



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA

ANDRÊSSA MARIA MEDEIROS THEÓPHILO GALVÃO

SECAGEM EM LEITO FLUIDIZADO DE *SNACKS DE MAÇÃ*
INCORPORADOS COM PROBIÓTICO

FORTALEZA

2020

ANDRÊSSA MARIA MEDEIROS THEÓPHILO GALVÃO

SECAGEM EM LEITO FLUIDIZADO DE *SNACKS DE MAÇÃ* INCORPORADOS
COM PROBIÓTICO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química da Universidade Federal do Ceará, como requisito final à obtenção do título de Mestre em Engenharia Química. Área de concentração: Processos químicos e bioquímicos.

Orientador: Prof. Dr. Fabiano André Narciso Fernandes

Coorientador: Prof^a. Dra. Sueli Rodrigues.

FORTALEZA

2020

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária

G171s Galvão, Andrêssa Maria Medeiros Theóphilo.
Secagem em leito fluidizado de snacks de maçã incorporados com probiótico / Andrêssa Maria Medeiros Theóphilo Galvão. – 2020.
103 f. : il. color.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Programa de Pós- Graduação em Engenharia Química, Fortaleza, 2020.
Orientação: Prof. Dr. Fabiano André Narciso Fernandes.
Coorientação: Prof. Dr. Sueli Rodrigues.

1. Leito Fluidizado. 2. Ultrassom. 3. Probiótico. 4. Snacks de Maçã. I. Título.

CDD 660

ANDRÊSSA MARIA MEDEIROS THEÓPHILO GALVÃO

SECAGEM EM LEITO FLUIDIZADO DE *SNACKS DE MAÇÃ* INCORPORADOS
COM PROBIÓTICO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química da Universidade Federal do Ceará, como requisito final à obtenção do título de Mestre em Engenharia Química. Área de concentração: Processos químicos e bioquímicos.

Aprovada em: 20/02/2020.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Fabiano André Narciso Fernandes (Orientador)

Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Edy Sousa de Brito

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA Agroindústria Tropical)

Prof. Dr. Ítalo Waldimiro Lima de França

Universidade Federal do Ceará (UFC)

A Deus.

Aos meus pais, Francisco José e Adília
de Fátima.

A minha avó, Maria Adelayde.

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador professor Dr. Fabiano André Narciso Fernandes pelo aprendizado, oportunidade, dedicação e atenção. Muito obrigada pela excelente orientação, confiança, paciência e exemplo de profissionalismo.

A minha coorientadora professora Dra. Sueli Rodrigues pela oportunidade, orientação, atenção e dedicação. Obrigada por aceitar que eu realizasse as atividades no laboratório que coordena, pelos ensinamentos e apoio depositados durante o desenvolvimento do trabalho.

Aos professores participantes da banca examinadora Dr. Edy Sousa de Brito por aceitar participar das bancas de qualificação e defesa, Dr. José Maria Correia da Costa por aceitar participar da banca de qualificação, e Dr. Ítalo Waldimiro Lima de França por aceitar participar da banca de defesa. Obrigada pelo tempo e pelas valiosas colaborações e sugestões.

Aos meus pais e meus avós por toda dedicação, educação, sempre me apoiar e motivar a alcançar meus sonhos, e mesmo meu avô não estando mais conosco sei que estaria feliz neste momento.

Ao meu namorado pelo apoio, paciência e companheirismo nessa jornada.

Ao meu amigo Carlos Girão por estar sempre na luta comigo e me apoiando em todos os momentos desafiadores que enfrentamos nessa jornada.

Aos integrantes do Núcleo de Análise e Desenvolvimento de Processo (NADP), em especial a Dayanne Lara por sempre me apoiar e me ajudar ao longo dessa etapa.

Aos meus amigos e colegas do Laboratório de Biotecnologia (Labiotec), em especial a Rhonyele Maciel e Dayanne Meneses pela amizade, pelas merendas na copa e pelos momentos de descontração.

A todos que de alguma forma contribuíram para a realização de mais uma etapa em minha vida.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

“Não deixe que a saudade sufoque, que a rotina acomode, que o medo impeça de tentar. Desconfie do destino e acredite em você. Gaste mais horas realizando que sonhando, fazendo que planejando, vivendo que esperando, porque, embora quem quase morre esteja vivo, quem quase vive já morreu.”

Luís Fernando Veríssimo

RESUMO

Os *snacks* de maçã incorporados com probióticos são uma alternativa para as pessoas que não consomem produtos lácteos, pois não são derivados do leite, além de dispensar refrigeração em seu armazenamento e ser um alimento prático para consumo. A tecnologia de secagem utilizada para formulação desse produto neste trabalho é a realizada em leiteo fluidizado, o qual apresenta maior transferência de calor decorrente do contato entre o ar de secagem e os *snacks*. Objetivando aprimorar esse processo de secagem foi utilizado ultrassom como um pré-tratamento, pois suas propriedades mecânicas e cavitacionais auxiliam na transferência de água na parte interna e na superfície das frutas reduzindo o consumo de energia com a redução do tempo de secagem em temperaturas mais baixas (30 °C), preservando a qualidade dos produtos secos. Outra técnica utilizada na preservação desses produtos é a aplicação de um revestimento probiótico (esporos de *Bacillus coagulans*), que prolonga a vida útil desse alimento e o torna funcional através dos benefícios à saúde decorrentes do consumo desse probiótico. Nesse produto, foram realizadas as análises de atividade de água (a_w), umidade (U), difusividade de água, ganho de água e perda de sólidos no banho ultrassônico, viabilidade do probiótico após secagem, enzimas polifenoloxidase (PPO) e peroxidase (POD), fenólicos totais, capacidade antioxidante com DPPH e vitamina E. Os resultados de difusividade da água foram maiores nos tratamentos a 50 °C sendo o escolhido na otimização do processamento de secagem deste trabalho, além de apresentarem valores de a_w e U de 0,4 e 9%, respectivamente. A viabilidade do probiótico nos *snacks* após secagem ficou acima da taxa mínima para um alimento probiótico (8,0 log UFC/mL). As taxas de PPO e POD sofreram redução após a secagem, porém foram mantidos 71,56% de PPO e 72,37% de POD nas amostras, ambas em relação à maçã fresca. As quantidades relativas de fenólicos totais no período de até 35 dias de armazenamento em temperatura ambiente se mantiveram elevadas até $90,58 \pm 0,28\%$ em relação ao controle. Isso pode estar relacionado com o efeito protetor do revestimento probiótico sobre esses compostos fenólicos combinado com redução da a_w das maçãs desidratadas. Essa mesma justificativa é dada para o aumento da atividade antioxidante (até $117,40 \pm 2,20\%$ em relação ao controle) no período de 21 dias de armazenamento em temperatura ambiente. Com isso, demonstra-se o potencial desses *snacks* probióticos secos em leiteo fluidizado para serem comercializados.

Palavras-chave: Leiteo fluidizado. Ultrassom. Probiótico. *Snacks* de maçã.

ABSTRACT

Apple snacks incorporated with probiotic are an alternative for people who can not consume dairy food, whereas they are not derived from milk, as well as dismiss refrigeration in their storage and being a convenient food. The drying technology used for this product in this work is performed in the fluidized bed, due to the highest heat transfer caused by the contact between the drying air and the snacks. Aiming to improve this drying process, ultrasound was used as a pretreatment, due to its mechanical and cavitation properties reported to improve the transport of water inside and in the surface of the fruit. Furthermore, it decreases the energy consumption by reducing the drying time at low temperature (30 °C) preserving the quality of the dried product. Another technique is the application of a probiotic coating (*Bacillus coagulans* spores), which prolongs the shelf life of this food and makes it functional due to the health benefits of its consumption. The water activity (aw), moisture (U), water diffusivity, water gain and loss of solids in the ultrasonic bath, viability of the probiotic after drying, the enzymes polyphenoloxidase (PPO) and peroxidase (POD), total phenolics, antioxidant activity with DPPH and vitamin E were analyzed. The results of water diffusivity were higher in the procedures at 50 °C, being chosen for the drying processing optimization of this work, besides displaying values of aw and U to 0.4 and 9%, respectively. The viability of this probiotic in the snacks after drying is above the minimum values for a food probiotic (8.0 log CFU/mL). The PPO and POD rates decreased after drying, however, 71.56% of PPO and 72.37% of POD were maintained in samples related to fresh apple. The relative quantities of total phenolics up to 35 days of storage at room temperature had similar result as the control with $90.58 \pm 0.28\%$ and this may be related to the protective effect of probiotic coating on these phenolic compounds combined with reduction of the water activity in the dehydrated apples. This same explanation is given for the increase of antioxidant activity (up to $117.40 \pm 2.20\%$ related to the control) during 21 days of storage at room temperature. Thereby, this work shows the potential of these fluidized bed dryer probiotic apple snacks to be marketed.

Keywords: Fluidized bed dryer. Ultrasound. Probiotic. Apple snacks.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	– Mini Leito Fluidizado MLF 100 (LabMaq)	21
Figura 2	– Curvas Típicas de Secagem de Alimentos: relação do teor de umidade (X), da temperatura (T) e da taxa de secagem (dX/dt) do alimento em relação ao tempo, com aplicação constante de ar no sistema	22
Figura 3	– Fenômeno de Cavitação Acústica	25
Figura 4	– Ilustração esquemática da aplicação do revestimento com probiótico nas amostras de <i>snacks</i> de maçã secos em leito fluidizado	43
Figura 5	– <i>Snacks</i> de maçã após incorporação do revestimento e secos no leito fluidizado	44
Figura 6	– Colônias de <i>Bacillus coagulans</i> em placa com meio TGY adicionado 1,5% de Ágar	53
Figura 7	– Curvas de cinética de secagem da umidade em função do tempo de processamento correspondente a temperatura de: (A) 30 °C sem ultrassom, (B) com 10 min, (C) 20 min (D) e 30 min em ultrassom, (E) 40 °C (F) e 50 °C sem ultrassom	57
Figura 8	– Curvas de cinética de secagem da atividade de água em função do tempo de secagem correspondente a temperatura de: (A) 30 °C sem ultrassom, (B) com 10 min, (C) 20 min (D) e 30 min em ultrassom, (E) 40 °C (F) e 50 °C sem ultrassom	59
Figura 9	– Curvas da cinética de secagem da velocidade do ar no leito fluidizado em função do tempo de processamento correspondente a temperatura de: (A) 30 °C sem ultrassom, (B) com 10 min, (C) 20 min (D) e 30 min em ultrassom, (E) 40 °C (F) e 50 °C sem ultrassom	61
Figura 10	– Análise do diagrama de Pareto para os parâmetros de temperatura (°C) e tempo de ultrassom (min) na cinética de secagem nos resultados de (A) atividade de água e (B) umidade base úmida	65
Figura 11	– Superfície de resposta da (A) atividade de água e da (B) umidade em base úmida dos <i>snacks</i> de maçã pós secagem em leito fluidizado	66

Figura 12 – Análise da difusividade da água pelo diagrama de Pareto após a secagem dos <i>snacks</i> de maçã no leite fluidizado	71
Figura 13 – Superfície de resposta da difusividade efetiva (D_e) da água após a secagem dos <i>snacks</i> de maçã no leite fluidizado	71
Figura 14 – Análise do diagrama de Pareto para as áreas dos <i>snacks</i> de maçã cobertos pelo revestimento em leite fluidizado após a secagem	75
Figura 15 – Superfície de resposta das áreas dos <i>snacks</i> de maçã cobertos pelo revestimento em leite fluidizado após a secagem	75
Figura 16 – Viabilidade do <i>Bacillus coagulans</i> incorporados nos <i>snacks</i> de maçã secos em leite fluidizado armazenadas por 90 dias	78
Figura 17 – Taxas da atividade enzimática de (A) PPO e (B) POD dos <i>snacks</i> de maçã incorporados com probiótico e secos em leite fluidizado armazenados por 90 dias	80
Figura 18 – Porcentagem dos fenólicos dos <i>snacks</i> de maçã incorporados com probiótico e secos em leite fluidizado armazenados por 90 dias em relação ao controle	84
Figura 19 – Análise da capacidade antioxidante pelo método do DPPH dos <i>snacks</i> de maçã incorporados com <i>B. coagulans</i> secos em leite fluidizados no armazenamento de 90 dias	87
Figura 20 – Porcentagem da vitamina E dos <i>snacks</i> de maçã com <i>B. coagulans</i> após o processamento em leite fluidizado no período de armazenamento de 90 dias relativa à fruta fresca	89

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Efeitos do pré-tratamento com ultrassom de ganho de água e perda de sólidos em diferentes tipos de frutas	26
Tabela 2 – Taxa de inativação de <i>Lactobacillus casei</i> incorporados em amostras de maçãs no processo de secagem	31
Tabela 3 – Difusividade da água em diferentes tipos de frutas sujeitas ao pré-tratamento em banho ultrassônico	36
Tabela 4 – Delineamento Composto Central de Face Centrada dos tratamentos para a cinética de secagem desenvolvido no <i>software</i> Statistica 10	41
Tabela 5 – Delineamento Composto Central Rotacional dos revestimentos desenvolvido no <i>software</i> Statistica 10	44
Tabela 6 – Tempo em que a atividade de água (a_w) esteve próxima a 0,4 e umidade em base úmida (U) no processo de secagem em leito fluidizado nos respectivos tratamentos do DCC	62
Tabela 7 – Análise da variância (ANOVA) para a resposta de atividade de água (a_w) dos <i>snacks</i> de maçã durante a cinética de secagem	64
Tabela 8 – Análise da variância (ANOVA) para a resposta de umidade (U) dos <i>snacks</i> de maçã durante a cinética de secagem	64
Tabela 9 – Ganho de água e perda de sólidos após o pré-tratamento em banho ultrassônico	67
Tabela 10 – Difusividade efetiva da água (D_e) durante a secagem em leito fluidizado	68
Tabela 11 – Análise da variância (ANOVA) para a resposta de difusividade efetiva da água (D_e) dos <i>snacks</i> de maçã durante a cinética de secagem	70
Tabela 12 – Resultado da área dos <i>snacks</i> de maçã cobertos pelo revestimento em leito fluidizado após a secagem	72
Tabela 13 – Análise da variância (ANOVA) para a resposta da área de recobrimento dos revestimentos sobre os <i>snacks</i> de maçã	74

Tabela 14 – Viabilidade do <i>Bacillus coagulans</i> no período de 0 a 90 dias em 30 g de porção de <i>snacks</i> de maçã incorporados com probióticos secos em leite fluidizado	77
Tabela 15 – Atividade enzimática de PPO e POD dos <i>snacks</i> de maçã incorporados com <i>Bacillus coagulans</i> secos em leite fluidizado e armazenados por 90 dias	79
Tabela 16 – Taxas de fenólicos totais dos <i>snacks</i> de maçã incorporados com probiótico e secos em leite fluidizado armazenados no período de 0 a 90 dias	82
Tabela 17 – Porcentagem dos fenólicos totais dos <i>snacks</i> de maçã incorporados com probiótico e secos em leite fluidizado armazenados no período de 0 a 90 dias em relação ao controle	83
Tabela 18 – Atividades antioxidantes pelo método do DPPH dos <i>snacks</i> de maçã incorporados com probiótico e secos em leite fluidizado armazenados por 90 dias	85
Tabela 19 – Porcentagem da capacidade antioxidante dos <i>snacks</i> de maçã incorporados com probiótico e secos em leite fluidizado armazenados por 90 dias em relação ao controle	86
Tabela 20 – Porcentagem de vitamina E dos <i>snacks</i> de maçã incorporados com probiótico e secos em leite fluidizado armazenados por 90 dias em relação a fruta fresca, destacando os controles de cada lote de processamento	88

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANOVA	Análise de Variância
BNC-pec	Bionanocompósito Bacteriano Nanocelulósico-pectina
BOD	<i>Biochemical Oxygen Demand</i>
CMC	Carboximetilcelulose
DCC	Delineamento Composto Central
DCCR	Delineamento Composto Central Rotacional
DPPH	1,1-difenil-2-radical-picrilhidrazilo
FDA	Food and Drug Administration
HEC	Hidroxietilcelulose
PEG	Polietilenoglicol
POD	Peroxidase
PPO	Polifenoloxidase
PVP	Polivinilpirrolidona
UFC	Unidades Formadoras de Colônia

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	18
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	20
2.1	Processo de Secagem	20
2.2	Pré-tratamento com Ultrassom	24
2.3	Revestimento	26
2.4	Probiótico	29
2.5	Fenômenos de Transportes no Processo de Secagem	33
2.6	Modelagem Matemática	36
3	MATERIAL E MÉTODOS	39
3.1	Preparação das Amostras	39
3.1.1	<i>Pré-tratamento em Banho Ultrassônico</i>	39
3.1.2	<i>Secagem no Leito Fluidizado</i>	39
3.1.3	<i>Planejamento Estatístico</i>	40
3.2	Estudo de Recobrimento dos Snacks de Maçã Desidratados	41
3.2.1	<i>Preparo do Recobrimento</i>	41
3.2.2	<i>Adição do Recobrimento Durante a Secagem</i>	42
3.2.3	<i>Planejamento Experimental</i>	43
3.2.4	<i>Análise de Imagens dos Snacks de Maçã após Incorporação do Revestimento</i>	44
3.3	Estudo da Incorporação de Probióticos em Snacks de Maçã Desidratados	45
3.3.1	<i>Produção de Probiótico</i>	45
3.3.1.1	<i>Preparação de Estoque do Bacillus coagulans</i>	45
3.3.1.2	<i>Preparação de Inóculo do Bacillus coagulans</i>	45
3.3.2	<i>Incorporação do Bacillus coagulans no Revestimento</i>	46
3.4	Análises Físico-Químicas e Microbiológicas	47
3.4.1	<i>Análises Físico-Químicas</i>	47
3.4.1.1	<i>Atividade de Água</i>	47
3.4.1.2	<i>Teor de Umidade</i>	47
3.4.1.3	<i>Cálculos do Ganho de Água e Perda de Sólidos Durante o Pré-tratamento em Banho Ultrassônico</i>	48
3.4.1.4	<i>Difusividade da Água</i>	48

3.4.1.5	<i>Quantificação do Teor de Fenólicos Totais</i>	49
3.4.1.5.1	Extrato	49
3.4.1.5.2	Teor de Fenólicos Totais	49
3.4.1.6	<i>Atividade Enzimática</i>	50
3.4.1.6.1	Extrato	50
3.4.1.6.2	Peroxidase (POD)	50
3.4.1.6.3	Polifenoloxidase (PPO)	50
3.4.1.7	<i>Capacidade Antioxidante</i>	51
3.4.1.7.1	Extrato para Análise de DPPH	51
3.4.1.7.2	Determinação da Capacidade de Eliminação de Radicais DPPH	51
3.4.1.8	<i>Análise de Vitamina E</i>	52
3.4.1.8.1	Extrato	52
3.4.1.8.2	Vitamina E	52
3.4.2	Análises Microbiológicas	52
3.4.2.1	<i>Contagem de Células Viáveis após o Preparo do Inóculo de Bacillus coagulans</i>	52
3.4.2.2	<i>Contagem de Células Viáveis dos Bacillus coagulans nos Snacks de Maçã após Processamento em Leito Fluidizado</i>	54
3.5	Análise de Shelf-life dos Snacks de Maçã Desidratados Incorporados com Probiótico	54
3.6	Análise Estatística	55
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	56
4.1	Estudo da Secagem em Leito Fluidizado e Influência do Ultrassom como Pré-Tratamento	56
4.2	Estudo do Revestimento dos Snacks de Maçã Desidratados em Leito Fluidizado	72
4.3	Contagem de Células Viáveis	75
4.4	Shelf-life e Determinação de Parâmetros de Qualidade dos Snacks Incorporados com Probiótico Secos em Leito Fluidizado	76
4.4.1	<i>Viabilidade do Probiótico nos Snacks de Maçã Secos em Leito Fluidizado</i>	77
4.4.2	<i>Atividade Enzimática de Polifenoloxidase (PPO) e Peroxidase (POD)</i>	79
4.4.3	<i>Fenólicos Totais</i>	81

4.4.4	<i>Capacidade Antioxidante de DPPH</i>	84
4.4.5	<i>Vitaminas E</i>	87
5	CONCLUSÃO	90
	REFERÊNCIAS	91
	APÊNDICE A – RESULTADOS PUBLICADOS	103

1 INTRODUÇÃO

A desidratação de frutas é uma das técnicas de conservação que pode gerar produtos naturais dispensando a incorporação de aditivos. Propiciando, assim, o consumo da fruta quando está no período de escassez da mesma, aumento da vida útil destas e, por ser um produto seco, dispensa a cadeia de refrigeração, o que aumentaria os custos de armazenamento e distribuição (PAES *et al.*, 2019). Essa preservação está relacionada com a baixa atividade de água que reduz a atividade enzimática e minimiza a contaminação microbiana do produto final (DAMODARAN; PARKIN; FENNEMA, 2010; PAES *et al.*, 2019).

