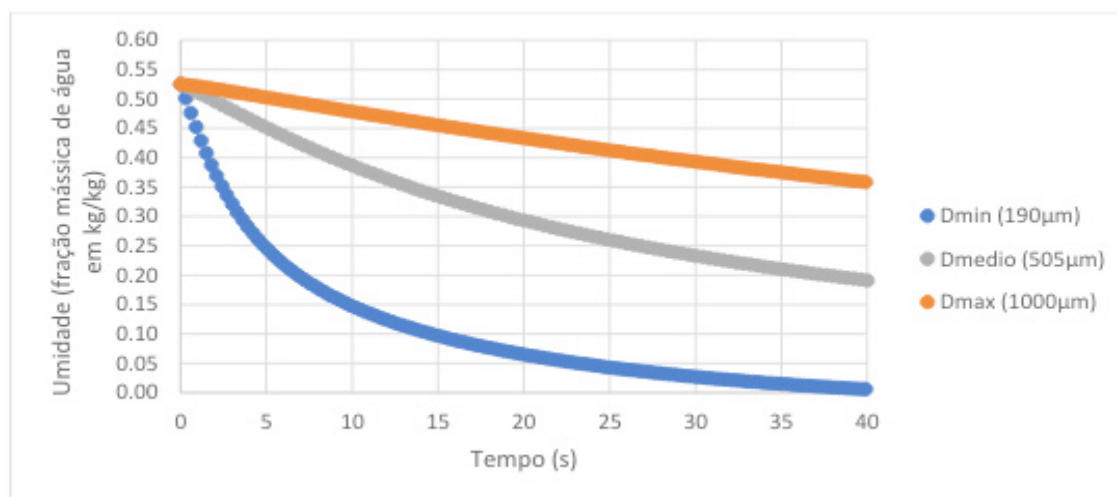


Figura 4.1.1: Perfil de umidade absoluta da partícula (em kg/kg) ao longo do tempo de secagem, em função do diâmetro inicial da mesma.

Fonte: Autor.

Conforme LIN e CHEN (2004, 2009) e ROGERS et al., (2011), com um diâmetro de partícula menor, a área superficial disponível para a realização da troca térmica e mássica com o ar de secagem é aumentada. Ocorre, conseqüentemente, um incremento no valor dos coeficientes de transferência de massa e de calor, resultando em uma taxa de secagem maior (equação 3.11).

O perfil de temperatura da partícula ao longo desta operação, observado na figura 4.1.2, confirma que a taxa de transferência de calor aumentou conforme a diminuição do diâmetro inicial. A gota atinge, respectivamente, uma temperatura de $72 \text{ }^\circ\text{C}$, $58 \text{ }^\circ\text{C}$ e $52 \text{ }^\circ\text{C}$ em 5 segundos para os valores de mínimo, médio e máximo.