O Reino Unido ganhou destaque na comercialização desses produtos, com crescimento de 5,3% em valor, atingindo € 446 milhões em 2015, com importação de quase 18 mil toneladas de maçãs desidratadas no mesmo ano (CBI, 2016). O mercado dos derivados da secagem de frutas cresce juntamente com a busca por alimentos seguros e de qualidade, bem como, pelo consumo de um alimento que preserve a autenticidade e o frescor da fruta. Contudo, alguns métodos tradicionais de secagem, como a estufa estática e a estufa com circulação de ar, apresentam as seguintes desvantagens, como: o alto consumo de energia por conta do longo tempo de processamento e exposição às altas temperaturas, a possibilidade de degradação de nutrientes termossensíveis e a perda de qualidade sensorial (PAES *et al.*, 2019).

Objetivando minimizar estas desvantagens, as tecnologias industriais juntamente com a pesquisa científica aplicada têm explorado a secagem ecológica de frutas, a qual consiste em metodologias que reduzem eficientemente o consumo de energia e preservam a qualidade dos produtos desidratados, como é o caso do ultrassom (SANTAGATA *et al.*, 2018). O ultrassom tem como vantagem a aplicação de temperatura mais baixa, como também, a produção dos variados efeitos decorrentes da cavitação acústica, que aumenta a taxa de transferência de massa durante o processo de secagem, possibilitando melhor qualidade do produto seco (FENG *et al.*, 2019).

Outra técnica que auxilia na conservação e qualidade das frutas é a de revestimento, além de poder acrescentar benefícios à saúde de quem o consome, dependendo do tipo de aditivo funcional que é incorporado na formulação, como um antioxidante natural ou probiótico. Esse revestimento deve ser constituído de compostos que se enquadram na categoria de alimento seguro, além de poder compor em sua formulação os probióticos, tornando, assim, o alimento funcional. Dentre esses

probióticos que podem ser incorporados nesse revestimento, o *Lactobacillus casei* é amplamente aplicado, em geral, nos produtos lácteos. Outro micro-organismo é o *Bacillus coagulans* que além de ser tolerante a altas temperaturas, a ambiente ácido e salino, ser de fácil armazenamento, é um probiótico certificado usado na indústria de fermentação (GLASER e VENUS, 2017; XING *et al.*, 2019). Estudos, incluindo o presente trabalho, buscam explorar outros micro-organismos probióticos como o *Bacillus coagulans* objetivando novas aplicações em frutas desidratadas. Também são analisadas metodologias que promovam a secagem e a aplicação de revestimento de modo concomitante.

Portanto, dentre os métodos de secagem, o leito fluidizado tem aplicação em produtos químicos e farmacêuticos, além de estar sendo estudado em processamento de alimentos. Isso se dá, devido as características de transferência de massa e calor associado com a fluidização de sólidos, por meio de uma fase transportadora, o ar quente, facilitando sua aplicação no processo de secagem e em revestimento de sólidos, podendo, então, realizar esses processos em uma única operação unitária (ODELEYE *et al.*, 2018). Assim sendo, os secadores de leito fluidizado asseguram boa eficiência na transferência de calor e transporte de umidade entre as amostras e o ar, o que leva as serem considerados mais adequados e mais eficientes em se tratando de secadores de partículas.

Neste contexto, considerando a relevância dos benefícios gerados pela ingestão de probióticos e o crescente consumo de frutas desidratadas, juntamente com a busca por novos alimentos funcionais, o presente trabalho tem por objetivo geral desenvolver *snacks* de maçã incorporados com probióticos, avaliando o uso de ultrassom como tecnologia de potencialização da secagem e otimização do processo usando a simulação matemática. Outros objetivos foram estabelecer uma modelagem matemática a partir da Lei de Fick para calcular a difusividade efetiva da água dos *snacks* de maçã na secagem em leito fluidizado, formular soluções de revestimento através de um Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR) com hidroxietilcelulose (HEC) e polietilenoglicol (PEG) como variáveis independentes, adicionar esporos do probiótico *Bacillus coagulans* na solução de revestimento otimizada para aplicação nas amostras em leito fluidizado, avaliar a viabilidade do probiótico nos *snacks* de maçã após o processamento de secagem e sua estabilidade durante armazenamento de 90 dias.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Processo de secagem

O processo de secagem de alimentos diminui a disponibilidade de água, inibindo as reações de deterioração do alimento, reduzindo o volume e a massa do produto, facilitando o transporte e aumentando a vida útil desse produto sem perdas da qualidade durante longo período de armazenamento (ARAÚJO *et al.*, 2017). Esse fenômeno de secagem consiste da aplicação de calor e remoção de umidade, nos quais os principais parâmetros que controlam a taxa de secagem dos alimentos são: temperatura, umidade relativa e velocidade do ar que variam com base na natureza dos alimentos e no design particular do secador (SIVAKUMAR *et al.*, 2016). Além disso, a taxa de secagem depende de condições específicas das amostras, como a geometria, espessura, forma e estrutura do alimento, as quais podem facilitar ou dificultar a migração de umidade conforme a sua porosidade (CASTRO; MAYORGA; MORENO, 2018).

Na secagem mecânica grande quantidade de energia é consumida, e na secagem natural o produto obtido pode ter os compostos nutritivos degradados decorrente da exposição as condições ambientais desfavoráveis, o que justifica o estudo da importância de escolher o melhor método de secagem por este influenciar diretamente na qualidade do produto final (COSTA, 2008; CANO-LAMADRID *et al.*, 2018). Parte da energia fornecida ao alimento é gasta para aquecê-lo e outra é usada para vaporizar a água da superfície que por convecção natural ou forçada é retirada pelo fluxo de ar.

O processo de secagem em frutas é bastante complexo devido aos múltiplos processos físicos e bioquímicos como: a mudança de temperatura decorrente do calor latente de evaporação; a deformação ou encolhimento da estrutura celular do tecido resultante da umidade eliminada, podendo também acarretar endurecimento ou rachadura; e a perda da qualidade por conta dos compostos ativos que, geralmente, são sensíveis ao calor, como é o caso das vitaminas (DEFRAEYE e RADU, 2018). Nesses processamentos de secagem de frutas, tem crescido a busca por novos métodos que minimizem estas perdas da qualidade do produto final, como é caso do leito fluidizado (Figura 1) que consiste de um cilindro de vidro borossilicato, aço carbono ou inox, onde o material a ser seco é inserido na parte superior do equipamento e na parte inferior é injetado o ar de secagem.

Esse equipamento gera uma operação em que sólidos particulados são suspensos por uma corrente ascendente de ar, onde o leito de partículas passa a comportar-se como um fluido, principalmente quando referente as suas propriedades de escoamento, adquirindo um comportamento reológico de líquido. A velocidade mínima de fluidização depende dos fatores, como densidade de empacotamento, tamanho e forma dos sólidos a serem secos, viscosidade e velocidade dos meios de fluidização, nesse caso, o ar de secagem (GOSAVI *et al.*, 2018). O leito fluidizado tem como diferencial permitir que a secagem e o revestimento ocorram simultaneamente em uma única operação unitária, ao passo que o ar quente é injetado na base da câmara contendo as amostras, o revestimento é aspergido por um bocal de atomização posicionado também na base do leito, sendo impulsionado para dentro da câmara de secagem pelo fluxo de ar (CARTER e BRIENS, 2018). Então, o leito fluidizado apresenta maior transferência de calor e eficiência devido ao excelente contato entre o ar de secagem e o alimento a ser processado, se tratando também de uma secagem por convecção, além do custo operacional ser relativamente baixo (NIAMNUY e DEVAHASTIN, 2005; YOGENDRASASIDHAR e SETTY, 2018a).

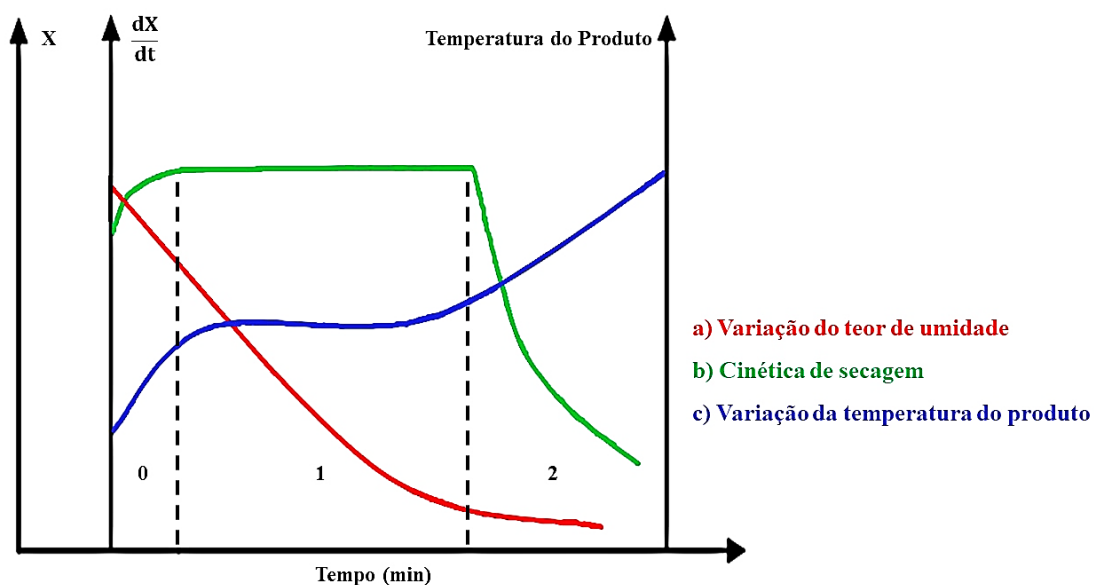
Figura 1 - Mini Leito Fluidizado MLF 100 (LabMaq).



Fonte: elaborado pela autora.

A secagem de alimento por convecção pode ser representada de forma sucinta como mostra na Figura 2, que apresenta três fases distintas. A primeira fase, dada pela região 0, representa o período de indução, no qual o alimento se adequa às condições do processo, em que a temperatura será diretamente proporcional a taxa de secagem. A segunda fase, denominada região 1, apresenta um período de taxa constante, em que a velocidade de transferência de massa no interior do alimento, considerando esse um sólido poroso, é igual à velocidade de evaporação da água (água livre) na superfície do mesmo. E a terceira fase, dada pela região 2, que apresenta um período de taxa decrescente, na qual a velocidade de transferência de massa no interior do produto é menor que a taxa de evaporação na superfície, resultando na elevação da temperatura do mesmo.

Figura 2 – Curvas Típicas de Secagem de Alimentos: relação do teor de umidade (X), da temperatura (T) e da taxa de secagem (dX/dt) do alimento em relação ao tempo, com aplicação constante de ar no sistema.



Fonte: Ilustrado pela autora (Adaptado de SILVA, 2010).

As curvas de secagem apresentadas na Figura 2 são descritas da seguinte forma: a curva do teor de umidade é obtida através do peso do alimento em determinada condição do processo e caracterizada pela diminuição do teor de umidade do produto ao longo do tempo (t) de secagem, reduzindo, assim, o conteúdo de umidade em base seca (X_{bs}); a curva da cinética de secagem evidencia a velocidade da secagem que é dada pela variação do conteúdo de umidade do alimento por tempo (dX/dt) em relação ao tempo (t) de

secagem, sendo observada uma relação direta com o tempo de processo e a demora da perda de umidade do produto; e a curva da variação da temperatura do produto expressa as mudanças da temperatura (T) do produto no decorrer do tempo (t) de secagem (ALVES, 2014). Em se tratando da secagem de fruta, a curva da cinética de secagem tem uma conformação diferente da apresentada na Figura 2, tomando a forma descendente, o que justifica a cinética de secagem da fruta ocorrer de forma rápida, em que, ao longo do processo, não apresenta constância no teor de umidade com o passar do tempo, devido à facilidade com que a água é evaporada através dos poros da fruta.

No início do processo, as amostras são mais frias do que o ar injetado no sistema, logo, a pressão parcial de vapor d'água na superfície da fruta é baixa, com isso a transferência de massa e a velocidade de secagem também são baixas. Na região 1 (Figura 2), em que a taxa de secagem é constante, a pressão de vapor d'água na superfície da fruta é constante e igual à pressão de vapor da água pura à temperatura da fruta, que, por sua vez, é igual a temperatura do bulbo do leito fluidizado, resultando, assim, no equilíbrio do sistema (KEEY, 1972; BERK, 2018). O final desta região 1, se dá no instante em que a migração interna de água para a superfície não compensa a taxa de evaporação da água livre do produto (BROOKER; BAKKER-ARKEMA; HALL, 1992; ORDOÑEZ; MESA; RODRÍGUEZ, 2017).

Na região 2, acredita-se que as partes externas da fruta estejam secas, e, no interior desta, pode conter parcela significativa de água, na qual, neste caso, a transferência interna de água é o que determina a taxa de secagem (NICOLETI, 2005; ÇAKMAK *et al.*, 2016). Sabe-se que, nesta região, a troca de calor não é compensada como nas anteriores, e a temperatura da fruta aumenta e tende a assemelhar com a do ar de secagem. A redução da taxa de secagem é decorrente da diminuição da pressão parcial de vapor de água na superfície da fruta, em que, ao final desse processo, o produto estará em equilíbrio com o ar de secagem e a velocidade de secagem será nula (KEEY, 1972; BERK, 2018).

Estudos confirmam que esse processo de secagem convectiva pode ser otimizado com técnicas físicas como radiação infravermelha, micro-ondas e ultrassom (PUENTE-DÍAZ *et al.*, 2013; GAMBOA-SANTOS *et al.*, 2014). Essas tecnologias foram aplicadas com o intuito de acelerar a taxa de secagem de frutas e vegetais, visando amenizar os problemas decorrentes da prolongada exposição do alimento ao ar quente, incluindo deterioração de cor, sabor e nutrientes, melhorando, assim, a qualidade dos produtos secos (TAO *et al.*, 2018). O ultrassom, tende a aprimorar esse processo de secagem, devido as propriedades mecânicas e cavitacionais, que podem facilitar o movimento da água na

parte interna e na superfície de frutas e vegetais, reduzindo, assim, o consumo de energia e preservando a qualidade dos produtos secos (SABAREZ; GALLEGO-JUAREZ; RIERA, 2012; TAO *et al.*, 2018).

2.2 Pré-tratamento com ultrassom

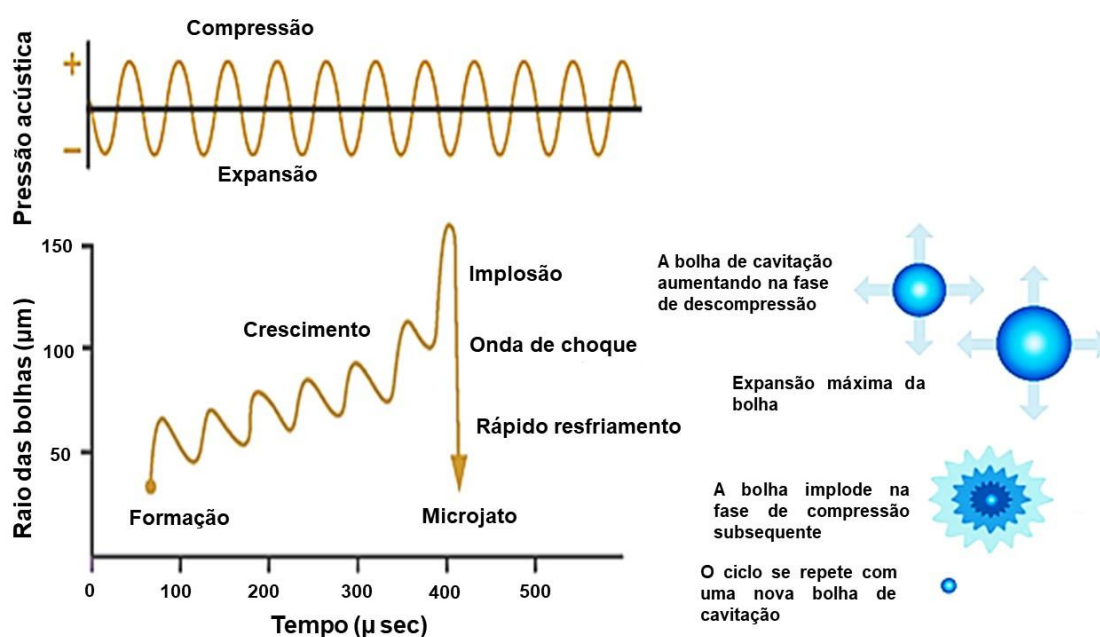
A aplicação do ultrassom como pré-tratamento na secagem, objetiva otimizar o tempo de processamento e reduzir o consumo total de energia da operação unitária, sendo essa aplicação um dos exemplos do processo de tecnologia limpa. A técnica de secagem com ultrassom surgiu na década de 1950 por Boucher (1959) e Greguss (1963) e teve início na União Soviética em 1965 (KUDRA e MUJUMDAR, 2009; MUSIELAK; MIERZWA; KROEHNKE, 2016). Estudos relatam que a aplicação dessa técnica tem a vantagem de acelerar o processo de secagem, sem provocar elevação drástica da temperatura, sendo ideal em operações de secagem de matérias sensíveis à temperatura, como em alimentos, principalmente, em frutas (MUSIELAK; MIERZWA; KROEHNKE, 2016).

O desenvolvimento de geradores de ultrassom modernos e de alta potência, desencadeou o interesse em retomar os estudos na secagem ultrassônica, com isso, foi comprovado que é possível trabalhar sinergicamente com outras técnicas de secagem, potencializando a eficiência desta operação unitária (MUSIELAK; MIERZWA; KROEHNKE, 2016). Nos ultrassons de baixa intensidade (energia), a matéria, após a passagem das ondas, retorna ao estado de equilíbrio original; já nos ultrassons de alta intensidade, ocorrem mudanças permanentes na matéria, a qual atinge um novo estado de equilíbrio (MUSIELAK; MIERZWA; KROEHNKE, 2016).

A energia sônica gerada pelo banho ultrassônico produz cavitação acústica que consiste na formação, crescimento e colapso de bolhas na água destilada onde as amostras ficam imersas, e esse violento colapso proporciona micro jatos (Figura 3) e ondas de choque causando dispersão (LI; YUE; LIU, 2012; ABRAL *et al.*, 2018). Essa dispersão auxilia na liberação dos compostos presentes na fruta, como na maioria dos casos, os açúcares (BHANVASE *et al.*, 2015). O açúcar presente no interior da fruta fica aderido as células internas, conhecido como lamela secundária, deixando-a com uma estrutura compacta. Portanto, ao longo do processamento, ocorre o desprendimento dessa lamela, que, conseqüentemente, promove a formação de microcanais intercelulares. Conseqüentemente, estes microcanais causam um aumento na porosidade do produto

facilitando a difusividade efetiva da água na matriz durante a secagem, resultando, assim, na redução do tempo de secagem e potencializando a eficiência do pré-tratamento (FERNANDES; GALLÃO; RODRIGUES, 2009a; FERNANDES; GALLÃO; RODRIGUES, 2009b; MAGALHÃES *et al.*, 2017).

Figura 3 - Fenômeno de Cavitação Acústica.



Fonte: www.bioinfo.ufc.br

Esse fenômeno de liberação dos sólidos presentes na fruta, também pode ser caracterizado pelo transporte de massa, que é decorrente do movimento desses compostos no sentido do meio mais concentrado para o menos concentrado, ou seja, da fruta para água destilada onde as amostras ficam imersas no banho ultrassônico (SANTACATALINA *et al.*, 2016). Esse fenômeno de liberação dos sólidos pode estar relacionado com a liberação de parte dos açúcares presentes na fruta. Portanto, se tratando de uma secagem em leite fluidizado, esse fenômeno resultará em uma otimização do processo gerando maior uniformidade na fluidização das amostras nesse equipamento, pois essas amostras com a redução desses açúcares tenderão a minimizar sua aderência no leito de secagem.

O banho ultrassônico necessita de um meio para propagar as ondas acústicas, no caso da secagem de fruta a água é utilizada como esse meio. Nesse processamento, as amostras são suscetíveis a ganho de água e a perda de sólidos que variam conforme, principalmente, os parâmetros de tempo desse pré-tratamento, estrutura física das

amostras (tamanho, porosidade e espessura) e composição físico-química da fruta. Esses efeitos foram abordados em estudos com diferentes tipos de frutas, como pode ser observado na Tabela 1.

Tabela 1 – Efeitos do pré-tratamento com ultrassom de ganho de água e perda de sólidos em diferentes tipos de frutas.

Tipo de fruta	Tempo de pré-tratamento (min)	Ganho de água (%)	Perda de sólidos (%)	Referências
Abacaxi	10		21,7 ± 1,5	(FERNANDES; LINHARES; RODRIGUES, 2008)
	20	n.d.	22,2 ± 0,7	
	30		23,2 ± 0,8	
Banana (<i>Musa spp.</i>)	10	4,1 ± 0,9	11,0 ± 2,2	(FERNANDES e RODRIGUES, 2007)
	20	11,1 ± 0,5	12,1 ± 0,2	
	30	7,2 ± 0,9	21,3 ± 1,2	
Melão	20	8,7	n.d.	(FERNANDES; GALLÃO; RODRIGUES, 2009a)
Sapoti	10		2,7 ± 0,3	(RODRIGUES <i>et al.</i> , 2009)
	20	n.d.	3,3 ± 0,5	
	30		7,8 ± 0,3	
Mamão	10		9,9 ± 0,6	(FERNANDES; OLIVEIRA; RODRIGUES, 2007)
	20	n.d.	10,7 ± 0,2	
	30		13,8 ± 1,1	
Jambo (<i>Syzygium malaccense</i>)	10	9,8 ± 0,5	28,0 ± 1,4	(OLIVEIRA, 2010)
	20	8,8 ± 0,4	23,6 ± 1,2	
	30	16,4 ± 0,8	21,9 ± 1,1	

Os processos de secagem foram realizados a 60 °C.

Fonte: elaborado pela autora.

A aplicação do pré-tratamento com ultrassom, deve ser melhorada com estudos que relacionem a influência da propagação de energia sônica em contato com a área de secagem dos alimentos e a qualidade dos produtos secos, bem como o mecanismo de aprimoramento da secagem. Portanto, o estudo da simulação de transferência de massa, considerando todos os fenômenos de transportes, é uma ferramenta importante para obter informações sobre esse mecanismo de aprimoramento da secagem com pré-tratamento ultrassônico (TAO *et al.*, 2018).

2.3 Revestimento

Os revestimentos surgiram com o propósito de preservar os alimentos por apresentar, após à secagem dos mesmos, uma fina camada de material comestível na

superfície do alimento, a qual pode funcionar como barreira contra a migração de umidade, oxigênio, dióxido de carbono, aromas, lipídios e outros solutos (SANTAGATA *et al.*, 2018). A eficácia dos revestimentos é consolidada com base nos parâmetros que descrevem a propriedade de barreira, como permeabilidade, taxa de transmissão e resistência, sendo importante que os testes para obtenção desses dados assemelhem-se as condições reais de aplicação (BASIAK *et al.*, 2019).

Esses revestimentos são considerados como uma técnica para prolongar a vida útil dos alimentos minimamente processados, podendo aumentar a resistência à difusão de gases que retarda o processo natural de amadurecimento fisiológico. Isso foi apresentado no estudo de Wong *et al.* (1994) no qual pedaços de maçã revestidos apresentaram redução na taxa de produção de CO₂ e diminuição de 90% de etileno no tecido da fruta. Rojas-Graü *et al.* (2008) em seus estudos observaram variação nos níveis de etileno de 7,55 a 28,25 µL.L⁻¹ em maçãs revestidas com alginato, e de 9,91 a 40,42 µL.L⁻¹ em maçãs revestidas com gelatina, enquanto em maçãs não revestidas, o aumento na produção de etileno foi de 19,16 para 154,35 µL.L⁻¹ no final de 23 dias armazenadas a 4 °C. Bem como no estudo de Ali *et al.* (2019) no qual maçãs revestidas com arabinosilano de trigo e éster de ácido esteárico β-glucano (AX-SABG 1 – 4%) apresentaram redução na taxa de respiração de 47 a 59% (12,8 – 13,8 mL CO₂/kg.h) durante 30 dias de armazenamento e as maçãs revestidas com goma-laca (1 – 4%) tiveram redução de 61 a 63% durante armazenamento de 15 dias. Além disso, o revestimento pode proteger contra a perda de água, como observado no trabalho de BASIAK *et al.* (2019) no qual as ameixas revestidas tiveram aumento de 60 a 70% na resistência total no vapor de água. A eficiência dessas funções dependerá dos componentes da matriz dos revestimentos que, no geral, são formulados a partir de biopolímeros, contanto que esses estejam em condições adequadas para formação de um alimento seguro (BASIAK *et al.*, 2019).

Dentre as fontes renováveis com capacidade de gerar filmes, o amido é a mais estudada e aplicada por, no geral, apresentar boa disponibilidade, alto rendimento de extração, significativo valor nutricional, baixo custo, biodegradabilidade, biocompatibilidade e digestibilidade com propriedades funcionais (SHAH *et al.*, 2016). Outras fontes são estudadas para o desenvolvimento de novos revestimentos, como a carboximetilcelulose (CMC). A CMC é um derivado éter de celulose preparado pela reação de celulose e ácido cloroacético (eterificação) em álcali sob condições controladas, sendo amplamente aplicada nas áreas de alimentos e química por ser: formadora de filme, agente estabilizante e emulsificante, biocompatível, biodegradável, atóxica, de baixo

custo e boa barreira à permeabilidade de oxigênio (STICK e WILLIAMS, 2009; ZILLO *et al.*, 2018; HOU *et al.*, 2018).

Khorasani e Shojaosadati (2017) observaram que o revestimento com CMC apresentou maior eficiência como uma matriz de aprisionamento do probiótico *Bacillus coagulans* e não conseguiu proteger eficazmente as células probióticas (60,34% consistindo na menor taxa de sobrevivência) como no revestimento com bionanocompósito bacteriano nanocelulósico-pectina (BNC-pec) (95% referente a maior taxa de sobrevivência). Nesse mesmo trabalho, os revestimentos com baixas concentrações de CMC não apresentaram proteção das matrizes simbióticas na secagem térmica, isso pode ser decorrente da estrutura amorfa e porosa da CMC que gerou partículas irregulares e dispersas (KHORASANI e SHOJAOSADATI, 2017). O revestimento com CMC, em alguns testes, não apresentou recobrimento uniforme nas amostras, resultando em possíveis problemas no produto final.

Diante dessas desvantagens da CMC, se faz importante buscar outra fonte para o desenvolvimento de revestimento com probiótico, como a hidroxietilcelulose (HEC) sendo, no geral, aplicado como estabilizante, espessante ou revestimento (KARIDURAGANAVAR; KITTUR; KAMBLE, 2014). A HEC apresenta as mesmas características de: formar filme, ser biocompatível e biodegradável, atóxico, natureza hidrofílica, além de ter propriedades químicas estáveis e excelente propriedade de reticulação (*cross-linking*) entre moléculas (CHENG *et al.*, 2018). Segundo Singh *et al.* (2019), na abordagem do estudo sobre filmes comestíveis a base de CMC e HEC, concluiu que os filmes de HEC apresentaram maior estabilidade térmica (315 °C) quando comparados com os de CMC (230 °C), essa característica torna-se relevante para o presente trabalho, por se tratar da aplicação de um revestimento a base de HEC em um processamento de secagem. Além da solução de HEC ser menos viscosa do que a de CMC, assim, para aplicação como revestimento, essa característica tenderá a favorecer um recobrimento mais uniforme, resultando em um produto final de qualidade.

Os revestimentos, para melhorar a característica filmogênica, necessitam de um plastificante em sua composição. Dentre os plastificantes usados, os mais comuns são glicerol e polietilenoglicol (PEG). O PEG, especificamente o 400, que será utilizado no presente trabalho, é um composto atóxico, inodoro, não imunogênico e possui aprovação da Food and Drug Administration (FDA) (WILCZYNSKI e STOLECKA-WARZECHA, 2018), além de apresentar boa relação custo-benefício e boa capacidade de solubilização (MOHAMMADIAN *et al.*, 2019). Portanto, tem considerável aplicação na área

farmacêutica e alimentícia, sendo utilizado como dispersante em cremes dentais e plastificante na formulação de filmes comestíveis (KAUR; JUGLAN; KUMAR, 2018).

Ademais, vários compostos, como antioxidantes, antimicrobianos e/ou probióticos, podem ser incorporados aos revestimentos e aplicados em alimentos, aumentando suas propriedades de segurança, nutricionais e sensoriais (SANTAGATA *et al.*, 2018). Essa incorporação agrega valor ao revestimento, por somar um benefício a quem o consome, tornando o produto final um alimento funcional e propulsor de bem-estar.

2.4 Probiótico

O estilo de vida moderno concomitantemente com a busca de otimizar o tempo de trabalho, em geral, propicia a redução do consumo de alimentos mais saudáveis, em que, por vezes, pode ocasionar desequilíbrio da flora intestinal e, conseqüentemente, acarretar em desconforto gastrointestinal e infecções em outras partes do corpo. O exacerbado aumento do consumo de antibióticos, também propicia o desequilíbrio da microbiota intestinal, diminuindo a diversidade bacteriana, bem como as responsáveis pelo bem-estar do corpo (Zhang *et al.*, 2020).

Esses fatos podem ser minimizados com o consumo de alimentos ou suplementos alimentares que contenham probióticos, os quais são micro-organismos vivos que quando administrados em proporções adequadas conferem benefício à saúde do consumidor (FAO/WHO, 2001; RODRIGUES *et al.*, 2018). Quando esses probióticos são incorporados aos alimentos, para a eficiência da ação benéfica desses micro-organismos, é fundamental que eles sejam capazes de sobreviver ao longo do trato digestório e que possam se multiplicar com sucesso no intestino (ESPITIA *et al.*, 2016). Assim, eles devem ser resistentes ao suco gástrico e capazes de crescer nas condições do intestino.

Conforme o *Transparency Market Research* publicado em 2018, presume-se que o mercado global de probióticos seja avaliado em cerca de 6,76 bilhões de dólares no final de 2018 e deverá ser avaliado em, aproximadamente, 12,75 bilhões de dólares até o final de 2026. Os probióticos mais empregados em alimentos pertencem às bactérias dos gêneros *Lactobacillus* ou *Bifidobacterium* (RIVERA-ESPINOZA e GALLARDO-NAVARRO, 2010; ZANJANI *et al.*, 2017).

Os *Lactobacillus casei* são compatíveis para colonizar em ambientes naturais e criados pelo homem, como boca, trato intestinal, laticínios e produtos vegetais, além de

serem micro-organismos anaeróbicos, ácidos tolerantes e apresentarem metabolismo estritamente fermentativo obtendo como principal metabólito e produto final o ácido láctico (BURITI e SAAD, 2007; FONTANA; ZACCONI; MORELLI, 2018). O *L. casei* é uma espécie adaptável, pois pode crescer em condições de larga escala de pH e de temperatura, sendo ideal em pH 6,5 - 7 e temperatura de 37 °C (SILVEIRA, 2009; VELASQUEZ-TELLEZ *et al.*, 2015). Na área de alimentos, esse micro-organismo já é aplicável como cultura de partida de ácido-produção para fermentação de leite e como culturas para intensificação e aceleração do sabor em determinados tipos de queijos.

Estudos revelam que preparados contendo *L. casei* beneficiam o aumento da microbiota intestinal normal, impedindo a proliferação dos micro-organismos nocivos à saúde intestinal, além de poder promover uma melhor digestão e reduzir a intolerância à proteína do leite. Os *Lactobacillus casei* juntamente com as bifidobactérias revelaram melhorar e aumentar a produção da imunoglobulina IgA, fortalecendo a barreira da mucosa intestinal (ERICKSON e HUBBARD, 2000; ISOLAURI *et al.*, 2001; VANDERHOOF, 2001; BHUYAN *et al.*, 2018).

No mercado, os alimentos probióticos são derivados de produtos lácteos, os quais necessitam da refrigeração para fornecer um ambiente onde a maioria das cepas de *Lactobacillus* sobrevivam por longos períodos (RODRIGUES *et al.*, 2018). Então, as desvantagens de consumir esses produtos lácteos probióticos são que, no geral, esses exigem armazenamento refrigerado e são inadequados para pessoas com alergia a proteína do leite (principalmente a caseína), do soro do leite e / ou intolerância à lactose. Portanto, como alternativa para essa problemática, estudos mostram a tendência da aplicação de probióticos em alimentos não derivados do leite, que sejam práticos e não requeiram refrigeração para sua conservação, além de poderem ser consumidos por pessoas que tenham restrição aos produtos lácteos. Os probióticos podem ser incorporados em alimentos secos, os quais têm como principal vantagem o prazo de validade de vários meses (RODRIGUES *et al.*, 2018).

Segundo estudo de Rodrigues *et al.* (2018) no qual os *Lactobacillus casei* são incorporados em maçãs, inicialmente com taxa de micro-organismos de $3,16 \times 10^8 \pm 2,20 \times 10^7$ UFC/g ($8,5 \pm 0,5$ log UFC/g), foi observado que com o processo de secagem a 60 °C em 100 min ocorreu uma redução desse valor para $2,92 \times 10^5 \pm 1,87 \times 10^4$ UFC/g ($6,3 \pm 0,3$ log UFC/g). Nesse mesmo trabalho, foi realizado a modelagem da cinética de redução do *L. casei* resultando nas constantes para inativação do mesmo em relação a temperatura e o ar de secagem, como visto na Tabela 2.

Tabela 2 – Taxa de inativação de *Lactobacillus casei* incorporados em amostras de maçãs no processo de secagem.

Temperaturas (° C)	Taxa de inativação – k_d (10^2 min^{-1})	
	Secagem sem ultrassom	Secagem com ultrassom
10	3,01 ± 0,03	3,16 ± 0,02
40	5,82 ± 0,08	6,42 ± 0,07
60	5,40 ± 0,11	9,98 ± 0,22

Fonte: RODRIGUES *et al.* (2018).

Nesses resultados são observados que a viabilidade do micro-organismo foi melhorada com o uso do ultrassom por, conseqüentemente, reduzir o tempo de secagem no processamento a temperatura de 60 °C, proporcionando, assim, menor perda de conteúdo probiótico na amostra. Portanto, nessa mesma temperatura, ao final do processo a maçã apresentou $86 \pm 2\%$ de viabilidade de *L. casei* quando aplicado o tratamento em ultrassom, enquanto no processamento sem ultrassom foi de $77 \pm 2\%$ de viabilidade celular. Além da temperatura de 60 °C assegurar os requisitos para um produto seco estável (atividade de água a 0,4), também propiciou as condições necessárias para a contagem do micro-organismos ser considerado probiótico. Apresentando como resultado ao tratamento com ultrassom a viabilidade do *L. casei* de $5,3 \pm 0,1 \text{ log UFC/g}$ e no processamento sem ultrassom de $5,4 \pm 0,2 \text{ log UFC/g}$ (RODRIGUES *et al.*, 2018).

Outro micro-organismo aprovado como probiótico pela *Food and Drug Administration (FDA)* dos Estados Unidos e pela Comissão de Planejamento da Saúde e Ministérios da China (YAO *et al.*, 2019), sendo potencialmente aplicado, é o *Bacillus coagulans*, o qual tem como características ser uma bactéria Gram-positiva em forma de bastonete do gênero *Bacillus*, não patogênica, não tóxica, anaeróbica facultativa, formadora de esporos, tendo como temperatura ótima para seu crescimento a de 37 °C e pH ideal na faixa de 5,5 a 6,2 (MAJEED e KAMAREI, 2012; GLASER e VENUS, 2017). Os estudos de Budhavaram e Fan (2009) e Ma *et al.* (2014) comprovaram que os *B. coagulans* são bactérias termofílicas resistentes à altas temperaturas através dos resultados do crescimento desses probióticos nas faixas de 42 a 50 °C e 50 a 60 °C, respectivamente. Outros estudos também comprovam a resistência desses probióticos na forma de esporos, os quais suportam o ambiente ácido do estômago e tem a capacidade de germinar e proliferar no trato gastrointestinal em pouco tempo após sua ingestão, além de serem estáveis em extensa faixa de temperatura, tornando viável a armazenagem desses probióticos desidratados à temperatura ambiente sem efeito deletério na

viabilidade dos mesmos (HYRONIMUS *et al.*, 2000; MAJEED *et al.*, 2018; MARCIAL-COBA *et al.*, 2019).

B. coagulans sob certas condições ambientais pode produzir protease, celulase, amilase, vitaminas, reduzir o açúcar, fermentar hexose e pentose em ácido lático, e produzir ácidos graxos de cadeia curta (DAS e SEN, 2011; NYANGALE *et al.*, 2014; GLASER e VENUS, 2017). No geral, esses metabólitos são produzidos quando a fonte de glicose se esgota e essa bactéria probiótica produz compostos que auxilia no consumo de uma fonte alternativa de carbono (DAS e SEN, 2011). Esse processo pode estar relacionado ao fato da glicose presente no meio de ativação e de esporulação ser absorvida pela membrana celular através do mecanismo de transporte ativo, ocasionando em maior concentração dessa glicose no meio intracelular do que no extracelular (KAJIKAWA *et al.*, 1997). Caso nesse processo a demanda de glicose intracelular seja menor do que as moléculas de glicose disponível, resultando na permanência dessas moléculas em locais ativos, conseqüentemente, essa glicose disponível nas células implicaria no atraso do processo de esporulação (DAS e SEN, 2011).

Outro fator relevante para a produção desses compostos são as condições aeróbicas, em que nos estudos de Su e Xu (2014) sob estas condições, o *B. coagulans* foi capaz de produzir compostos bioquímicos como etanol, acetoína e butanodiol. Bem como o meio onde o micro-organismo está isolado interfere no seu metabolismo, como foi o caso apresentado nos estudos de Yao *et al.* (2019), em que o *B. coagulans* foi isolado em vegetal salgado, utilizando como fonte de carbono amido de milho gelatinizado contendo pequenas moléculas de dextrina, sacarose, maltose, trealose, isomaltose, frutose e glicose, apresentou maior produção de enzimas dextrina hidrolisada por este micro-organismo. Estudos como o de Kapse *et al.* (2019) revelam que esse probiótico pode sintetizar vitaminas B como B1 (tiamina), B2 (riboflavina), B6 (piridoxina), B7 (biotina) e B9 (folato). O *B. coagulans* também pode ser responsável pela síntese de aminoácidos essenciais como leucina, lisina, metionina, triptofano e treonina, os quais são considerados importantes para o desenvolvimento das crianças (KAPSE *et al.*, 2019)

Os *B. coagulans* foram estudados quanto a sua propriedade probiótica, e, algumas cepas, apresentaram efetividade em resultados clínicos da síndrome do intestino irritável em humanos, redução de diarreia associada à estreptomicina e ciclofosfamida e recuperação de imunossupressão induzida em camundongos (MARCIAL-COBA *et al.*, 2019). Segundo estudo de Marcial-Coba *et al.* (2019), o *B. coagulans* pode melhorar consideravelmente a saúde das células do revestimento intestinal, diminuindo sua

inflamação, melhorando a absorção de nutrientes, o que pode ser notado no aumento da digestão de proteínas vegetais durante passagem simulada *in vitro* do trato gastrointestinal.

Esse probiótico também pode estimular o peristaltismo intestinal, o que poderá promover a redução da produção de substâncias nocivas, como aminas, melhorando o metabolismo intestinal e evitando o acúmulo de toxinas no corpo (NYANGALE *et al.*, 2014). Além de poder reduzir a taxa de colesterol, como foi observado no estudo de Aminlari *et al.* (2019) pelo resultado da degradação do colesterol no soro sanguíneo. Segundo estudo de Shinde *et al.* (2019), no qual esporos probióticos de *B. coagulans* MTCC 5856 foram avaliados quanto à viabilidade após digestão simulada e propriedades imunomoduladoras, os autores obtiveram como resposta a sobrevivência de mais de 90% dos esporos nas condições estabelecidas nesse trabalho. Portanto, sendo possível concluir que esses probióticos são viáveis na formulação de alimentos estáveis armazenados sem refrigeração e na produção de alimentos processados em altas temperaturas.