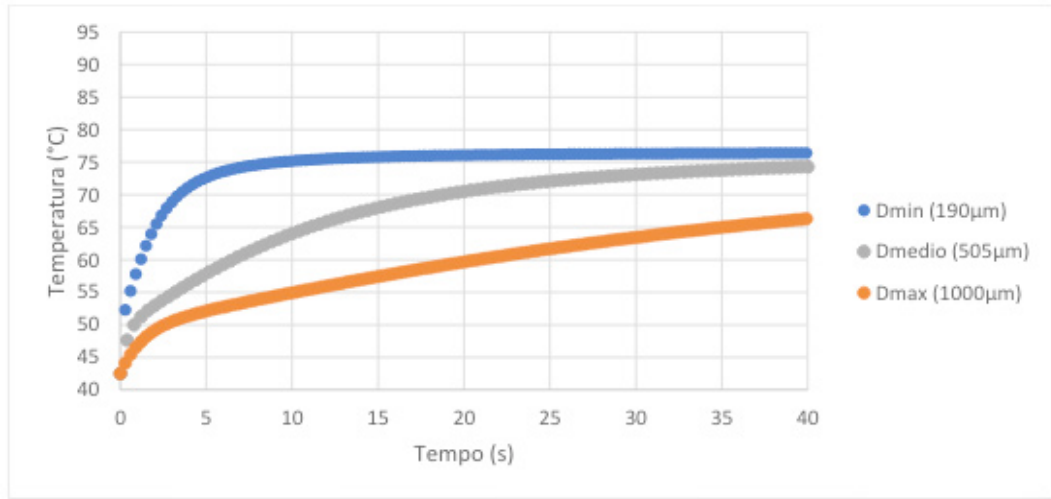


Figura 4.1.2: Perfil de temperatura da partícula ao longo do tempo de secagem, em função do diâmetro inicial da mesma.

Fonte: Autor.

Quanto ao índice de solubilidade no produto, representado na figura 4.1.3, observou-se que a sua taxa de formação foi suficientemente baixa a ponto de não produzir material insolúvel de forma significativa. Em nenhum dos casos de variação do diâmetro inicial o valor excedeu ao valor permitido de na portaria nº146 de 1996 do MAPA, vigente para leite em pó integral (BRASIL, 1996).

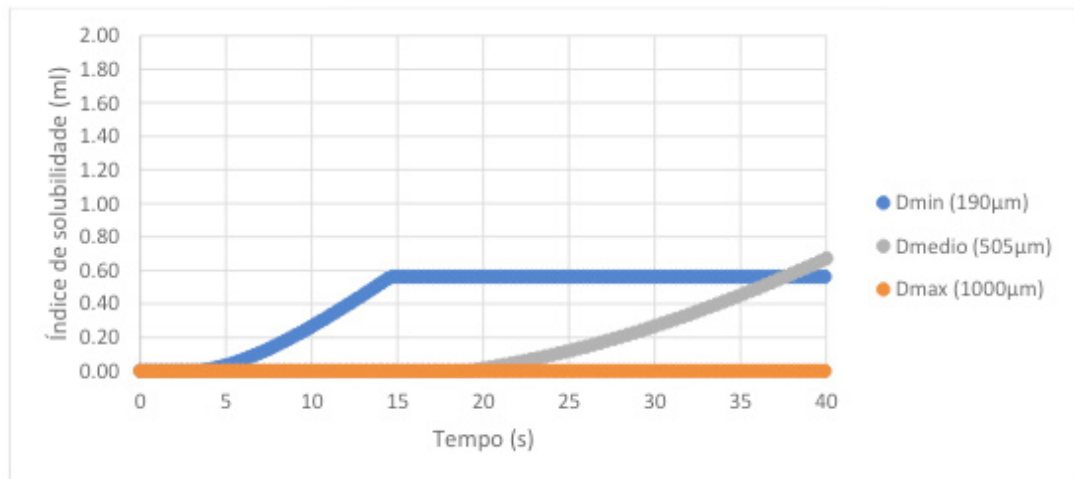


Figura 4.1.3: Perfil do índice de solubilidade ao longo do tempo de secagem, em função do diâmetro da mesma.

Fonte: Autor.

Ressalta-se que a operação realizada com o diâmetro mínimo de $190\mu m$ e o tempo médio de 40 segundos, não necessitaria de uma etapa de secagem secundária uma vez que o produto já atende os padrões exigidos pela legislação: máximo de $0,035\text{ kg/kg}$ para a umidade absoluta e até 1 ml de índice de solubilidade. Inclusive, com um tempo de secagem de $27,3\text{ s}$, já se enquadra dentro do exigido, o que reduziria ainda o tempo de secagem médio de 40 s em, aproximadamente, 1,46 vezes.