No estudo de Majeed *et al.* (2016) que avalia a estabilidade do *B. coagulans* MTCC 5856 em alimentos funcionais durante processamento e armazenamento obteve como resultado, no processamento de café sob condições de 90 °C, a viabilidade de 87% do probiótico, enquanto o mesmo café armazenado a 77 °C durante 4 h a viabilidade foi de 66%. Entretanto, na mistura desse probiótico com morango em conserva a 75 °C a viabilidade foi mantida a 97% (aproximadamente $7,068 \pm 0,010$ log UFC/g) por até 12 meses de armazenamento a temperatura ambiente, e na incorporação do *B. coagulans* no chocolate a 60 °C a viabilidade foi de 97% (aproximadamente $6,836 \pm 0,019$ log UFC/g) durante a fabricação e armazenamento por até 12 meses. Desta forma, os probióticos do tipo *B. coagulans* apresentam certa relevância em relação aos *L. casei* por serem mais resistentes as variadas condições ambientais, tendo como destaque sobreviver a altas temperaturas, característica importante para utilização dos mesmos no processamento de secagem, como é o caso do presente trabalho.

2.5 Fenômenos de transportes no processo de secagem

No processo de secagem, o ar quente gerado fornece calor necessário para evaporar a umidade, sendo esse transportado uniformemente ao longo do sistema. Essa transferência de calor para a superfície da fruta ocorre por convecção, e segue por condução para o interior da mesma, gerando um fluxo de calor que resulta no aumento da

temperatura (CASTRO; MAYORGA; MORENO, 2018). A velocidade ou taxa da retirada de umidade da superfície do alimento, é função da área de contato do alimento com o ar e a capacidade do ar de retirar a água da superfície; logo, quanto maior a área superficial do alimento, maior será a área de troca de calor e massa com o fluxo de ar (KALETA *et al.*, 2013). A velocidade e a temperatura de secagem têm efeito substancial na textura dos alimentos. No geral, processos que utilizam secagem rápida e altas temperaturas acarretam maiores alterações do que os que utilizam taxas moderadas desses parâmetros. Além disso, as altas temperaturas provocam alterações químicas e físicas complexas na superfície, como a formação de crostas que prejudicam a eficiência da retirada de umidade do interior do alimento (OETTERER *et al.*, 2006; DANTAS *et al.*, 2018).

Na secagem de fruta em leite fluidizado, se tratando de um sólido úmido submetido à secagem convectiva, podem ocorrer dois fenômenos simultâneos: transferência de energia (calor) e a transferência de massa (umidade). Na transferência de energia, o calor é transferido do leite fluidizado para a superfície da fruta e dessa superfície para a parte interna da mesma, em que a resistência à transferência do calor na superfície é dada pelo coeficiente convectivo de calor, e a resistência à condução do calor para o interior da fruta é dada pela condutividade térmica da fruta. Já na transferência de massa, se considera o transporte da umidade no interior da fruta até a superfície, e a remoção do vapor a partir da mesma ocorre pelo ar de secagem (SILVA, 2010; MAHIUDDIN *et al.*, 2018). Segundo Silva (2010), a taxa de secagem desses fenômenos é determinada pela velocidade dos mesmos, a qual estará relacionada com: pressão de vapor d'água da fruta e do ar de secagem do leite fluidizado, temperatura e velocidade do ar de secagem, velocidade de difusão da água da fruta, espessura das amostras e superfície de contato com o fluxo de secagem, característica física da fruta e seu teor de umidade.

Portanto, estudar a cinética da desidratação das frutas é importante para aperfeiçoar os processos de secagem com o intuito de obter uma melhor qualidade ao produto final e, assim, aumentar a vida de útil do mesmo. A modelagem contínua de desidratação de frutas depende de previsões precisas de permeabilidade à umidade (K_m) ou difusividade de umidade (D_m) e da condutividade térmica, estando essas relacionadas às diferenças na taxa de secagem e na distribuição interna do conteúdo, para, então, calcular os processos de transporte de calor e massa (DEFRAEYE e VERBOVEN, 2017).

A K_m e a D_m estão relacionadas à capacidade de umidade (C_m) podendo ser determinada a partir da isoterma de sorção. Essa isoterma de sorção se trata de uma curva,

que em uma dada umidade relativa e temperatura fixa faz a relação de equilíbrio de uma quantidade de água sorvida por componentes do material biológico e a pressão de vapor (umidade relativa). Esses parâmetros de transporte (K_m e D_m) são determinados por: uma curva de perda de umidade, medida em combinação com uma solução analítica de camada fina desta curva de secagem baseada na lei de Fick (VELIĆ *et al.*, 2004; KAYA; AYDIN; DEMIRTAŞ, 2007; VEGA-GÁLVEZ *et al.*, 2012; ZLATANOVIĆ; KOMATINA; ANTONIJEVIĆ, 2013); por perfis de umidade ao longo de uma amostra, destrutivamente ou por imagem não destrutiva, e combinando esta informação com modelagem usando a lei de Fick (LÉONARD *et al.*, 2008; INYANG; OBOH; ETUK, 2018).

O conhecimento da difusividade aparente é importante nos processos que apresentam transferência de calor por condução, bem como, a relação tempo/temperatura na secagem de um alimento, a qual pode ser determinada se as condições de contorno de transferência de massa e a geometria do produto forem matematicamente representadas, e se a difusividade térmica aparente do alimento for conhecida (GAMA *et al.*, 2012). A difusividade, em termos gerais, está relacionada com o movimento aleatório das moléculas da matéria ao passo que é transportada no sistema, esse fenômeno, então, pode ser descrito através da modelagem matemática. Essa difusividade da água em diversas frutas submetidas ao pré-tratamento em ultrassom pode ser apresentada na Tabela 3.

Tabela 3 – Difusividade da água em diferentes tipos de frutas sujeitas ao pré-tratamento em banho ultrassônico.

Tipo de fruta	Tempo de pré-tratamento (min)	Difusividade da água (m ² /s)	Referências
Abacaxi	10	9,08 x 10 ⁻⁹	(FERNANDES;
	20	1,38 x 10 ⁻⁸	LINHARES;
	30	1,22 x 10 ⁻⁸	RODRIGUES, 2008)
Banana (<i>Musa ssp.</i>)	10	1,08 x 10 ⁻⁹	(FERNANDES e
	20	1,47 x 10 ⁻⁹	RODRIGUES, 2007)
	30	1,41 x 10 ⁻⁹	
Melão	20	6,42 x 10 ⁻⁹	(FERNANDES;
	30	6,97 x 10 ⁻⁹	GALLÃO; RODRIGUES, 2009a)
Sapoti	10	4,76 x 10 ⁻⁹	(RODRIGUES <i>et al.</i> ,
	20	5,80 x 10 ⁻⁹	2009)
	30	5,38 x 10 ⁻⁹	
Mamão	10	6,69 x 10 ⁻⁹	(FERNANDES;
	20	8,37 x 10 ⁻⁹	OLIVEIRA;
	30	8,07 x 10 ⁻⁹	RODRIGUES, 2007)
Jambo (<i>Syzygium</i> <i>malaccense</i>)	10	5,67 x 10 ⁻¹⁰	
	20	4,57 x 10 ⁻¹⁰	(OLIVEIRA, 2010)
	30	5,10 x 10 ⁻¹⁰	

Os processos de secagem foram realizados a 60 °C.

Fonte: elaborado pela autora.

2.6 Modelagem matemática

Na otimização das técnicas de secagem são desenvolvidos modelos matemáticos para ajustar parâmetros que irão melhorar a transferência de calor do processo (YOGENDRASASIDHAR e SETTY, 2018a), pois possibilitam a previsão desses parâmetros mais adequados para aprimoramento da secagem, reduzindo gastos e tempo de processo. Estudos indicam ser possível avaliar quantitativamente o impacto de todos os componentes envolvidos no processamento, tanto da secagem quanto da formulação e aplicação do revestimento, na perda de água da fruta e desse invólucro, com base em uma modificação da lei de difusão de Fick em termos de resistência (BASIAK *et al.*, 2019).

Diante disso, se enquadram os modelos matemáticos que são propostos objetivando descrever o processo de secagem de vários produtos alimentícios, possibilitando, assim, estimar o tempo necessário para redução do teor de água do produto em diferentes condições de secagem. A modelagem envolve o desenvolvimento de equações diferenciais parciais complexas de transferência de calor, massa e momento, as quais dependem das características do alimento, além de contribuírem para projetar

técnicas de secagem adequadas que resultem em produtos secos de boa qualidade (CASTRO; MAYORGA; MORENO, 2018).

A modelagem cinética pode ser estabelecida por vários modelos matemáticos que são utilizados em cada etapa do processo de secagem de modo diferente (MAGALHÃES, 2016). Nos períodos que apresentam taxa de cinética constante, é considerado a hipótese das transferências de massa e de calor serem equivalentes, com isso, as Equações 1 e 2 correspondem a forma de calcular as taxas de calor e de massa externas, respectivamente:

$$q = h \cdot A (T_{\infty} - T_{sup}) \quad (1)$$

$$N = K_c \cdot A (P_{sup} - P_{\infty}) \quad (2)$$

Na qual h e K_c são os coeficientes da camada limite de transferência de calor e de transferência de massa, respectivamente, A é a área superficial do alimento, T_{∞} e P_{∞} são a temperatura e a pressão de vapor no seio do fluido e T_{sup} e P_{sup} são a temperatura e pressão de vapor superficiais do alimento a ser seco.

Nesse processo, é considerado que o calor transferido é utilizado exclusivamente para a evaporação da água presente na fruta, então, com o intuito de mensurar a taxa de secagem foi deduzida a Equação 3:

$$N = \frac{h \cdot A (T_{\infty} - T_{sup})}{\lambda} \quad (3)$$

Na qual λ é a energia necessária para evaporar uma unidade de massa de água presente na fruta.

A taxa de secagem é determinada pelas resistências internas da amostra em processo de secagem, essas são aparentes na terceira fase da curva típica de secagem (Figura 1), portanto, essa taxa pode ser expressa pela Segunda Lei de Fick exposta na Equação 4:

$$\frac{\partial U}{\partial t} = - D_{ef} \cdot \nabla^2 \cdot U \quad (4)$$

Na qual U é o conteúdo de umidade em base seca e D_{ef} é a difusividade efetiva da água no sólido.

No estudo de Crank (1975) foram desenvolvidas várias soluções partindo da Lei de Fick para condições de contorno e parâmetros iniciais variados, porém, estas soluções são limitadas a materiais com geometrias simples como placas, cilindros, cubos e esferas. Esses modelos assumem as hipóteses de ocorrer pequena redução de volume do sólido, difusividade constante ou variação linear ao longo do processo de secagem. A solução modificada da Segunda Lei de Fick desenvolvida por Crank (1975) é mostrada através da Equação 5:

$$\frac{\partial U}{\partial t} = D_{\text{ef}} \left(\frac{\partial^2 U}{\partial x^2} + \frac{m}{x} \cdot \frac{\partial U}{\partial x} \right) \quad (5)$$

Na qual x é a distância de um ponto ao centro da fruta e m para situação de placa plana tem valor de 0 e para situação de cilindro e esfera é 1.

A Equação de Crank (1975) deduzida para geometria cúbica foi utilizada para equiparar os valores obtidos pelo modelo diferencial, além de ser a mais adequada ao processamento realizado no presente trabalho. Essa equação é dada pela Equação 6:

$$W = W_{\text{eq}} + (W_{\text{crit}} - W_{\text{eq}}) \left[\sum_{n=0}^{\infty} \frac{8}{(2n+1)^2 \pi^2} \cdot \exp\left(\frac{D (2n+1)^2 \pi^2 t}{4a^2}\right) \right]^3 \quad (6)$$

Na qual W_{eq} , W_{crit} e D são conteúdo de umidade de equilíbrio, umidade crítica e difusividade aparente, respectivamente. A umidade de equilíbrio é a quantidade mínima de água que o alimento precisa para manter sua estrutura, a ponto de se esta água for retirada ocorre a deterioração da célula. A umidade crítica corresponde ao valor de umidade que marca o final do processo de secagem, ou seja, na obtenção de um valor constante.

Os valores ajustados da difusividade no modelo algébrico, proposto por Crank (1975), foram utilizados como estimativa para os valores das difusividades do modelo diferencial utilizado neste trabalho.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Preparação das amostras

Maçãs (*Malus* spp. Granny Smith) foram adquiridas no comércio de Fortaleza - CE e levadas ao Laboratório de Biotecnologia (Labiotec) da Universidade Federal do Ceará (UFC). As frutas foram higienizadas e sanitizadas em solução clorada de 2 g/L, seca em pano limpo, cortada em cubos de dimensões, aproximadamente, 0,6 x 0,6 x 0,6 cm (comprimento, largura e altura).

3.1.1 Pré-tratamento em banho ultrassônico

O pré-tratamento foi realizado sob temperatura ambiente (27 °C) em banho ultrassônico (UNIQUE, modelo USC – 1400; Brasil; dimensões internas: 24 x 13,7 x 10 cm; volume: 2,8 L) sem agitação mecânica. A frequência ultrassônica foi de 40 kHz e a potência de 135 Watts RMS. As amostras cúbicas de maçãs frescas foram pesadas (aproximadamente 80 g) e imersas em água destilada uniformemente em dois béquers de vidro de 250 mL, visando evitar interferência entre as amostras e as operações.

A proporção de água para fruta foi mantida em 4:1 (v/m). Essa razão foi determinada com base em experimentos anteriores que apresentaram nessa proporção resultados de menor dissolução de sólidos solúveis na água após o pré-tratamento em ultrassom, considerando essa a razão mais adequada para minimizar perdas nessa operação (FERNANDES e RODRIGUES, 2007; FERNANDES, GALLÃO, RODRIGUES, 2009b; MIERZWA e KOWALSKI, 2016).

Os tempos de exposição dessas amostras à ondas ultrassônicas foram de 10, 20 e 30 min, conforme determinado pelo DCC (Tabela 4). No final do processamento as amostras foram drenadas e postas em papel absorvente por 5 min para remover o excesso de água e evitar a aderência das mesmas nas paredes do leito fluidizado, seguidas para pesagem e prontas para a próxima etapa de processamento.

3.1.2 Secagem no leito fluidizado

O leito fluidizado (Figura 1) consiste de um equipamento composto por um cilindro de vidro borossilicato, onde os *snacks* de maçã foram inseridos na parte superior

do equipamento e na parte inferior o ar quente é injetado promovendo a secagem e fluidização desses *snacks*. Esse equipamento gera uma operação em que esses *snacks* são suspensos por uma corrente ascendente de ar, onde o leito de partículas passa a comportar-se como um fluido.

A velocidade inicial da vazão do ar de secagem do leito fluidizado (LabMaq modelo MLF 100, Brasil) foi fixada em 0,80 m³/min, a temperatura foi ajustada em 30, 40 e 50 °C conforme estabelecido no DCC (Tabela 4). Ao longo do processo, a velocidade do ar de secagem foi reduzida a medida que as amostras ficavam mais leves, de 2,5 a 1,0 m/s, evitando que as mesmas fossem ejetadas para fora do equipamento, além de minimizar o gasto de energia do processo e trabalhar nas condições necessárias para produção de um produto seco seguro.

Durante o processo de secagem, em intervalos de 20 min, foram coletadas alíquotas com o auxílio de um tubo Falcon suspenso por um barbante e colocado dentro do leito na iminência de fluidização dos *snacks*, cerca de 1 g cada, para as análises de atividade de água (a_w) e umidade (U). Esses resultados foram utilizados para gerarem as curvas da cinética de secagem que auxiliam na determinação dos parâmetros otimizados para obtenção de um produto estável durante o armazenamento, como $a_w < 0,6$ ou $a_w \approx 0,4$ e $U < 15\%$ (GAVA *et al.*, 2008; SILVA *et al.*, 2010; PASCUAL-PINEDA *et al.*, 2014).

Os experimentos foram divididos em dois grupos: com e sem pré-tratamento em banho ultrassônico precedendo a secagem convectiva no leito fluidizado. As amostras foram colocadas sobre papel absorvente e deixadas em repouso por 5 min, para reduzir o máximo de água na superfície da fruta e evitar a aderência da mesma nas paredes do leito.

3.1.3 Planejamento estatístico

Este estudo consiste de duas etapas iniciais: a primeira correspondente ao pré-tratamento em banho ultrassônico que tem como objetivo otimizar o tempo de processamento e, conseqüentemente, reduzir o consumo total de energia da operação unitária, e a etapa seguinte é a da secagem em leito fluidizado o qual tem boa eficiência por gerar maior transferência de calor resultando no excelente contato entre o meio de secagem e o produto a ser processado. Portanto, o planejamento experimental para estas etapas foi gerado no software Statistica 10 (Statsoft). Na etapa de pré-tratamento em banho ultrassônico, objetivando definir a melhor condição para realizar o processo de

secagem das amostras, foram estudados os efeitos da combinação do tempo de exposição das amostras ao ultrassom e a temperatura de aquecimento do ar de secagem no leito fluidizado. Para isso, realizou-se o planejamento experimental do tipo Delineamento Composto Central de Face Centrada (DCCFC) de ordem 2^2 , com 2 variáveis independentes (tempo de pré-tratamento e temperatura de secagem). O design é composto por 11 experimentos, incluindo 8 fatoriais e 3 replicatas do ponto central, de acordo com a Tabela 4.

Tabela 4 – Delineamento Composto Central de Face Centrada dos tratamentos para a cinética de secagem desenvolvido no *software* Statistica 10.

Tratamento	Temperatura (°C)	Tempo de pré-tratamento (min)
1	30 (-1)	10 (-1)
2	30 (-1)	30 (+1)
3	50 (+1)	10 (-1)
4	50 (+1)	30 (+1)
5	30 (-1)	20 (0)
6	50 (+1)	20 (0)
7	40 (0)	10 (-1)
8	40 (0)	30 (+1)
9	40 (0)	20 (0)
10	40 (0)	20 (0)
11	40 (0)	20 (0)

Fonte: elaborado pela autora.

3.2 Estudo de recobrimento dos *snacks* de maçã desidratados

3.2.1 Preparo do recobrimento

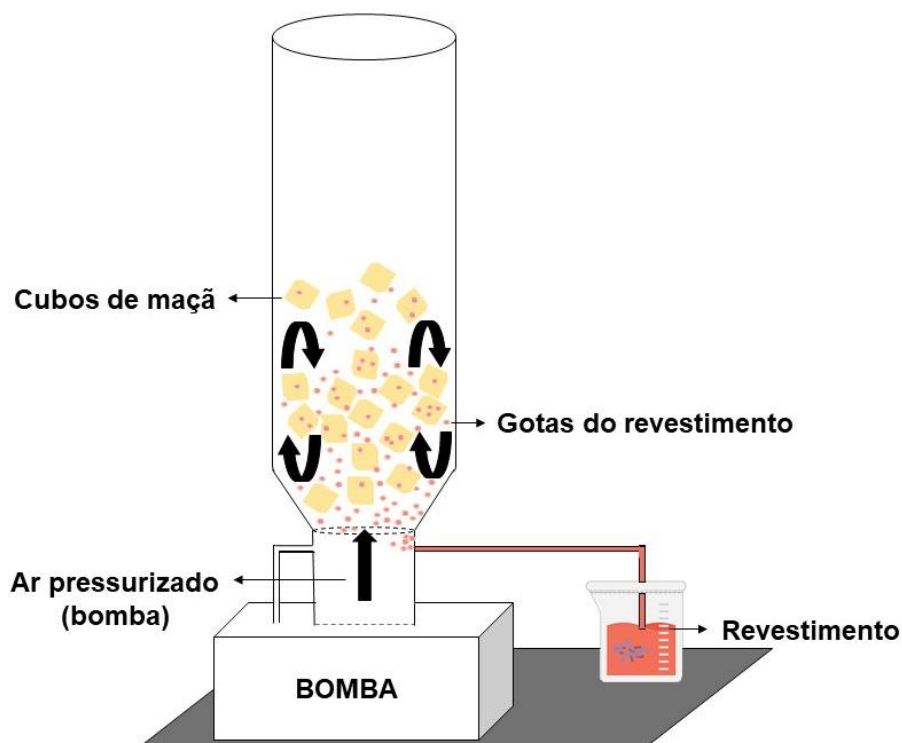
As formulações dos revestimentos foram definidas conforme estabelecido no DCCR da Tabela 5. Inicialmente a hidroxietilcelulose (HEC) foi pesada em balança analítica em um béquer de 50 mL, o plastificante polietilenoglicol (PEG) foi adicionado com auxílio de uma micropipeta monocanal de volume variável juntamente com 10 mL de água destilada. Essa solução foi aquecida em agitador magnético com aquecimento (NALGON, modelo: HOTLAB II; velocidade: 100 a 1400 rpm) em agitação de, aproximadamente, 200 rpm a temperatura de 50 °C, um termômetro foi usado para controlar a temperatura da solução evitando que excedesse os 50 °C, e esse processo se deu no tempo de aproximadamente 5 min.

3.2.2 Adição do recobrimento durante a secagem

O revestimento foi aplicado após a secagem atingir o parâmetro adequado para produtos secos seguros, que significa as amostras apresentarem a atividade de água (a_w) $\leq 0,4$ (ZAMBRANO *et al.*, 2019). Quando esse parâmetro é alcançado, a aplicação do revestimento no leito fluidizado é iniciada. O revestimento foi formulado logo após o início do processamento de secagem das amostras. Esse revestimento é sorvido por uma mangueira conectada a uma bomba peristáltica acoplada na parte inferior do leito fluidizado, sendo aplicado por aspersão no interior do leito através de um bico injetor, o qual corresponde ao mesmo da saída do ar de secagem, e esse ar propulsiona a aspersão do revestimento dentro do leito (Figura 4). Essa bomba foi ajustada com vazão de 0,8 mL/min, e, para potencializar o fluxo de ar dentro do leito, foi anexada uma bomba com pressão positiva e vazão de 1000 mL/min. O volume do revestimento foi de 10 mL e o tempo de aplicação do mesmo foi de 10 min.

Durante a aplicação do revestimento, o fluxo de ar foi ajustado para garantir que as amostras mantenham fluidização adequada e prossigam a secagem até atingir novamente a $a_w \leq 0,4$, decorrendo o tempo de 30 min, garantindo, assim, que o produto se mantenha estável durante o armazenamento em temperatura ambiente (30 °C).

Figura 4 – Ilustração esquemática da aplicação do revestimento com probiótico nas amostras de *snacks* de maçã secos em leito fluidizado.



Fonte: elaborado pela autora.

3.2.3 Planejamento experimental

Nesta etapa de formulação dos revestimentos, com intuito de julgar a melhor solução, foram analisados os efeitos da interação da concentração de hidroxietilcelulose (HEC) e polietilenoglicol (PEG) 400. Para tal, foi estabelecido um planejamento experimental do tipo Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR) com 2 variáveis independentes (concentração de HEC e de PEG). O planejamento foi composto de 11 experimentos, incluindo 4 fatoriais, 4 axiais e 3 replicatas do ponto central, conforme estabelecido na Tabela 5.

Tabela 5 - Delineamento Composto Central Rotacional dos revestimentos desenvolvido no *software* Statistica 10.

Revestimento	Hidroxietilcelulose (g)	Polietilenoglicol (μ L)
1	0,05 (-1)	5,0 (-1)
2	0,05 (-1)	20,0 (+1)
3	0,15 (+1)	5,0 (-1)
4	0,15 (+1)	20,0 (+1)
5	0,03 (-1,41)	12,5 (0)
6	0,17 (+1,41)	12,5 (0)
7	0,10 (0)	1,89 (-1,41)
8	0,10 (0)	23,11(+1,41)
9	0,10 (0)	12,5 (0)
10	0,10 (0)	12,5 (0)
11	0,10 (0)	12,5 (0)

Fonte: elaborado pela autora.

3.2.4 Análise de imagens dos snacks de maçã após incorporação do revestimento

No final da formulação dos revestimentos, foi adicionada uma gota de corante de coloração roxa, para que esse revestimento pudesse ser visualizado na superfície dos snacks revestidos. Portanto, ao final do processamento de secagem foram coletadas algumas dessas amostras. Desses *snacks* de maçã incorporados com revestimento foram capturadas imagens através de uma câmera posicionada, com o auxílio de uma régua graduada, no mesmo ângulo e altura para analisar quanto do revestimento ficou aderido sobre as amostras (Figura 5). A análise dessas imagens foi realizada em *software* Motic Images Plus 2,0.

Figura 5 – *Snacks* de maçã após incorporação do revestimento e secos no leito fluidizado.



Fonte: elaborado pela autora.

O *software* delimita a área da imagem, sendo inicialmente delimitada a área total da amostra em estudo, e, posteriormente, foram delimitadas as regiões específicas onde o revestimento se aderiu a essa amostra. As áreas das regiões com o revestimento foram somadas e calculada a porcentagem dessa soma em relação a área total da amostra. Essa análise foi realizada em quintuplicada para cada revestimento do DCCR (Tabela 5). Concluída essa etapa, foi julgado o revestimento que melhor se aderiu nas amostras e apresentou maior porcentagem da área total das mesmas.

3.3 Estudo da incorporação de probióticos em *snacks* de maçã desidratados

3.3.1 Produção de probiótico

3.3.1.1 Preparação de estoque do Bacillus coagulans

O *Bacillus coagulans* GBI-30,6086 (GanedenBC30) em pó foi ativado por 24 h a 39 °C, com agitação de 200 rpm em incubadora shaker (SOLAB), em frascos Erlenmeyer de 250 mL com 100 mL de meio de cultura TGY contendo: 0,5 g/100 mL de extrato de levedura (HIMEDIA), 0,5 g/100 mL de triptona, 0,1 g/100 mL de K₂HPO₄ (Vetec Química Fina Ltda) e 0,1 g/100 mL de dextrose (HIMEDIA). A cultura em estoque foi preparada adicionando glicerol estéril (50% v/v) à cultura ativada. Essa cultura de estoque em glicerol foi armazenada congelada (-20 °C) em tubos criogênicos de 2 mL com tampa de rosca esterilizados contendo 1,5 mL de cultura em suspensão.

3.3.1.2 Preparação de inóculo do Bacillus coagulans

O preparo da biomassa probiótica surgiu a partir de uma cultura estoque de *Bacillus coagulans* GBI-30,6086 (GanedenBC30), mantida a - 20 °C em glicerol 50% (v/v). Essa biomassa foi inoculada em frascos Erlenmeyer de 250 mL com 100 mL de meio TGY. Após incubação a 39 °C por 24 h, com agitação de 200 rpm em incubadora shaker (SOLAB), foi realizada uma centrifugação a 3000 g/15 min. Em seguida, o sobrenadante foi descartado e a biomassa foi inoculada em frascos Erlenmeyer de 250 mL com 100 mL de meio esporogênico baseado no meio padrão FDA contendo: 5

mL/1000 mL de milhocina (CSL), 1g /1000 mL de dextrose, 0,056 g/1000 mL de $MnSO_4$, 0,05 g/1000 mL de $CaCO_3$ e 0,5 g/1000 mL de $(NH_4)_2SO_4$.

Decorrido os 9 dias da esporulação do *B. coagulans*, esse meio com a biomassa foi dividido em tubos Falcon esterilizados e centrifugada a 3000 g por 15 min, em seguida foi adicionado o mesmo volume de meio de solução tampão estéril (4 g/500 mL de NaCl, 0,1 g/500 mL de KCl, 0,71 g/500 mL de Na_2HPO_4 e 0,12 g/500 mL de KH_2PO_4) e essa biomassa foi lavada duas vezes com esta solução. Essa biomassa suspensa em solução tampão estéril foi aquecida em banho-maria a 80 °C por 10 min para eliminar possíveis células vegetativas e, por fim, armazenada em refrigeração para ser usada na preparação dos revestimentos.

Uma alíquota de 1 mL foi transferida para um *eppendorf* seguida da centrifugação (3000 g por 15 min), o sobrenadante foi descartado, a biomassa coletada com uma alça de platina para esfregaço e preparada uma lâmina com a técnica para coloração de esporos (Wirtz-Conlin) com observação em microscópio na objetiva de 40x resultando na detecção dos esporos corados de verde (verde de malaquita) e demais estruturas vegetativas coradas de vermelho (safranina) para confirmar a eficiência do processo de esporulação.

3.3.2 Incorporação do *Bacillus coagulans* no revestimento

Os revestimentos apresentados pelo DCCR (Tabela 5) foram testados previamente para concluir qual o mais adequado na aplicação deste trabalho. O revestimento que mais se adequou quanto a aspersão no leito fluidizado e a impregnação nas amostras foi o determinado após análise estatística, com concentrações de HEC e PEC de 0,125 g e 11,7 μ L, respectivamente. A incorporação do probiótico (esporos do *B. coagulans*) no revestimento foi testada de duas formas: no Teste 1, a solução estoque de biomassa em solução tampão estéril foi centrifugada (3000 g/15 min), descartado o sobrenadante e adicionando ao revestimento, já formulado, seguida da homogeneização em agitador; no Teste 2, a solução estoque de biomassa em solução tampão estéril foi centrifugada (3000 g/15 min), descartado o sobrenadante e adicionando 10 mL de água destilada seguida da homogeneização em agitador, e esta solução foi adicionada substituindo a água da formulação do revestimento.

Antes da aplicação desses revestimentos nas amostras em leito fluidizado, foi coletada uma alíquota de 100 μ L, em cada teste, aplicando diluição seriada (10^{-1} , 10^{-2} , 10^{-3}).

³, 10^{-4} e 10^{-5}) em solução tampão estéril. Uma alíquota de 100 μL dessa diluição foi coletada para contagem na câmara de Neubauer para confirmar que a quantidade de esporos está na faixa considerada como de probiótico, os quais serão aplicados na solução de revestimento antes desse processamento. Esse revestimento foi incorporado com 8,0 log UFC/mL, essa concentração foi escolhida com base na recomendação para alimentos probióticos: contagem mínima de 7,0 log UFC/mL para melhor eficácia na regulação dos efeitos benéficos (PEREIRA; MACIEL; RODRIGUES, 2011).

3.4 Análises físico-químicas e microbiológicas

3.4.1 Análises físico-químicas

3.4.1.1 Atividade de água

A atividade da água foi determinada a 25 °C nas amostras frescas e secas pelo conversor de temperatura e umidade com a função de medição da atividade da água AquaLab (Decagon, modelo 3TE, EUA; alcance: 0,03 - 1,00 a_w ; precisão: 0,003 a_w). Cerca de 1 g da amostra foi colocada na câmara desse equipamento. O valor da atividade de água foi lido quando o equilíbrio foi estabelecido.

3.4.1.2 Teor de umidade

O teor de umidade foi determinado pelo método direto, onde se quantifica o peso decorrente da perda de água por evaporação através da balança de umidade por infravermelho (MARCONI, modelo ID50, Brasil). Foram analisadas amostras frescas e secas, as quais foram pesadas cerca de 1 g (alíquota) em placas de alumínio no mesmo equipamento. Cada alíquota de maçã em cubos foi aquecida a 105 °C em um tempo miscível (variação de 0,01 g por 30 s), esses fatores foram definidos pela calibração da balança de umidade. O percentual de água na amostra foi dado pela diferença das massas da água analisada ($m_i - m_f$). O processo se deu até peso constante, que é indicado quando a balança estabiliza sem uma variação de 0,01 g no intervalo de 30 segundos.

3.4.1.3 Cálculos do ganho de água e perda de sólidos durante o pré-tratamento em banho ultrassônico

Os cálculos de ganho de água e perda de sólidos foram baseados no peso, no teor de umidade e no teor de sólidos (açúcar) dos cubos de maçã por diferença de peso e da água como meio líquido em que as amostras foram imersas durante o processamento. O ganho de água (GA) e a perda de sólidos (PS) foram determinados pelas Equação 7 e 8, respectivamente:

$$GA = \left(\frac{(M_f^{US} \cdot X_{US}^W) - (M_i^{US} \cdot X_C^W)}{M_i} \right) \times 100\% \quad (7)$$

$$PS = \left(\frac{(M_i^{US} \cdot X_C^S) - (M_f^{US} \cdot X_{US}^S)}{M_i^{US} \cdot X_C^S} \right) \times 100\% \quad (8)$$

Nas quais, M_i^{US} e M_f^{US} são os pesos das amostras antes e após ultrassom, respectivamente; X_{US}^W corresponde a umidade das amostras após ultrassom dada pela diferença dessas massas $\left(\frac{M_i^{US} - M_f^{US}}{M_i^{US}} \right)$; X_{US}^S corresponde a fração de sólidos das amostras após ultrassom $(1 - X_{US}^W)$; X_C^W corresponde a umidade das amostras controle, ou ao percentual de água nas amostras iniciais, dada pela diferença das massas antes (M_i) e após (M_f) o processo sem ultrassom $\left(\frac{M_i - M_f}{M_i} \right)$; X_C^S é a fração de sólidos das amostras controle dada por $(1 - X_C^W)$.

3.4.1.4 Difusividade da água

Os dados de atividade de água e umidade coletados ao longo do processo de secagem foram usados para calcular a difusividade da água dos cubos de maçãs durante processamento em leito fluidizado, de acordo com a Lei de Fick da difusão, cujo cálculo foi realizado com auxílio do *software* Origin 8. A equação utilizada para calcular essa difusividade foi baseada na Equação de Crank (1975) e expressa na Equação 9, a qual foi aplicada no *software* Origin 8:

$$W = W_{eq} + (W_{crit} - W_{eq}) \left[\sum_{n=0}^{\infty} \frac{8}{(2n+1)^2 \cdot \pi^2} \cdot \exp\left(\frac{D(2n+1)^2 \cdot \pi^2 \cdot t}{4a^2}\right) \right]^3 \quad (9)$$

Na qual W_{eq} , W_{crit} e D são conteúdo de umidade de equilíbrio, umidade crítica e difusividade aparente, respectivamente. A umidade de equilíbrio é a quantidade mínima

de água que o alimento precisa para manter sua estrutura, a ponto de se esta água for retirada ocorre a deterioração da célula.

3.4.1.5 Quantificação do teor de fenólicos totais

3.4.1.5.1 Extrato

Foram pesadas 5 g de amostra seca referente às maçãs *in natura*, maceradas, adicionados 10 mL de etanol 96% e homogeneizada em Ultra-Turrax T25 Digital (IKA, Alemanha) a 13000 rpm por 2 min, até formar uma pasta. Em seguida, a amostra foi filtrada em filtro *Whatman*, transferida para um tubo de ensaio e mantida em banho de gelo.

3.4.1.5.2 Teor de fenólicos totais

A análise de fenólicos totais foi realizada de acordo com a metodologia de Singleton, Orthofer e Lamuela-Raventós (1999), com modificações. A determinação desta análise foi realizada através do método de Folin-Ciocalteu, o qual consiste dos ácidos fosfotúngstico e fosfomolibdico que ao reagir com os compostos fenólicos ocorre dissociação de um próton fenólico levando a formação do ânion fenolato, sendo este capaz de reduzir o reagente, formando o complexo azul de molibdênio (HUANG *et al.*, 2005).

A leitura foi realizada utilizando 0,100 mL da amostra filtrada adicionada a 0,200 mL da solução de Folin-Ciocalteu (Sigma) e 2 mL de água destilada. Após 3 min à temperatura ambiente, foi adicionado 1 mL de solução de carbonato de sódio (20% w/v), agitado rapidamente e feito a leitura. A absorbância foi lida em espectrofotômetro UV-Vis Spectrophotometers Evolution 201 (Thermo Scientific, China) com comprimento de onda a 765 nm contra um branco de água, e o conteúdo de fenólicos totais calculado utilizando uma curva-padrão de ácido gálico.

3.4.1.6 Atividade enzimática

3.4.1.6.1 Extrato

Foram pesadas 5 g de amostra seca referente às maçãs *in natura*, maceradas, adicionados 10 mL de tampão fosfato pH 7,0 com polivinilpirrolidona (PVP) 1% (p/v), visando inibir os compostos fenóis que podem interferir na determinação da atividade enzimática. Em seguida, homogeneizada em Ultra-Turrax T25 Digital (IKA, Alemanha) a 13000 rpm por 2 min, até formar uma pasta. Essa pasta foi centrifugada em centrífuga Sigma (modelo 2-16 KL, Alemanha) a 10000 rpm por 20 min, o sobrenadante foi transferido para um tubo de ensaio e mantido em banho de gelo.

3.4.1.6.2 Peroxidase (POD)

A atividade da peroxidase foi realizada conforme metodologia apresentada por Wissemann e Lee (1980), com modificações. Essa análise foi determinada usando guaiacol como substrato para a enzima e H_2O_2 (0,3%) como doador para formação de radicais livres. A leitura foi determinada em proporções de 0,60 mL de amostra, 1,00 mL de solução 0,10 M de tampão fosfato-citrato com pH 5,0 com guaiacol e 0,10 mL de H_2O_2 0,3%. A absorbância foi lida em espectrofotômetro UV-Vis Spectrophotometers Evolution 201 (Thermo Scientific, China) com comprimento de onda a 470 nm contra água como controle, leitura realizada a cada 1 min por 10 min. A atividade da POD foi proporcional ao coeficiente angular da reta do gráfico da absorbância em função do tempo.

3.4.1.6.3 Polifenoloxidase (PPO)

A atividade da polifenoloxidase foi realizada conforme metodologia apresentada por Matsuno e Uritani (1972), com modificações. Essa análise foi determinada usando catecol (0,02 mol/L) como substrato para a enzima. A leitura foi determinada em proporções de 0,30 mL de amostra e 1,85 mL de solução 0,10 M de tampão fosfato pH 6,0 com catecol. A absorbância foi lida em espectrofotômetro UV-Vis Spectrophotometers Evolution 201 (Thermo Scientific, China) com comprimento de onda

a 395 nm contra água como branco, leitura realizada a cada 1 min por 10 min. A atividade da PPO foi proporcional ao coeficiente angular da reta do gráfico da absorbância em função do tempo.

3.4.1.7 Capacidade antioxidante

3.4.1.7.1 Extrato para análise de DPPH

Foram pesadas 5 g de amostra seca referente às maçãs *in natura*, maceradas, adicionados 10 mL de metanol e homogeneizado em Ultra-Turrax T25 Digital (IKA, Alemanha) a 13000 rpm por 2 min, até formar uma pasta. Em seguida, esta pasta foi centrifugada em centrífuga Sigma (modelo 2-16 KL, Alemanha) a 5000 rpm por 5 min, o sobrenadante foi transferido para um tubo de ensaio e mantido em banho de gelo.

3.4.1.7.2 Determinação da capacidade de eliminação de radicais DPPH

A capacidade antioxidante das amostras foi avaliada pelo método descrito por Odriozola-Serrano, Soliva-Fortuny e Martín-Belloso (2008) com modificações, o qual determina o efeito da eliminação dos radicais livres de um extrato de amostra sobre o 2,2-difenil-1-picril-hidrazil (DPPH). Essa análise resulta em uma estimativa da capacidade antioxidante global da amostra, por não especificar nenhum composto antioxidante presente. A solução de trabalho foi preparada com 0,024 g DPPH (Sigma) diluído em 100 mL de metanol. A leitura foi determinada em proporções de 0,030 mL de amostra e 1,20 mL de solução de DPPH. A absorbância foi lida em espectrofotômetro UV-Vis Spectrophotometers Evolution 201 (Thermo Scientific, China) com comprimento de onda a 515 nm contra um branco de metanol. A capacidade antioxidante foi calculada como a porcentagem de inibição do radical DPPH em relação à quantidade inicial em uma solução de DPPH em branco com 100 mL de água.

3.4.1.8 Análise de vitamina E

3.4.1.8.1 Extrato

Foi pesado 1 g de amostra seca referente às maçãs *in natura*, macerado, adicionado 6 mL de água destilada e homogeneizado em Ultra-Turrax T25 Digital (IKA, Alemanha) a 13000 rpm por 2 min, até formar uma pasta. Em seguida, foi adicionado 1 mL de solução 0,50 M de NaOH, deixado em banho termostático TE-2005 (TECNAL) a 70 °C por 30 min, resfriado, adicionado 5 mL de hexano como solvente de extração e homogeneizado em agitador em vortex.

3.4.1.8.2 Vitamina E

A análise de vitamina E foi avaliada pelo método descrito por Fernandes *et al.* (2015a), com algumas modificações, analisadas qualitativamente pela leitura em espectrofotômetro UV-Vis Spectrophotometers Evolution 201 (Thermo Scientific, China) com comprimento de 215 nm contra um branco de hexano. A leitura da amostra é realizada da fase hexano (sobrenadante) do extrato.