4.2 EFEITOS DA TEMPERATURA DO AR DE SECAGEM

Os efeitos relacionados a variação da temperatura do ar de secagem produziram diferenças expressivas no perfil de temperatura da partícula ao longo do processo. Nota-se pela figura 4.2.1 com o ar de secagem a 93°C que a gota, nesta condição, chega a atingir 91°C ao fim da operação. Este valor alto pode danificar as proteínas presentes no leite que são sensíveis a temperaturas altas, fato que se evidencia através da figura 4.2.2 contendo o perfil do índice de solubilidade, onde o valor máximo de 10ml foi atingido em apenas 23s de secagem.

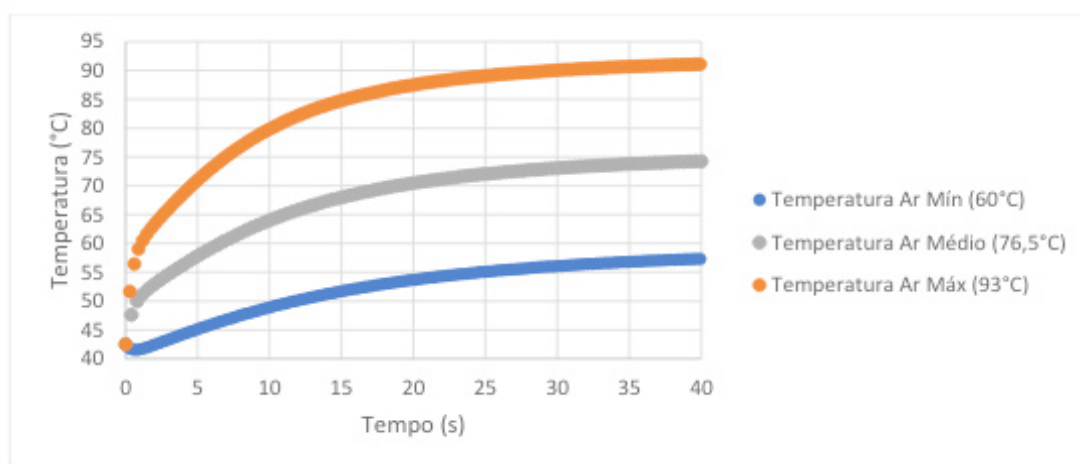


Figura 4.2.1: Perfil de temperatura da partícula ao longo do tempo de processo, em função da temperatura do ar de secagem.

Fonte: Autor.

Nos três casos estudados a temperatura da partícula ao final do processamento tende a atingir a temperatura do ar de secagem. Fato que se explica devido a consideração de que o fluxo mássico de entrada deste é 1000 vezes maior do que o do produto, o que torna a temperatura do ar constante ao longo de toda a câmara. Sendo assim, a gota tende a entrar em equilíbrio termodinâmico com o ar de secagem.

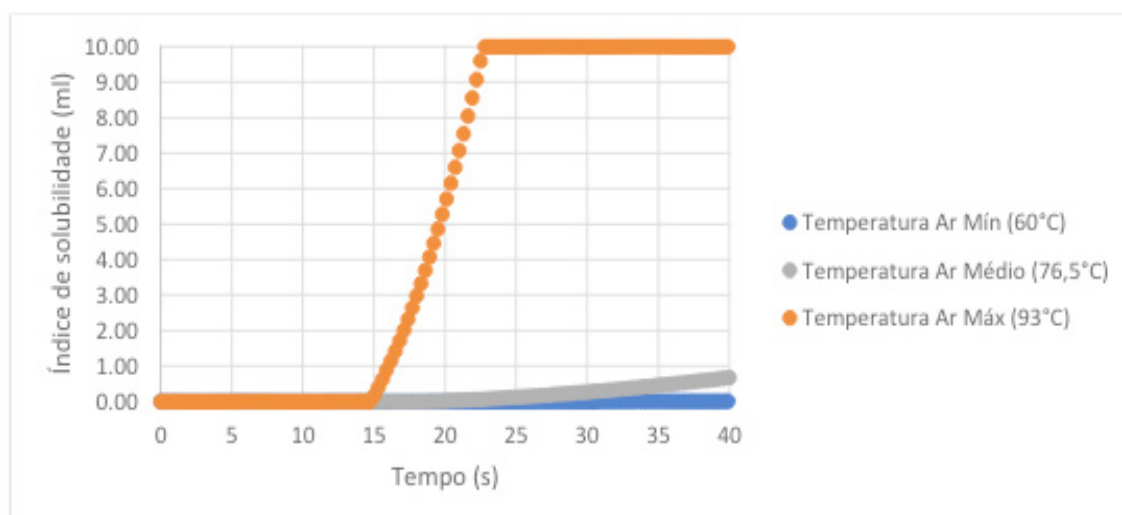


Figura 4.2.2: Perfil do índice de solubilidade ao longo do tempo de processo, em função da temperatura do ar de secagem.

Fonte: Autor.

Conforme ZHU et al. (2011), a agregação do particulado está diretamente ligada ao fenômeno de transição vítrea da partícula, que vem a ocorrer quando a mesma está a temperaturas maiores do que a sua temperatura de transição vítrea (T_g). Encontra-se, então, em um estado viscoelástico com alto risco de aglomeração que pode impactar negativamente a reconstituição do leite em pó, com a formação de agregados de difícil dissolução. Tomando como comparação, para leite desnatado este valor de T_g é de cerca de 95°C , desta forma o produto obtido na operação com temperatura do ar de secagem máxima (93°C) estaria muito próximo da região de empedramento.

Com relação aos parâmetros exigidos pela portaria nº 146 de 1996 do MAPA de que o leite em pó integral possua umidade final máxima de $0,035 \text{ kg/kg}$ e valor máximo de índice de solubilidade de 1 ml , nenhuma das condições de operação neste caso foram satisfatórias, como nota-se pelas figuras 4.2.2 e 4.2.3. Nas condições de temperatura média e mínima o índice manteve-se abaixo do permitido porém, a umidade final atingida foi maior do que a desejada para se dar continuidade a um processo de secagem secundária ($0,12$ a $0,16 \text{ kg/kg}$), chegando a $0,1911 \text{ kg/kg}$ para a condição de $76,5^\circ\text{C}$ e $0,2351 \text{ kg/kg}$ para 60°C .

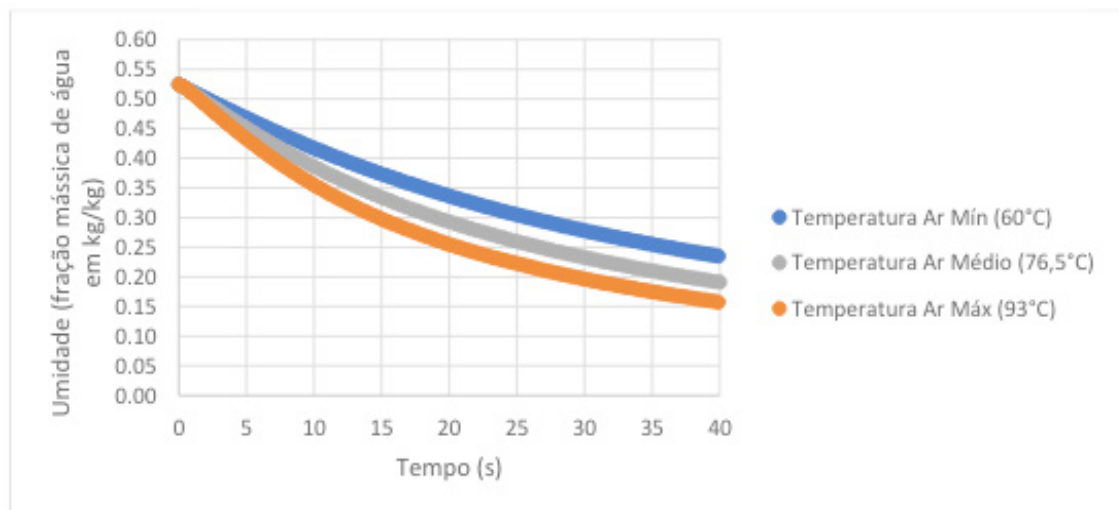


Figura 4.2.3: Perfil de umidade absoluta da partícula (em kg/kg) longo do tempo de processo, em função da temperatura do ar de secagem.