3.4.2 Análises microbiológicas

3.4.2.1 Contagem de células viáveis após o preparo do inóculo de *Bacillus coagulans*

A biomassa em solução tampão estéril foi homogeneizada, coletada com uma alça metálica, realizado o esfregaço em lâmina microscópica e fixado na chama de bico de Bunsen, em seguida foi realizada a técnica para coloração de esporos (Wirtz-Conlin), em que inicialmente adicionou-se verde malaquita 5% para cobrir a região do esfregaço na lâmina e esta foi aquecida em vapor de água por 5 min. Em seguida, a lâmina foi lavada suavemente com água destilada e secada com calor, sendo contra corada com solução de safranina por 1 min, por fim, foi lavada com água destilada suavemente, secada e observada em microscópio com objetiva de 40x para detecção dos esporos corados de verde (verde de malaquita) e demais estruturas vegetativas coradas de vermelho (safranina).

Uma alíquota da solução de biomassa de *B. coagulans* em solução tampão estéril foi diluída 1:2 para análise na câmara de Neubauer, em que são contados esporos em 5 quadrantes e no final é feita a contagem de células/mL.

Outro método de contagem de células foi realizado para validar a técnica de contagem pela câmara de Neubauer segundo Wang *et al.* (2009) com adaptações. Nesse método, a solução de biomassa foi transferida para um tubo de ensaio grande estéril com tampa rosqueada e aquecido em banho-maria a 80 °C/10 min. Dessa solução foi coletada 1 mL para uma diluição seriada (10^{-1} , 10^{-2} , 10^{-3} , 10^{-4} e 10^{-5}) em solução tampão estéril. Foram separadas 3 placas para cada diluição com meio TGY adicionado de 1,5% de Ágar, sendo aplicado 0,1 mL da solução diluída em cada placa, espalhada com alça de Drigalski e, por fim, incubadas a 37 °C por 24 h em estufa incubadora BOD antes da contagem das colônias para permitir que as células inativas formassem células viáveis (Figura 6). O número de colônias presentes em todas as placas foi calculado conforme a técnica *spread-plate* e o resultado foi apresentado como UFC/mL.

Figura 6 – Colônias de *Bacillus coagulans* em placa com meio TGY adicionado 1,5% de Ágar.



Fonte: elaborado pela autora.

3.4.2.2 Contagem de células viáveis dos *Bacillus coagulans* nos snacks de maçã após processamento em leite fluidizado

O número de células viáveis nos *snacks* de maçã foi determinado, colocando 3 g de amostra em um saco (Stomacher Bag) contendo 18 mL de solução salina estéril e, posteriormente, realizando a homogeneização dessa mistura em um ciclo. Em seguida, foram realizadas diluições seriadas (10^{-1} a 10^{-6}) de cada amostra, colocando-as em placas com meio TGY adicionado de 1,5% de Ágar e incubando a 37 °C durante 24 h, experimento realizado em triplicado. O número de células viáveis foi determinado como unidades formadoras de colônia (UFC), os resultados foram expressos como UFC/g (RODRIGUES *et al.*, 2018) e expressos em porções de 30 g como UFC/30g.

3.5 Análise de *shelf-life* dos *snacks* de maçã desidratados incorporados com probiótico

As maçãs foram adquiridas em períodos diferentes por decorrência dos limites do equipamento e da logística para o armazenamento e a realização das análises. Resultando, assim, na repartição em quatro lotes subdivididos a cada três períodos (0 a 14 dias, 21 a 35 dias, 42 a 60 dias, 70 e 90 dias), com exceção dos períodos de 70 e 90 dias derivados do mesmo lote de frutas. Essas maçãs foram cortadas em cubos de dimensões, aproximadamente, 0,6 x 0,6 x 0,6 cm (comprimento, largura e altura) secas em leite fluidizado e seguida da aplicação do revestimento probiótico ao mesmo instante que prosseguia a secagem nesse leite fluidizado, resultando nos *snacks* de maçã incorporados com probiótico.

Esses *snacks* foram acondicionados em embalagens de polietileno combinado com alumínio laminado, a qual proporciona uma barreira contra absorção de luz, oxigênio e odores, separadas em porções de *snacks* equivalente a 30 g dos cubos de maçã *in natura*, seladas em seladora e armazenadas em temperatura ambiente (27 °C). Essa porção foi determinada com base no peso dos *snacks* de maçã secos ao final de cada processamento de secagem em leite fluidizado. Essas amostras foram analisadas a cada semana, após o período de 60 dias, foram realizadas duas análises no intervalo de 15 dias, totalizando 90 dias. No *shelf-life* foram realizadas análises de atividade enzimática de polifenoloxidase (PPO) e peroxidase (POD), determinação da capacidade antioxidante pelo método do DPPH, quantificação de fenólicos totais e vitamina E.

3.6 Análise estatística

Os resultados foram avaliados por meio de análise de variância (ANOVA), testados e estatisticamente verificados pelo teste de Tukey, os intervalos de diferença de significância mínima foram julgados de acordo com o valor de p , que foi estabelecido em nível de significância de 5% ($p < 0,05$). Esses resultados também foram analisados quanto a superfície de resposta e diagrama de Pareto. Objetivando analisar se o modelo matemático foi estatisticamente significativo foi realizado o teste de F pela análise de variância da ANOVA, onde o valor de F calculado (F_{cal}) pelo modelo deve ser maior do que o F tabelado (F_{tab}). A análise estatística foi realizada utilizando o software *Statistica* versão 10 (*Statsoft*).

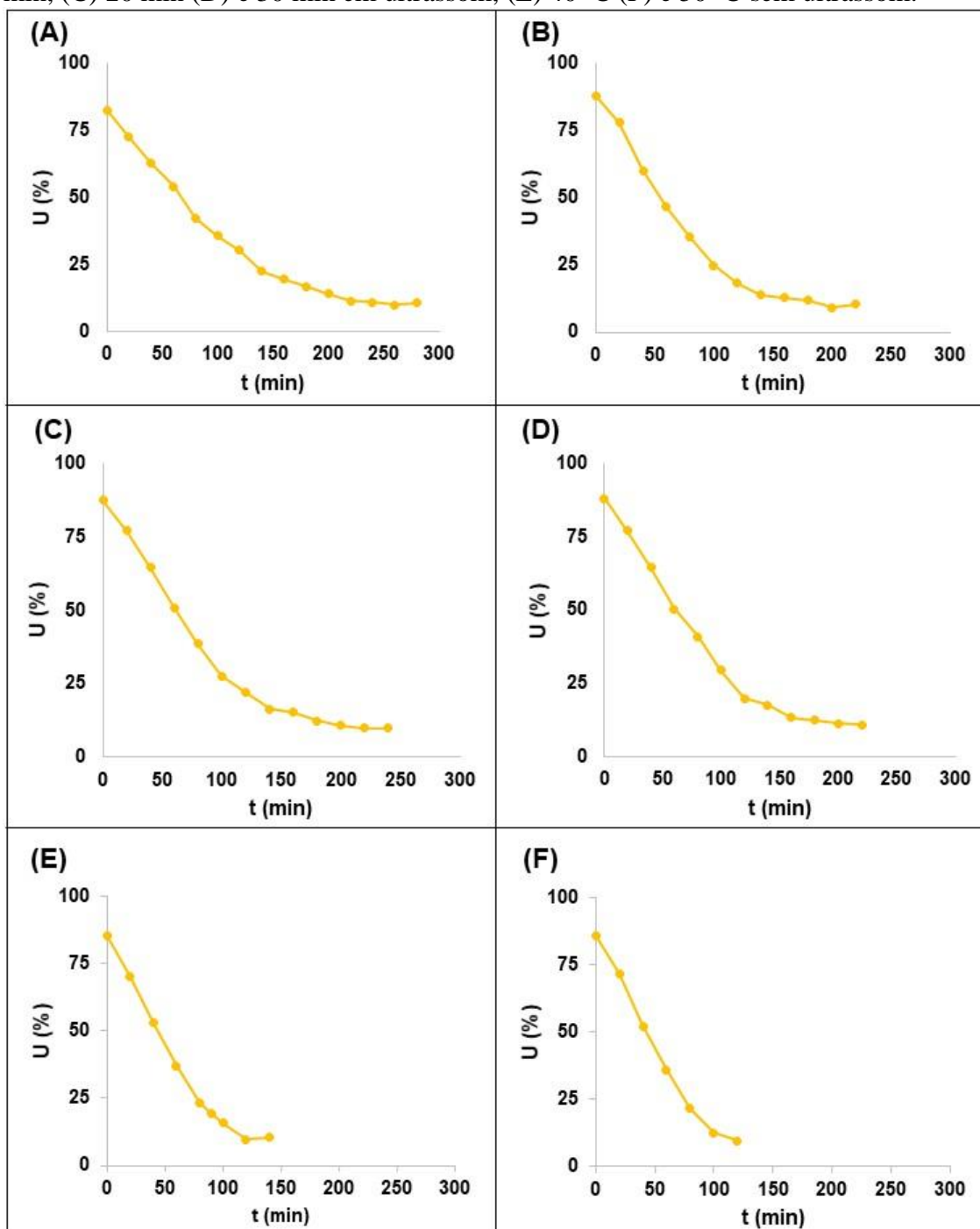
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Estudo da secagem em leito fluidizado e influência do ultrassom como pré-tratamento

O estudo da cinética de secagem foi importante para avaliar o comportamento dos *snacks* de maçã no leito fluidizado objetivando identificar a melhor condição operacional que será utilizada nas etapas de secagem e de aplicação do revestimento incorporado com probiótico nesses *snacks* com o intuito de otimizar os processos desse trabalho. Na Tabela 6, observa-se os resultados de atividade de água e umidade base úmida nos tratamentos determinados pelo DCCFC (Tabela 4). A atividade de água e a umidade em base úmida iniciais dos cubos maçãs frescas utilizadas foram de $0,987 \pm 0,00$ e $84,77 \pm 1,23\%$, respectivamente.

A Figura 7 apresenta a variação da umidade das amostras em relação ao tempo de processamento nos diferentes tratamentos com secagem a 30 °C sem ultrassom (Figura 7A), com 10 min (Figura 7B), 20 min (Figura 7C) e 30 min (Figura 7D) de ultrassom, além dos tratamentos com secagem sem ultrassom a 40 °C (Figura 7E) e a 50 °C (Figura 7F). A aplicação do ultrassom tem como objetivo aprimorar esse processo de secagem, devido as suas propriedades mecânicas e cavitacionais resultando na formação dos microcanais no interior da maçã, que podem facilitar o movimento da água na parte interna e na superfície de fruta, reduzindo, assim, o consumo de energia e preservando a qualidade do produto seco (SABAREZ; GALLEGUO-JUAREZ; RIERA, 2012; TAO *et al.*, 2018).

Figura 7 – Curvas de cinética de secagem da umidade em função do tempo de processamento correspondente a temperatura de: (A) 30 °C sem ultrassom, (B) com 10 min, (C) 20 min (D) e 30 min em ultrassom, (E) 40 °C (F) e 50 °C sem ultrassom.



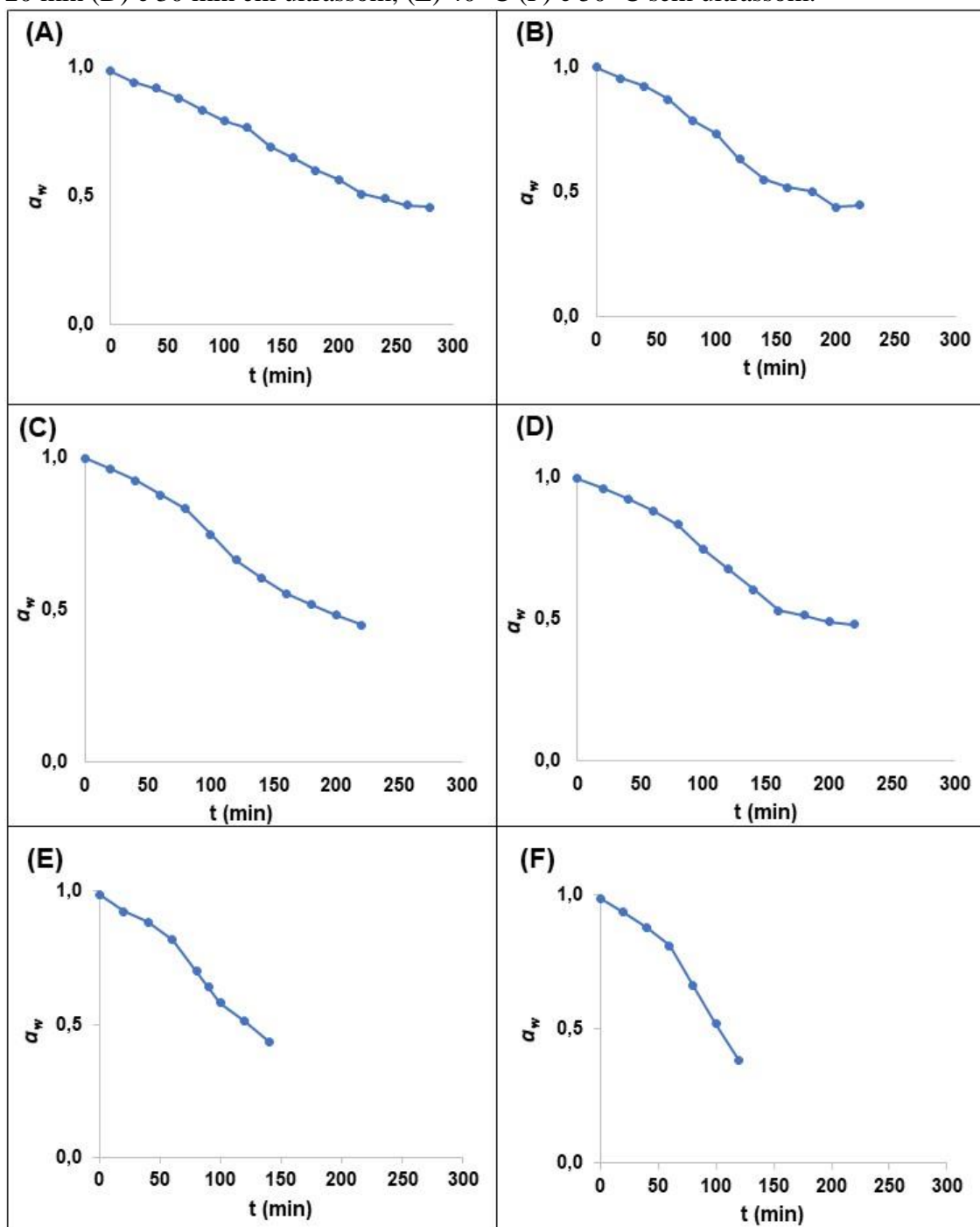
Fonte: elaborado pela autora.

O ultrassom influenciou na redução do tempo de secagem nos tratamentos a 30 °C quando comparado com o tratamento sem ultrassom, o qual apresentou $10,59 \pm 0,51\%$ de umidade no tempo de 280 min de secagem (Figura 7A). Logo, os tratamentos com ultrassom a 10, 20 e 30 min reduziram o tempo de secagem para 220 min obtendo os

valores de $10,51 \pm 1,36\%$ (Figuras 7B), $9,87 \pm 0,52\%$ (Figura 7C) e $10,85 \pm 0,88\%$ (Figura 7D) de umidade, respectivamente. Os tratamentos sem ultrassom a $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Figura 7E) e $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Figura 7F) tiveram tempo de secagem encerrados em 140 e 120 min e apresentaram como valores $10,32 \pm 0,84\%$ e $9,49 \pm 1,43\%$ de umidade, respectivamente. Portanto, o tratamento a $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ mesmo sem pré-tratamento em ultrassom apresentou melhor resultado dentre os demais apresentados na Figura 7 por ser um valor de umidade menor que 10% ($9,49 \pm 1,43\%$), o qual evita o crescimento microbiano (ZAMBRANO *et al.*, 2019), garantindo maior eficiência dessa secagem, além de menor tempo de processamento (120 min).

A Figura 8 apresenta a variação da atividade de água das amostras em relação ao tempo de processamento nos diferentes tratamentos com secagem a $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ sem ultrassom (Figura 8A), com 10 min (Figura 8B), 20 min (Figura 8C) e 30 min (Figura 8D) em ultrassom, além dos tratamentos com secagem sem ultrassom a $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Figura 8E) e a $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Figura 8F). A atividade de água de um produto seco seguro deve constar valores menores que 0,60 para evitar contaminação microbiológica (ZAMBRANO *et al.*, 2019) e perdas da qualidade durante o armazenamento em temperatura ambiente.

Figura 8 – Curvas de cinética de secagem da atividade de água em função do tempo de secagem correspondente a temperatura de: (A) 30 °C sem ultrassom, (B) com 10 min, (C) 20 min (D) e 30 min em ultrassom, (E) 40 °C (F) e 50 °C sem ultrassom.



Fonte: elaborado pela autora.

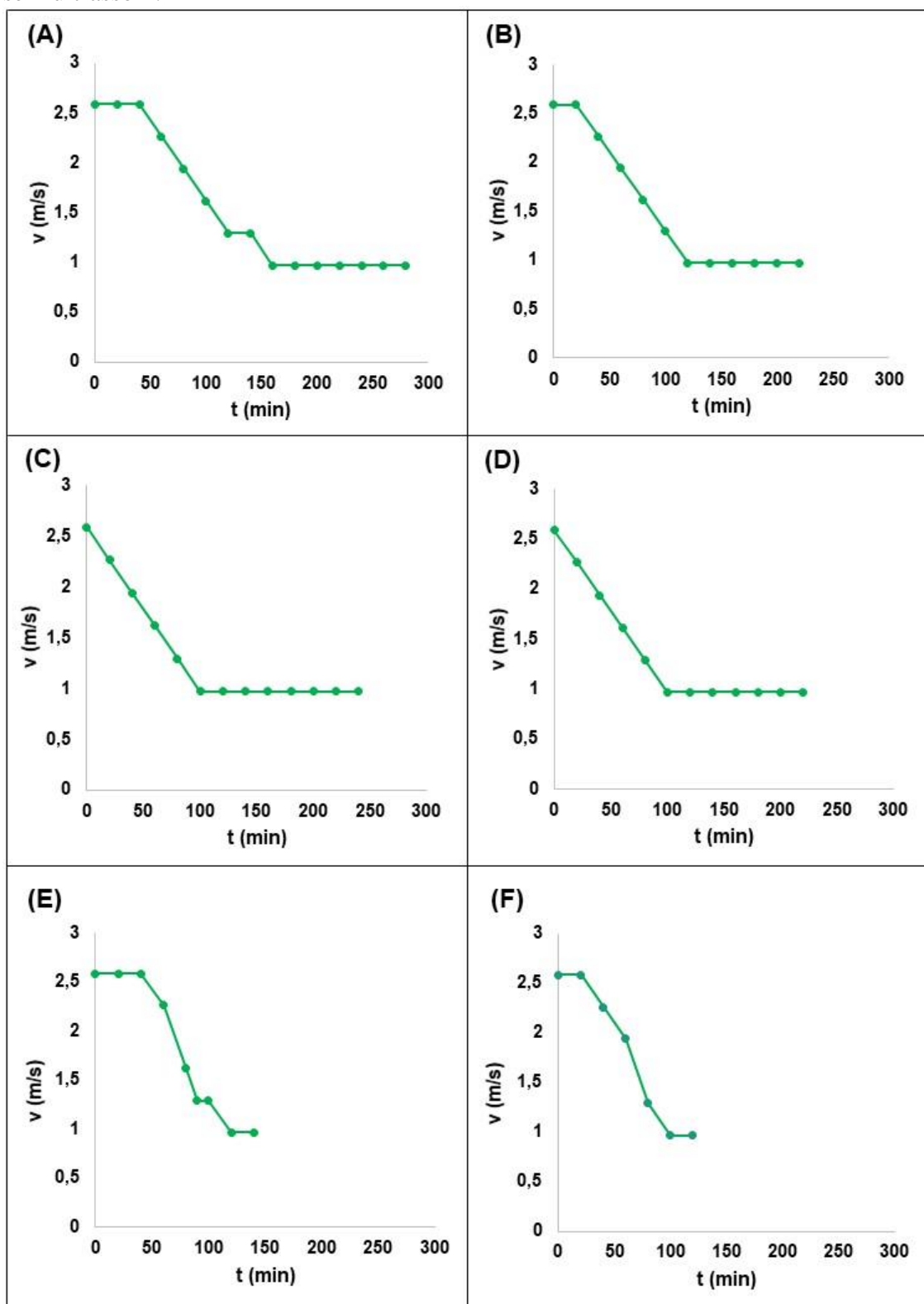
A curva do gráfico da Figuras 8F apresenta maior inclinação negativa indicando maior redução da variável do eixo y (atividade de água – a_w) em relação a variável do eixo x (tempo de processamento) resultando em uma resposta mais rápida para a atividade de água em relação ao tempo neste tratamento.