Fonte: Autor.

4.3 EFEITOS DA COMPOSIÇÃO INICIAL DA PARTÍCULA

O efeito da composição da partícula, analisado através da variação da fração de sólidos iniciais presentes, influenciou diretamente na redução de diâmetro. Nota-se pela figura 4.3.1 que a gota com maior fração inicial de sólidos ($55\% \text{ kg/kg}$) teve uma redução do seu diâmetro com relação ao inicial de 5,7% enquanto que, a partícula que

possuía mais água presente e, portanto, fração de sólidos mínima ($40\%kg/kg$) reduziu em 11,6% o seu diâmetro.

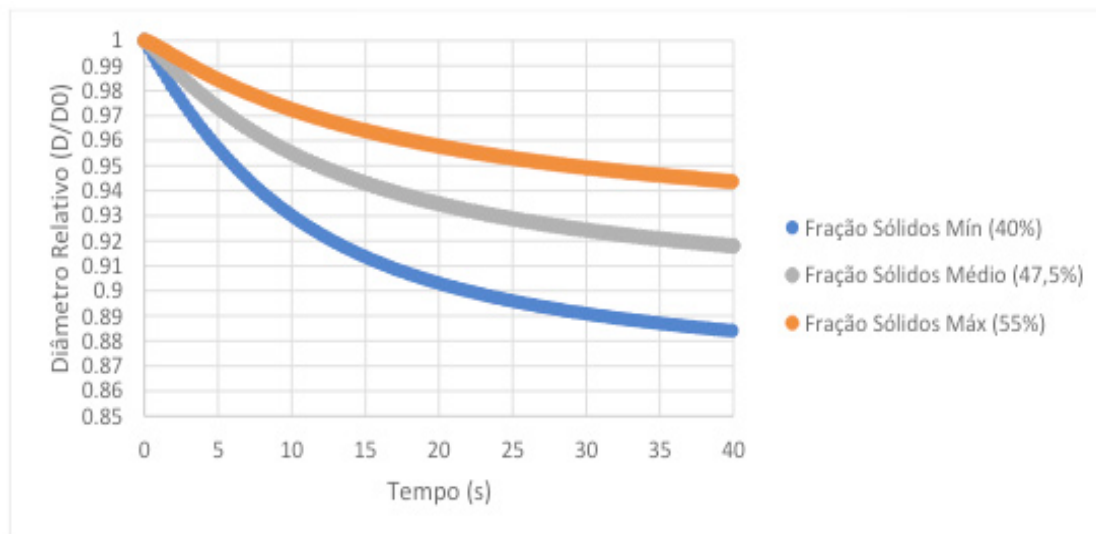


Figura 4.3.1: Perfil do diâmetro relativo ao diâmetro inicial da partícula ao longo do tempo de processo, em função da fração de sólidos iniciais.

Fonte: Autor.

A composição inicial da partícula não tem influência expressiva na umidade final da partícula, como indica a figura 4.3.2. A partir de 25 segundos de secagem nota-se que a diferença na umidade absoluta para todas as condições é desprezível (respectivamente, $0,2625\text{ kg/kg}$, $0,2587\text{ kg/kg}$, $0,2488\text{ kg/kg}$ para frações de sólidos mínima, média e máxima) porém, a evaporação de água neste mesmo tempo para todos os casos é distinta: para $40\%kg/kg$ de sólidos iniciais remove-se 56,25% de água; para $47,5\%kg/kg$ de sólidos iniciais remove-se 56,06% de água; para 55% de sólidos iniciais remove-se 44,7% de água.

O padrão exigido em legislação para umidade (umidade absoluta final máxima de $0,035\text{ kg/kg}$, de acordo com a portaria nº146 de 1996 do MAPA) não foi atingido em nenhum dos casos para as variações na fração de sólidos inicial. Portanto, não seriam recomendados em um âmbito industrial. Uma etapa de secagem secundária também não se mostraria viável devido ao valor de umidade atingido ao final da operação não ser suficiente para continuidade do processo ($0,12\text{ kg/kg}$ a $0,16\text{ kg/kg}$). Quanto ao índice de solubilidade, todas as condições foram satisfatórias, estando abaixo de 1ml.

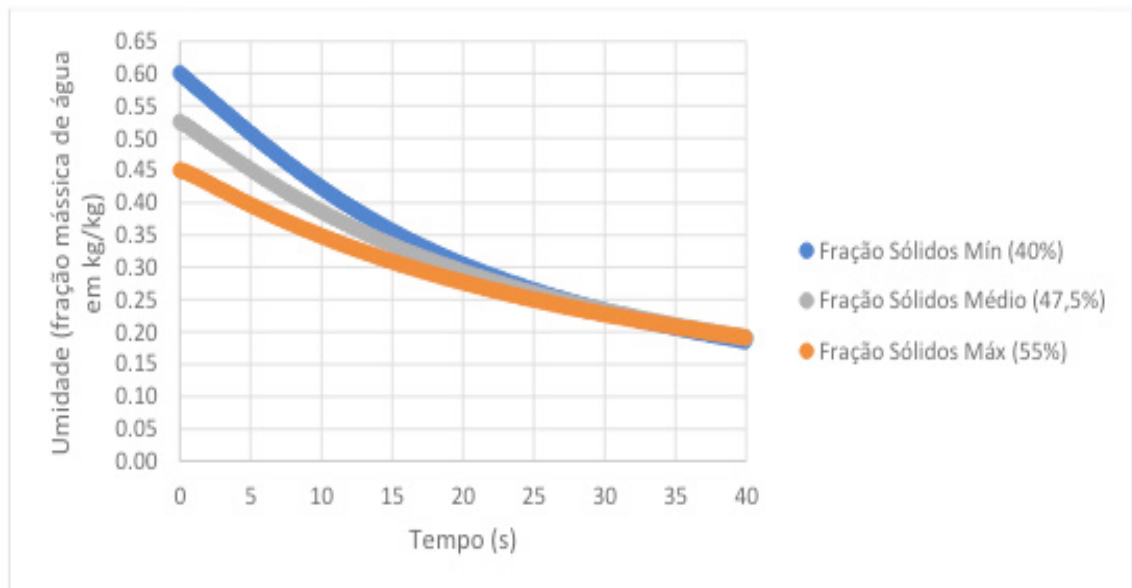


Figura 4.3.2: Perfil de umidade absoluta da partícula (em kg/kg) longo do tempo de processo, em função da fração de sólidos iniciais.

Fonte: Autor.

5 | CONCLUSÕES

Dentre os parâmetros analisados na etapa de secagem primária por “*spray drying*”, o diâmetro inicial da partícula mostrou uma influência expressiva na dinâmica de secagem. A operação realizada com diâmetro mínimo pode atingir a umidade aceitável para se dar continuidade ao processamento (com uma secagem secundária) em um tempo até quatro vezes menor. Também torna possível a obtenção do leite em pó dentro dos padrões exigidos na legislação.

Já as condições analisadas para a temperatura do ar de secagem não levaram ao atendimento dos padrões de qualidade, podendo causar até mesmo a degradação do produto. A composição inicial da gota, não mostrou influência expressiva na operação, sendo que em nenhuma destas situações simuladas as características finais desejadas do produto foram atingidas, nem mesmo para dar continuidade ao processo.