O ultrassom contribuiu para a redução do tempo de processamento nos tratamentos com temperatura de 30 °C quando comparado com o tratamento sem ultrassom, o qual apresentou $0,455 \pm 0,02$ de atividade de água no tempo de 280 min de secagem (Figura 8A). Portanto, os tratamentos com ultrassom a 10, 20 e 30 min reduziram o tempo de secagem para 220 min obtendo os valores de $0,448 \pm 0,03$ (Figuras 8B), $0,450 \pm 0,02$ (Figura 8C) e $0,481 \pm 0,02$ (Figura 8D) de atividade de água, respectivamente.

Os tratamentos sem ultrassom a 40 °C (Figuras 8E) e 50 °C (Figura 8F) tiveram tempo de secagem finalizado em 140 e 120 min e apresentaram como valores $0,435 \pm 0,04$ e $0,383 \pm 0,05$ de a_w , respectivamente. Logo, o tratamento sem ultrassom a 50 °C apresentou melhores resultados quando comparado com os demais gráficos da Figura 8 por obter amostras com atividade de água menor que 0,4 ($0,383 \pm 0,05$) evitando, assim, crescimento microbiano (ZAMBRANO *et al.*, 2019) e garantindo maior eficiência dessa secagem, além de menor tempo de processamento (120 min).

A Figura 9 mostra a variação da velocidade do ar de secagem em relação ao tempo de processamento das amostras nos diferentes tratamentos com secagem a 30 °C sem ultrassom (Figura 9A), com 10 min (Figura 9B), 20 min (Figura 9C) e 30 min (Figura 9D) em ultrassom, além dos tratamentos com secagem sem ultrassom a 40 °C (Figura 9E) e a 50 °C (Figura 9F). A velocidade do ar deve ser controlada por estar diretamente relacionada com a transferência de massa, a qual consiste do transporte da umidade no interior da fruta até a superfície e da remoção do vapor a partir da mesma (SILVA, 2010; MAHIUDDIN *et al.*, 2018), bem como evitar gasto excessivo de energia durante a secagem promovendo um custo operacional relativamente baixo.

Figura 9 – Curvas da cinética de secagem da velocidade do ar no leito fluidizado em função do tempo de processamento correspondente a temperatura de: (A) 30 °C sem ultrassom, (B) com 10 min, (C) 20 min (D) e 30 min em ultrassom, (E) 40 °C (F) e 50 °C sem ultrassom.



Fonte: elaborado pela autora.

A velocidade do fluxo do ar foi reduzida ao longo do processamento de 2,5 m/s para 1 m/s no tempo máximo de 120 min (Figura 9) e mantido até atingir os parâmetros ideais para um alimento seco de qualidade. Isso representa significativa redução no custo operacional quando comparado ao trabalho de Li *et al.* (2019), o qual secou cubos de maçãs com ar quente a 80 °C e velocidade do fluxo de ar de 2,4 m/s. Além deste trabalho ter finalizando a secagem no tempo de 280 min, porém, no presente trabalho o tratamento a 50 °C teve duração de 120 min, como ambos trabalhos utilizam a maçã como matriz para os processamentos é coerente afirmar que o leito fluidizado proporcionou baixo custo operacional e maior eficiência no tempo de secagem.

A secagem a 50 °C sem pré-tratamento em ultrassom apresentou boa resposta para umidade ($9,49 \pm 1,43\%$), atividade de água ($0,383 \pm 0,05$) e velocidade do ar no leito fluidizado (redução para 1 m/s em 100 min de processamento), além da secagem ter durado 120 min (Figura 9F), resultando, assim, em uma secagem eficiente com menor tempo de processamento e menor gasto de energia. Logo, esse foi o tratamento escolhido para a etapa de aplicação do revestimento.

Tabela 6 – Tempo em que a atividade de água (a_w) esteve próxima a 0,4 e umidade em base úmida (U) no processo de secagem em leito fluidizado nos respectivos tratamentos do DCC.

Tratamento	Temperatura (°C)	Tempo de pré-tratamento (min)	Tempo (min)	a_w	U (%)
Controle	-	-	-	$0,987 \pm 0,00$	$84,77 \pm 1,23$
Sem uso de ultrassom	30	-	280	$0,455 \pm 0,02^a$	$10,59 \pm 0,51^a$
	40	-	140	$0,435 \pm 0,04^a$	$10,32 \pm 0,84^a$
	50	-	120	$0,383 \pm 0,05^a$	$9,49 \pm 1,43^a$
1	30 (-1)	10 (-1)	220	$0,448 \pm 0,03^a$	$10,51 \pm 1,36^a$
2	30 (-1)	30 (+1)	220	$0,481 \pm 0,02^a$	$10,85 \pm 0,88^a$
3	50 (+1)	10 (-1)	100	$0,395 \pm 0,07^a$	$8,97 \pm 2,26^a$
4	50 (+1)	30 (+1)	120	$0,419 \pm 0,07^a$	$8,84 \pm 1,30^a$
5	30 (-1)	20 (0)	220	$0,450 \pm 0,02^a$	$9,87 \pm 0,52^a$
6	50 (+1)	20 (0)	120	$0,396 \pm 0,06^a$	$7,79 \pm 1,79^a$
7	40 (0)	10 (-1)	140	$0,432 \pm 0,04^a$	$10,10 \pm 0,73^a$
8	40 (0)	30 (+1)	140	$0,430 \pm 0,03^a$	$9,74 \pm 1,08^a$
9	40 (0)	20 (0)	120	$0,445 \pm 0,05^a$	$10,33 \pm 1,18^a$
10	40 (0)	20 (0)	180	$0,429 \pm 0,04^a$	$8,91 \pm 0,87^a$
11	40 (0)	20 (0)	140	$0,439 \pm 0,06^a$	$10,05 \pm 0,81^a$

Valores médios \pm desvio padrão. Letras iguais sobrescritas na mesma coluna indicam que não há diferença significativa entre as amostras ($p < 0,05$) pelo teste de Tukey.

Fonte: elaborado pela autora.

Os valores da atividade de água (a_w) variaram de $0,383 \pm 0,05$ a $0,455 \pm 0,02$ e a umidade (U) variou de $7,79 \pm 1,79$ a $10,85 \pm 0,88\%$ (Tabela 6), esses resultados estão dentro da faixa considerável segura para um alimento seco estável durante armazenamento em temperatura ambiente ($27\text{ }^\circ\text{C}$) (GAVA *et al.*, 2008; PASCUAL-PINEDA *et al.*, 2014). Os tratamentos 1, 2 e 5 com temperatura em $30\text{ }^\circ\text{C}$ apresentaram a_w igual a 0,4 ($0,448 \pm 0,03$; $0,481 \pm 0,02$ e $0,450 \pm 0,02$, respectivamente) e U próximo a 10% ($10,51 \pm 1,36\%$; $10,85 \pm 0,88\%$ e $9,87 \pm 0,52\%$, respectivamente) no tempo de 220 min de secagem. O tratamento nessa temperatura de $30\text{ }^\circ\text{C}$ sem ultrassom, só atingiu esse parâmetro com 280 min de processamento, obtendo os valores de $0,455 \pm 0,02$ de a_w e $10,59 \pm 0,51\%$ de U, o que pode justificar que o pré-tratamento em ultrassom teve influência na redução do tempo de secagem.

Os tratamentos com temperatura em $40\text{ }^\circ\text{C}$, em geral, atingiram 0,4 de a_w no tempo de 140 min de secagem, com exceção do tratamento 9 ($0,445 \pm 0,05$) que atingiu em 120 min de processamento e tratamento 10 ($0,429 \pm 0,04$) que foi em 180 min de secagem. Essa variação de resultado para as mesmas condições de tratamento pode estar relacionada com o grau de maturação das frutas e condições variadas das mesmas, mesmo se tratando de maçãs da mesma espécie, porém esses tratamentos não partiram da mesma fruta. Entretanto, os resultados apresentaram uniformidade nos valores tanto para a atividade de água (a_w) quanto para umidade em base úmida (U) conforme apresentado pelo teste de Tukey, em que os dados não apresentaram diferença significativa entre si.

Portanto, de acordo com a ANOVA o F calculado (7,595) foi maior do que o F tabelado (5,05) para atividade de água (a_w) significando que o modelo estudado foi representativo a um nível de 95% de confiança para atividade de água (Tabela 7). Essa análise de variância revelou-se não significativa para umidade (U), pois o valor de F calculado (4,089) foi menor do que o F tabelado (5,05) (Tabela 8).

Tabela 7 – Análise da variância (ANOVA) para a resposta de atividade de água (a_w) dos *snacks* de maçã durante a cinética de secagem.

Fonte de variação	Soma Quadrática	Graus de Liberdade	Média Quadrática	Valor de F	R ²
Regressão	0,0053	5	0,0010	7,595	0,884
Erro	0,0006	5	0,0001		
Total SS	0,0060	10			
F _{tabelado} (95%)				F _{5,5} = 5,05	

Fonte: elaborada pela autora.

Tabela 8 – Análise da variância (ANOVA) para a resposta de umidade (U) dos *snacks* de maçã durante a cinética de secagem.

Fonte de variação	Soma Quadrática	Graus de Liberdade	Média Quadrática	Valor de F	R ²
Regressão	6,6209	5	1,32418	4,089	0,803
Erro	1,6190	5	0,32380		
Total SS	8,2399	10			
F _{tabelado} (95%)				F _{5,5} = 5,05	

Fonte: elaborada pela autora.

Diante dessa análise de confiabilidade do modelo, a análise de regressão foi representada pela Equação 10 que mostraram as variáveis codificadas dos coeficientes de regressão para atividade de água com diferentes temperaturas de secagem (T). Esta equação é utilizada como uma ferramenta matemática para através dos dados experimentais prever o comportamento da atividade de água variando a temperatura de secagem. Isso ocorre devido a temperatura do sistema de secagem ser mais significativa do que o tempo de ultrassom.

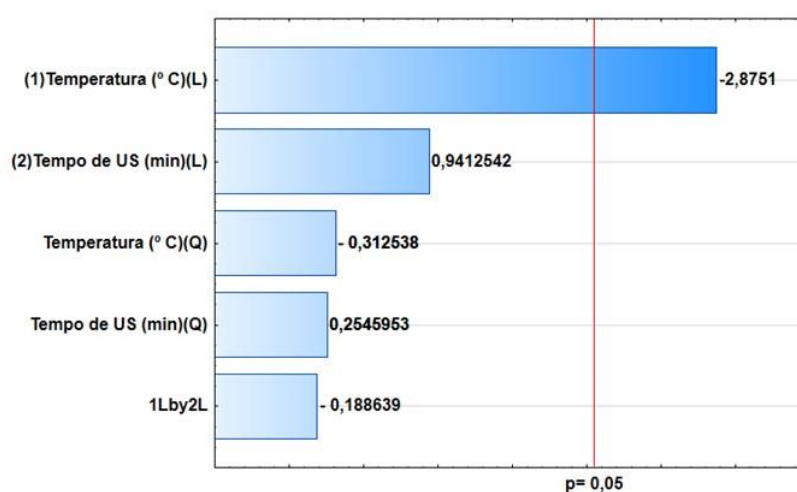
$$\text{Atividade de água} = 0,433 - 0,028 * T \quad (10)$$

A Figura 10 confirma através do gráfico de Pareto que a temperatura influencia diretamente nos resultados da atividade de água e da umidade (Figura 7 e 8). Confirmando essa análise de regressão, a superfície de resposta apresentada na Figura 11 mostra que, como é de maior importância para o processo de secagem os tons de verdes, os quais indicam os menores valores, é relevante a influência da temperatura nos resultados para a_w (Figura 11A), e, nos resultados de U (Figura 11B). Entretanto, o tempo de pré-

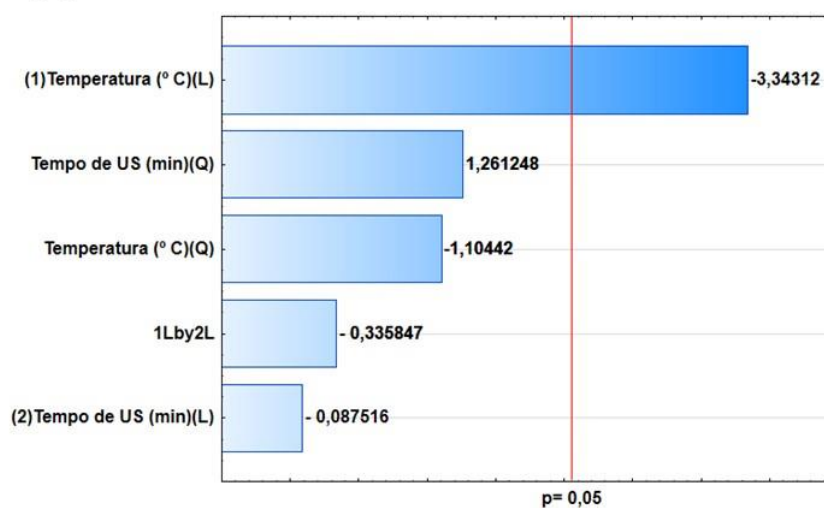
tratamento em ultrassom não é significativo quanto ao aumento da temperatura para obtenção, no geral, de valores próximos ou abaixo de 10% de U. O ultrassom, como mencionado anteriormente, apresentou certa relevância na diminuição do tempo de processamento para o processo com a temperatura mais baixa (30 °C) quando comparado com o tratamento sem pré-tratamento.

Figura 10 – Análise do diagrama de Pareto para os parâmetros de temperatura (°C) e tempo de ultrassom (min) na cinética de secagem nos resultados de (A) atividade de água e (B) umidade base úmida.

(A)

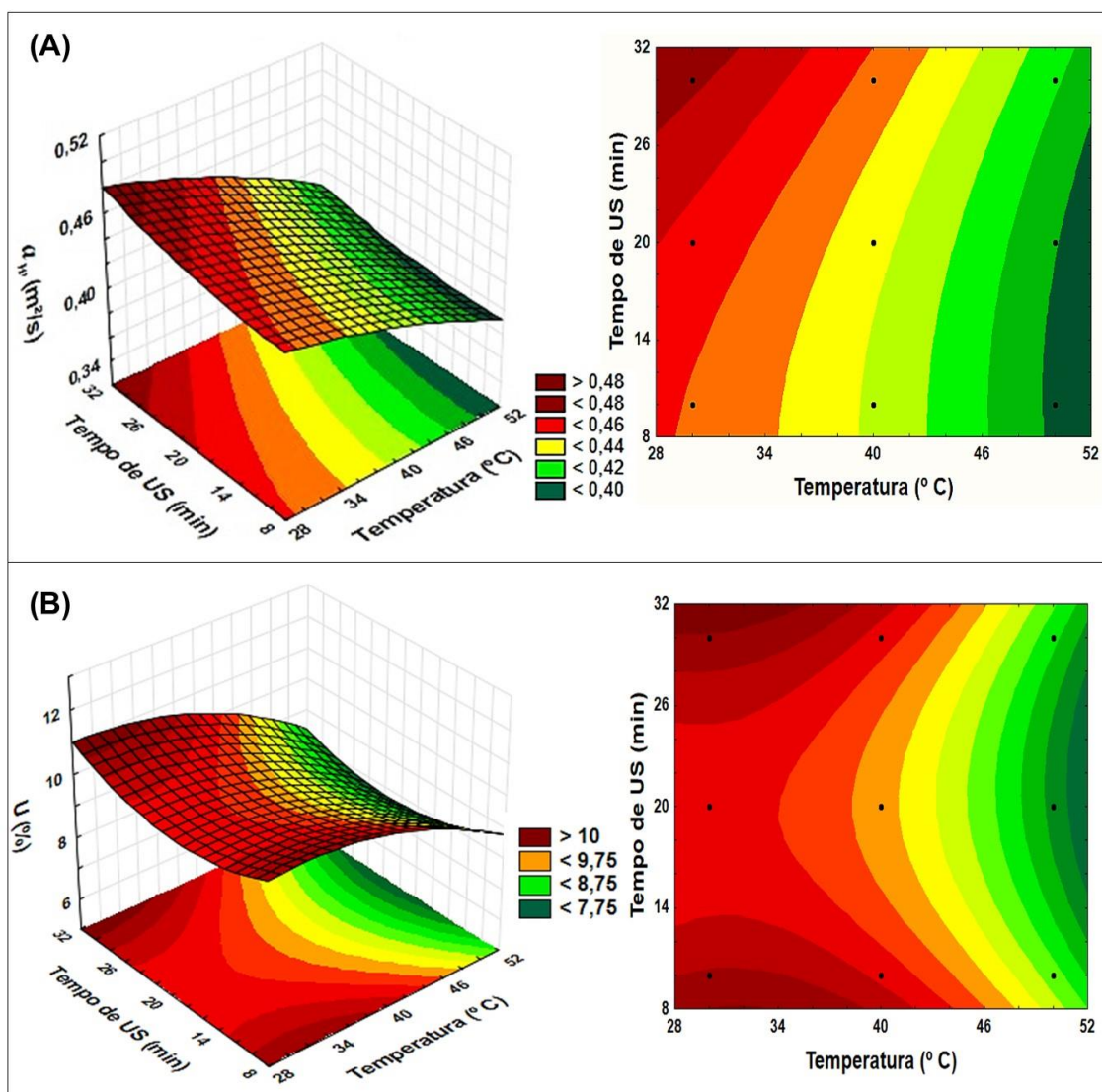


(B)



Fonte: elaborado pela autora.

Figura 11 – Superfície de resposta da (A) atividade de água e da (B) umidade em base úmida dos *snacks* de maçã pós secagem em leito fluidizado.



Fonte: elaborado pela autora.

O pré-tratamento em banho ultrassônico tem como resposta sobre as amostras ganho de água, decorrente da absorção da mesma pelos poros e microcanais que são formados pelo processo de cavitação ultrassônica, e perda de sólidos que também é resultado da formação desses microcanais, os quais auxiliam no transporte de massa que é decorrente do movimento desses sólidos no sentido do meio mais concentrado, a fruta, para o menos concentrado, a água destilada na qual as amostras ficam imersas (SANTACATALINA *et al.*, 2016), esse processo também colabora para a liberação de parte dos açúcares presentes na fruta. Esses resultados são observados na Tabela 9 que apresenta as variáveis independentes do processamento determinadas pelo DCCFC

(Tabela 4), temperatura e tempo de pré-tratamento em banho ultrassônico, e as variáveis dependentes que são o ganho de água e a perda de sólidos dados em porcentagem.

Tabela 9 – Ganho de água e perda de sólidos após o pré-tratamento em banho ultrassônico.

Tratamento	Temperatura (°C)	Tempo de pré-tratamento (min)	Ganho de água (%)	Perda de sólidos (%)
1	30 (-1)	10 (-1)	4,46	12,86
2	30 (-1)	30 (+1)	3,09	18,00
3	50 (+1)	10 (-1)	4,70	1,77
4	50 (+1)	30 (+1)	3,09	25,68
5	30 (-1)	20 (0)	3,82	16,79
6	50 (+1)	20 (0)	5,32	21,99
7	40 (0)	10 (-1)	6,82	11,36
8	40 (0)	30 (+1)	2,74	19,91
9	40 (0)	20 (0)	6,73	25,53
10	40 (0)	20 (0)	4,17	18,59
11	40 (0)	20 (0)	2,12	0,70

Fonte: elaborado pela autora.

Os resultados do ultrassom para o ganho de água variaram de 2,12 a 6,82% e para a perda de sólidos de 0,70 a 25,68% (Tabela 9). O efeito do ultrassom, em geral, foi mais relevante para a perda de sólidos, o que está diretamente relacionado com a formação dos microcanais que corroboram com a liberação dos sólidos, em geral, os açúcares (BHANVASE *et al.*, 2015) na água em que as amostras são imersas durante o processamento.