REFERÊNCIAS

AFICO A.G. (Lausanne, Suíça). Valentin Wenner; Erno Hirtler. **Whole Milk Powder**. US n. 3065076, 20 Novembro 1962.

BRASIL. Portaria MAPA nº 146 de 7 de março de 1996. **Regulamento Técnico para Identidade e Qualidade Dos Produtos Lácteos**, Brasília, DF, mar 1996.

CELESTINO, S. M. C. **Princípios de Secagem de Alimentos**. 1. ed. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2010.

ÇENGEL, Y. A.; GHAJAR, A. J. **Transferência de calor e massa: uma abordagem prática**. 4. ed. São Paulo: Mcgraw-Hill, 2012.

CEPEA. PIB de Cadeias Agropecuárias. **Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada**, 2017. Disponível em: <www.cepea.esalq.usp.br>. Acesso em: Março 2018.

CHAVES, D. H. S. **Modelagem, simulação e controle de um secador spray**. 2016. 82 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2016.

CHEN, X. D. The Basics of a Reaction Engineering Approach to Modeling Air-Drying of Small Droplets or Thin-Layer Materials. **Drying Technology: An International Journal**, v. 26, n. 6, p. 627-639, 2008.

CHEN, X. D.; LIN, S. X. Q. Air Drying of Milk Droplet under Constant and Time-Dependent Conditions. **AIChE**, Auckland, v. 51, n. 6, p. 1790-1799, 2005.

CHEN, X. D.; XIE, G. Z. Fingerprints of the drying behavior of particulate or thin layer food materials established using a reaction engineering model. **Food and Bioproducts Processing**, v. 75, n. 4, p. 213-222, 1997.

EMBRAPA. **Indicadores: Leite e Derivados**. Juiz de Fora: Embrapa – Gado de Leite, 2018.

FAO. **Milk and Dairy Products in human nutrition**. Roma: FAO, 2013.

FIEMG; FEAM. **Guia Técnico Ambiental da Indústria de Laticínios**. 1. ed. Montes Claros: FIEMG/FEAM/SILEMG, 2015.

IBGE. Pesquisa Trimestral do Leite. **SIDRA - IBGE**, 2018. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/home/leite/brasil>>. Acesso em: Março 2018.

INMETRO. Leite em Pó Integral. **INMETRO**, 1998. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/consumidor/produtos/leitepo.asp>>. Acesso em: 22 Março 2018.

LIN, S. X. Q.; CHEN, X. D. Improving the Glass-Filament Method for Accurate Measurement of Drying Kinetics of Liquid Droplets. **Chemical Engineering Research and Design**, Auckland, v. 80, n. 4, p. 401-410, 2002.

LIN, S. X. Q.; CHEN, X. D. Changes in milk droplet diameter during drying under constant drying conditions investigated using the glass-filament method. **Food and Bioproducts Processing**, v. 82, n. 3, p. 213-218, 2004.

LIN, S. X. Q.; CHEN, X. D. A Model for Drying of an Aqueous Lactose Droplet Using the Reaction Engineering Approach. **Drying Technology: An International Journal**, Auckland, v. 24, n. 11, p. 1329-1334, 2006.

LIN, S. X. Q.; CHEN, X. D. Engineering Data of Diameter Change during Air Drying of Milk Droplets with 40%wt Initial Solids Content. **Drying Technology: An International Journal**, Melbourne, v. 27, n. 10, p. 1028-1032, 2009.

LIN, X. Q.; CHEN, X. D.; PEARCE, D. L. Desorption isotherm of milk powders at elevated temperatures and over a wide range of relative humidity. **Journal of Food Engineering**, v. 68, n. 2, p. 257-264, Maio 2005.

MUNIZ, L. C.; MADRUGA, S. W.; ARAUJO, C. L. Consumo de leite e derivados entre adultos e idosos no Sul do Brasil: um estudo de base populacional. **Ciência saúde coletiva**, v. 18, n. 12, p. 3515-3522, 2013.

NANDIYANTO, A. B. D.; OKUYAMA, K. Progress in developing spray-drying methods for the production of controlled morphology particles: From the nanometer to submicrometer size ranges. **Advanced Powder Technology**, v. 22, n. 1, p. 1-19, 2011.

- NESTEC S.A. (Vevey, Suíça). Stefan Bodenstab. **Process for the preparation of milk powder**. US n. 6780450B2, 24 Agosto 2004.
- NESTLÉ S.A. (Vevey, Suíça). Rafael Berrocal. **Process for the preparation of concentrated milks and milk powders**. WO n. 03/043429A1, 30 Maio 2003.
- PATEL, K. et al. One-dimensional simulation of co-current, dairy spray drying systems - pros and cons. **Dairy Science & Technology**, v. 90, n. 3, p. 181-210, 2010.
- PEARCE, D. K. N. New Zealand Dairy Research Institute. **Milk Powder**, 2002. Disponível em: <<https://nzic.org.nz/app/uploads/2017/10/3C.pdf>>. Acesso em Maio de 2018.
- PETMILK COMPANY (San Luis, Missouri). Adrian Z. Hodson; Carl B. Miller. **Process for Making Milk Powder**. US n. 3080235, 5 Março 1963.
- PISECKY, I. J. **Handbook of Powder Manufacture**. 2. ed. Copenhagen: GEA Process Engineering A/S, 2012.
- ROGERS, S. et al. Particle shrinkage and morphology of milk powder made with a monodisperse spray dryer. **Biochemical Engineering Journal**, v. 62, p. 92-100, 2011.
- ROGERS, S. et al. A monodisperse spray dryer for milk powder: Modelling the formation of insoluble material. **Chemical Engineering Science**, v. 71, p. 75-84, 2012.
- SCHUCK, P. Spray drying of dairy products: state of the art. **Lait**, v. 82, n. 4, p. 375-382, 2002.
- SCHUCK, P. Understanding the factors affecting spray-dried dairy powder properties and behavior. In: CORREDIG, M. **Dairy-Derived Ingredients**. 1. ed. Cambridge: Woodhead Publishing, 2009. p. 24-50.
- SINDILAT. Newsletter: Entressafra puxa alta do preço do leite no RS. **SINDILAT**, 2018. Disponível em: <www.sindilat.com.br>. Acesso em: Março 2018.
- STRAATSMA, J. et al. Spray drying of food products: 2. Prediction of insolubility index. **Journal of Food Engineering**, Ede, v. 42, n. 2, p. 73-77, 1999.
- TETRAPAK. **Dairy Processing Handbook**. Lund: Tetra Pak Processing Systems, 1995.
- TORRES, J. K. F. **Caracterização e Secagem em Spray Dyer de leite em pó integral com lactose hidrolisada**. 2016. 48 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia do Leite e Derivados) – Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2016.
- WISCONSIN ALUMNI RESEARCH FOUNDATION (Madison, Wisconsin) William C. Winder; Elwood W. Kielsmeier. **Process of Drying Milk**. US n. 2911301, 3 Novembro 1959.
- ZHU, P. et al. Prediction of dry mass glass transition temperature and the spray drying behaviour of a concentrate using a desorption method. **Journal of Food Engineering**, Rennes, v. 105, n. 3, p. 460-467, 2011.
- ZOCCAL, R. Mercado de lácteos no Brasil: Produção, importação e exportação. **Balde Branco**, 2017. Disponível em: <www.baldebranco.com.br>. Acesso em: Março 2018.

SOBRE O ORGANIZADOR

João Dallamuta: Professor assistente da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Graduação em Engenharia de Telecomunicações pela UFPR. MBA em Gestão pela FAE Business School, Mestre pela UEL. Trabalha com Gestão da Inovação, Empreendedorismo e Inteligência de Mercado.

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-7247-356-9