Nos estudos de Oliveira (2010), o qual trabalhou com processamento de jambo (*Syzygium malaccense*) em banho ultrassônico seguido de secagem em estufa com circulação e renovação de ar a 60 °C, os resultados para perda de sólidos nos tempos de 20 e 30 min de pré-tratamento em ultrassom foram de $23,6 \pm 1,2$ e $21,9 \pm 1,1\%$, respectivamente. Entretanto, neste presente trabalho, o qual estuda o processamento de *snacks* de maçã (*Malus* spp. Granny Smith) utilizando também pré-tratamento em ultrassom, mas com o processo de secagem em leito fluidizado, os resultados dos tratamentos com temperatura de 50 °C para perda de sólidos nos mesmos tempos de 20 min (tratamento 6) e 30 min (tratamento 4) de pré-tratamento foram de 21,99 e 25,68%, respectivamente. Esses valores de ambos trabalhos são considerados próximos, apesar de serem resultados de frutas diferentes, porém, neste trabalho, a temperatura (50 °C) utilizada foi menor do que no trabalho de Oliveira (2010) (60 °C), isso pode significar maior eficiência da combinação do processamento de secagem com o pré-tratamento em

banho ultrassônico. As características específicas dessas frutas devem ter influenciado no transporte de massa relacionado com a perda de sólidos (CASTRO; MAYORGA; MORENO, 2018), porém o jambo e a maçã têm estruturas parecidas.

Nesse processamento da secagem dos *snacks* de maçã em leito fluidizado, ocorrem fenômenos que resultam no processo de difusão, ou difusividade efetiva, da água, o qual consiste na movimentação dessa água da parte mais interna do alimento para a superfície do mesmo, até o instante em que essa água é evaporada ao equilibrar sua temperatura com a do calor cedido pelo ar quente de circulação do leito fluidizado. Diante disso, os resultados da difusividade efetiva da água nos tratamentos com pré-tratamento em banho ultrassônico, determinados pelo DCCFC (Tabela 4), e sem pré-tratamento estão apresentados na Tabela 10.

Tabela 10 – Difusividade efetiva da água (D_e) durante a secagem em leito fluidizado.

Tratamento	Temperatura (°C)	Tempo de pré-tratamento (min)	Tempo (min)	D_e ($10^9 \text{ m}^2/\text{s}$)
Sem uso de ultrassom	30	-	280	$1,09 \pm 0,44^a$
	40	-	140	$2,02 \pm 0,45^b$
	50	-	120	$2,07 \pm 0,47^b$
1	30 (-1)	10 (-1)	220	$1,73 \pm 0,34^a$
2	30 (-1)	30 (+1)	220	$1,63 \pm 0,30^a$
3	50 (+1)	10 (-1)	100	$2,81 \pm 0,74^a$
4	50 (+1)	30 (+1)	120	$2,74 \pm 0,74^a$
5	30 (-1)	20 (0)	220	$1,53 \pm 0,26^a$
6	50 (+1)	20 (0)	120	$2,67 \pm 0,49^a$
7	40 (0)	10 (-1)	140	$2,17 \pm 0,50^a$
8	40 (0)	30 (+1)	140	$2,38 \pm 0,41^a$
9	40 (0)	20 (0)	120	$2,36 \pm 0,58^a$
10	40 (0)	20 (0)	180	$2,02 \pm 0,38^a$
11	40 (0)	20 (0)	140	$2,03 \pm 0,40^a$

Valores médios \pm desvio padrão. Letras iguais sobrescritas na mesma coluna indicam que não há diferença significativa entre as amostras ($p < 0,05$) pelo teste de Tukey.

Fonte: elaborado pela autora.

Os resultados de difusividade de água na cinética de secagem variaram de $1,09 \times 10^{-9} \pm 0,44 \times 10^{-9}$ a $2,81 \times 10^{-9} \pm 0,74 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ (Tabela 10). Dentre esses resultados os 11 tratamentos, determinados pelo DCCFC (Tabela 4), não apresentaram diferença significativa entre si conforme apresentando no teste de Tukey com $p < 0,05$. Porém, nos tratamentos sem ultrassom, houve diferença significativa entre o tratamento com temperatura de $30 \text{ }^\circ\text{C}$ ($1,09 \times 10^{-9} \pm 0,44 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$) e os tratamentos com temperaturas de $40 \text{ }^\circ\text{C}$ ($2,02 \times 10^{-9} \pm 0,45 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$) e de $50 \text{ }^\circ\text{C}$ ($2,07 \times 10^{-9} \pm 0,47 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$), segundo o teste de Tukey ($p < 0,05$) (Tabela 10). Esses resultados apresentaram influência

significativa em relação a variação da temperatura, tendo em vista que os maiores valores de difusividade foram nos tratamentos com temperatura de 50 °C, tratamentos 3 ($2,81 \times 10^{-9} \pm 0,74 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$), 4 ($2,74 \times 10^{-9} \pm 0,74 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$) e 6 ($2,67 \times 10^{-9} \pm 0,49 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$) (Tabela 10) isso se confirma no diagrama de Pareto (Figura 13). Com base nesses resultados, é possível concluir que, com essa temperatura (50 °C), a difusividade da água foi maior quando comparada com as difusividades apresentadas no trabalho de Oliveira (2010), o qual trabalhou com processamento de jambo (*Syzygium malaccense*) em banho ultrassônico seguido de secagem em estufa com circulação de ar a 60 °C, obteve os valores de difusividade nos tempos de 10, 20 e 30 min de pré-tratamento em ultrassom de $5,67 \times 10^{-10}$, $4,57 \times 10^{-10}$ e $5,10 \times 10^{-10}$, respectivamente. Logo, quanto maior a difusividade da água, mais rápida é a taxa de secagem e menor é o tempo desse processamento.

No trabalho de Li *et al.* (2019), o qual secou cubos de maçãs com ar quente a 80 °C, obteve como a difusividade nos cubos com dimensões de 2 cm, 1,5 cm e 1 cm os valores de $8,44 \times 10^{-10}$, $6,55 \times 10^{-10}$ e $4,62 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$, respectivamente. Esses resultados foram menores do que os do presente trabalho com cubos maçãs de dimensões de 0,6 cm³, em que os tratamentos a 50 °C com 0, 10, 20 e 30 min de ultrassom apresentaram valores de $2,07 \times 10^{-9} (\pm 0,47 \times 10^{-9})$, $2,81 \times 10^{-9} (\pm 0,74 \times 10^{-9})$, $2,67 \times 10^{-9} (\pm 0,49 \times 10^{-9})$ e $2,74 \times 10^{-9} (\pm 0,74 \times 10^{-9}) \text{ m}^2/\text{s}$, respectivamente (Tabela 10). Esses resultados, principalmente os valores do tratamento a 50 °C sem ultrassom que foi finalizado com 120 min de processamento (Tabela 10), quando comparando com os obtidos no trabalho de Li *et al.* (2019), que na secagem a 80 °C o processamento foi finalizado com 280 min, em se tratando da mesma matriz (cubos de maçãs), o leito fluidizado proporcionou baixo custo operacional e bons resultados nos parâmetros de difusividade efetiva da água.

Portanto, de acordo com a ANOVA o F calculado (18,096) foi maior do que o F tabelado (5,05) para difusividade efetiva da água (D_e) significando que o modelo estudado foi representativo a um nível de 95% de confiança para difusividade efetiva da água (Tabela 11).

Tabela 11 – Análise da variância (ANOVA) para a resposta de difusividade efetiva da água (D_e) dos *snacks* de maçã durante a cinética de secagem.

Fonte de variação	Soma Quadrática	Graus de Liberdade	Média Quadrática	Valor de F	R ²
Regressão	1,8933	5	0,37866	18,096	0,948
Erro	0,1046	5	0,02092		
Total SS	1,9979	10			
F _{tabelado} (95%)				F _{5,5} = 5,05	

Fonte: elaborada pela autora.

A análise de regressão foi representada pela Equação 11 que mostra as variáveis codificadas dos coeficientes de regressão para difusividade efetiva da água com diferentes temperaturas de secagem (T) e tempos de ultrassom (t). Esta equação é utilizada como uma ferramenta matemática para através dos dados experimentais prever o comportamento da difusividade efetiva da água variando a temperatura de secagem. Isso ocorre devido a temperatura do sistema de secagem ser mais significativa do que o tempo de ultrassom.

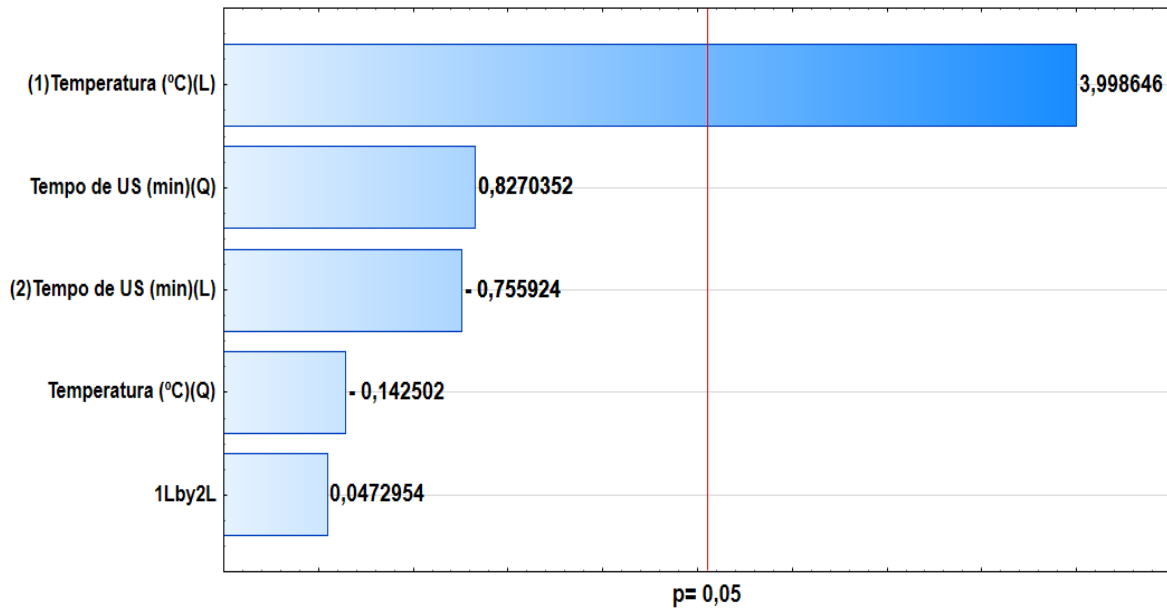
$$\text{Difusividade efetiva da água} = 2,138 - 0,555 \cdot T \quad (11)$$

A Figura 12 confirma pelo diagrama de Pareto que a temperatura influencia diretamente na difusividade da água. No geral, a temperatura mais elevada acelera o processo de secagem, reduzindo o tempo de processamento por influenciar positivamente na transferência de massa e de calor proporcionado, assim, o aumento da difusividade da água. A Figura 13 apresenta a superfície de resposta da difusividade de água no processo de secagem dos *snacks* de maçã em leito fluidizado, é observado que a difusividade foi maior com o aumento da temperatura.

Essa difusividade está relacionada com o movimento aleatório das moléculas de água da fruta, ao passo que é transportada do interior da maçã até a parte mais externa da mesma, estando, neste momento, em contato com o fluxo de ar quente do leito fluidizado, que é o meio responsável pelo transporte de calor e pela intensidade dessa difusividade da água conforme a variação da sua temperatura. Esse movimento das moléculas de água está diretamente relacionado com o binômio tempo/temperatura na secagem de um alimento. Portanto, nos tratamentos com a temperatura mais elevada (50 °C) era esperado que obtivessem maior difusividade de água, tendo em vista que esse aumento da

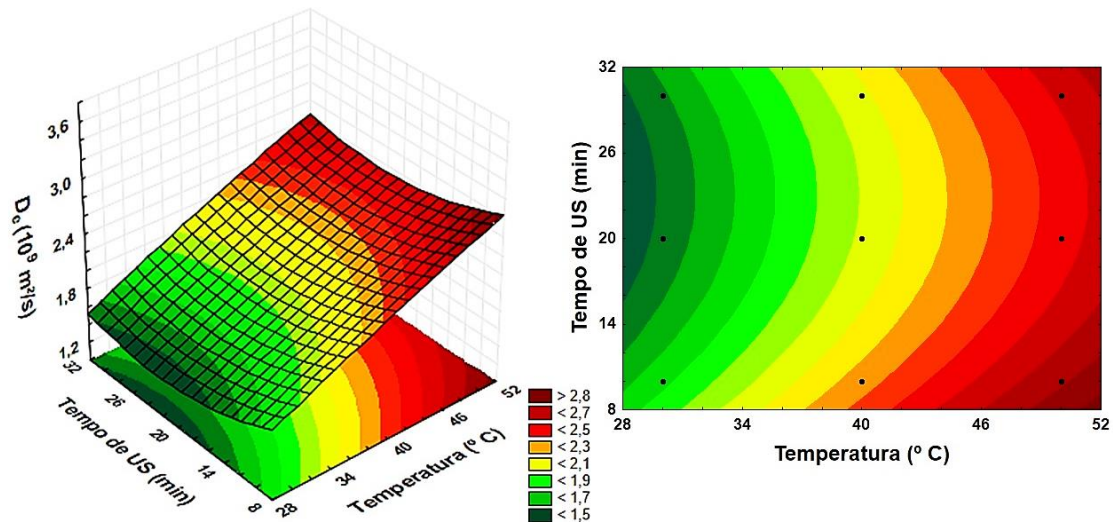
temperatura influencia no aumento dessa movimentação das moléculas de água das amostras (GAMA *et al.*, 2012).

Figura 12 – Análise da difusividade da água pelo diagrama de Pareto após a secagem dos *snacks* de maçã no leito fluidizado.



Fonte: elaborado pela autora.

Figura 13 – Superfície de resposta da difusividade efetiva (D_e) da água após a secagem dos *snacks* de maçã no leito fluidizado.



Fonte: elaborado pela autora.

4.2 Estudo do revestimento dos *snacks* de maçã desidratados em leite fluidizado

A escolha do revestimento foi com base no revestimento que ao ser aspergido no leite fluidizado conseguiu maior impregnação sobre os *snacks*, obtendo melhor recobrimento na área total dessas amostras. Bem como essa impregnação do revestimento nos *snacks* não deve apresentar aspecto aderente após a secagem e ter menor tempo de secagem após a aplicação desse revestimento obtendo atividade de água desses *snacks* o mais próximo de 0,4. O tratamento escolhido para a análise desse revestimento foi com temperatura de 50 ± 2 °C em leite fluidizado, sem pré-tratamento em banho ultrassônico. As fotos das amostras revestidas ao final do processo de incorporação do revestimento com a secagem foram avaliadas e os resultados foram apresentados como a área total das amostras recobertas com os revestimentos, dada em porcentagem, como apresentado na Tabela 12 juntamente com as variáveis independentes, concentração de hidroxietilcelulose (HEC) e polietilenoglicol (PEG).

Tabela 12 – Resultado da área dos *snacks* de maçã cobertos pelo revestimento em leite fluidizado após a secagem.

Revestimento	Hidroxietilcelulose (g)	Polietilenoglicol (µL)	Área Recoberta (%)
1	0,05 (-1)	5,0 (-1)	$8,70 \pm 0,58^d$
2	0,05 (-1)	20,0 (+1)	$20,24 \pm 2,85^{ad}$
3	0,15 (+1)	5,0 (-1)	$39,87 \pm 6,77^c$
4	0,15 (+1)	20,0 (+1)	$41,42 \pm 6,29^{bc}$
5	0,03 (-1,41)	12,5 (0)	$8,33 \pm 1,76^d$
6	0,17 (+1,41)	12,5 (0)	$58,34 \pm 6,15^e$
7	0,10 (0)	1,89 (-1,41)	$44,08 \pm 4,37^{bc}$
8	0,10 (0)	23,11(+1,41)	$24,13 \pm 3,43^a$
9	0,10 (0)	12,5 (0)	$61,71 \pm 4,98^e$
10	0,10 (0)	12,5 (0)	$65,92 \pm 5,21^e$
11	0,10 (0)	12,5 (0)	$53,81 \pm 2,94^e$

Valores médios \pm desvio padrão. Letras diferentes sobrescritas na mesma coluna indicam que há diferença significativa entre as amostras ($p < 0,05$) pelo teste de Tukey.

Fonte: elaborado pela autora.

As áreas correspondentes a incorporação dos revestimentos nas amostras, os quais foram estabelecidos pelo DCCR (Tabela 5), variaram de $8,33 \pm 1,76$ a $65,92 \pm 5,21\%$ (Tabela 12). A variável independente que influencia na viscosidade dos revestimentos é a concentração de hidroxietilcelulose (HEC), logo esta irá interferir diretamente na viscosidade do revestimento e, conseqüentemente, no poder de impregnação desse nas amostras. Portanto, os revestimentos 1 e 5, contendo menor concentração de HEC (0,05 e 0,03 g, respectivamente), apresentaram menor área de recobrimento sobre as amostras

($8,70 \pm 0,58$ e $8,33 \pm 1,76\%$, respectivamente), além de terem a aparência muito fluida, o que não favoreceu para que o mesmo ficasse aderido nas amostras, mas sim no vidro da câmara de secagem do leito fluidizado. Esses revestimentos 1 e 5 não apresentaram diferença significativa entre si conforme o teste de Tukey ($p < 0,05$).

Entretanto, o polietilenoglicol (PEG) é um plastificante que melhora a característica filmogênica do revestimento, porém em concentrações elevadas torna-o muito fluído, prejudicando a aderência do mesmo sobre as amostras. Isso foi o que aconteceu com o revestimento 8 ($23,11 \mu\text{L}$ de PEG) que obteve área de $24,13 \pm 3,43\%$. Bem como, o PEG em concentrações baixas, também prejudica na fluidização do revestimento, reduzindo, assim, a área de recobrimento do mesmo sobre as amostras, como visto no resultado do revestimento 7 ($1,89 \mu\text{L}$ de PEG) que apresentou área de $44,08 \pm 4,37\%$. Esses resultados são considerados valores baixos quando comparado com os demais revestimentos 9, 10 e 11 formados pela mesma concentração de HEC ($0,10 \text{ g}$), os quais apresentaram área de $61,71 \pm 4,98$, $65,92 \pm 5,21$ e $53,81 \pm 2,94\%$, respectivamente.

Os revestimentos 6, 9, 10 e 11 não apresentaram diferença significativa entre si conforme o teste de Tukey ($p < 0,05$), tendo em vista que esses três últimos apresentam as mesmas concentrações de HEC e PEG por se tratar estatisticamente, de acordo com o DCCR, do ponto central (revestimento 9) e de duas repetições do mesmo (revestimentos 10 e 11). As combinações dessas variáveis independentes, comprovaram que ambas influenciaram nos resultados das áreas das amostras cobertas pelos revestimentos, porém conforme observado na Figura 14, pelo diagrama de Pareto, as concentrações de HEC apresentaram influência positiva e as de PEG apresentaram influência negativa.

A Figura 15 apresenta a superfície de resposta das áreas das amostras cobertas pelos revestimentos após a secagem em leito fluidizado, é observado que esse recobrimento foi maior nos revestimentos com concentrações de HEC na faixa de, aproximadamente, $0,08$ a $0,17 \text{ g}$ e de PEG na faixa de, aproximadamente, 5 a $20 \mu\text{L}$. Portanto, a variável HEC corroborou na aderência do revestimento nas amostras, em que os revestimentos com maiores concentrações de HEC (3, 6, 7, 9, 10 e 11), apresentaram maior eficiência na impregnação nos *snacks* de maçã em leite fluidizado. Entretanto, devido ao PEG ser um plastificante que reduz as forças intermoleculares e aumenta a mobilidade das cadeias poliméricas, permitindo uma maior absorção de moléculas de água, os revestimentos com concentrações maiores de PEG em relação a HEC (1, 2, 5 e

8) tenderam a ser mais fluidos, o que pode ter prejudicado na eficiência da impregnação desses nas amostras.

Portanto, de acordo com a ANOVA o F calculado (9,671) foi maior do que o F tabelado (5,05) para área de recobrimento dos revestimentos sobre os *snacks* de maçã significando que o modelo estudado foi representativo a um nível de 95% de confiança para difusividade efetiva da água (Tabela 13).

Tabela 13 - Análise da variância (ANOVA) para a resposta da área de recobrimento dos revestimentos sobre os *snacks* de maçã.

Fonte de variação	Soma Quadrática	Graus de Liberdade	Média Quadrática	Valor de F	R ²
Regressão	3894,758	5	778,951	9,671	0,906
Erro	402,711	5	80,542		
Total SS	4297,470	10			
F _{tabelado} (95%)				F _{5,5} = 5,05	

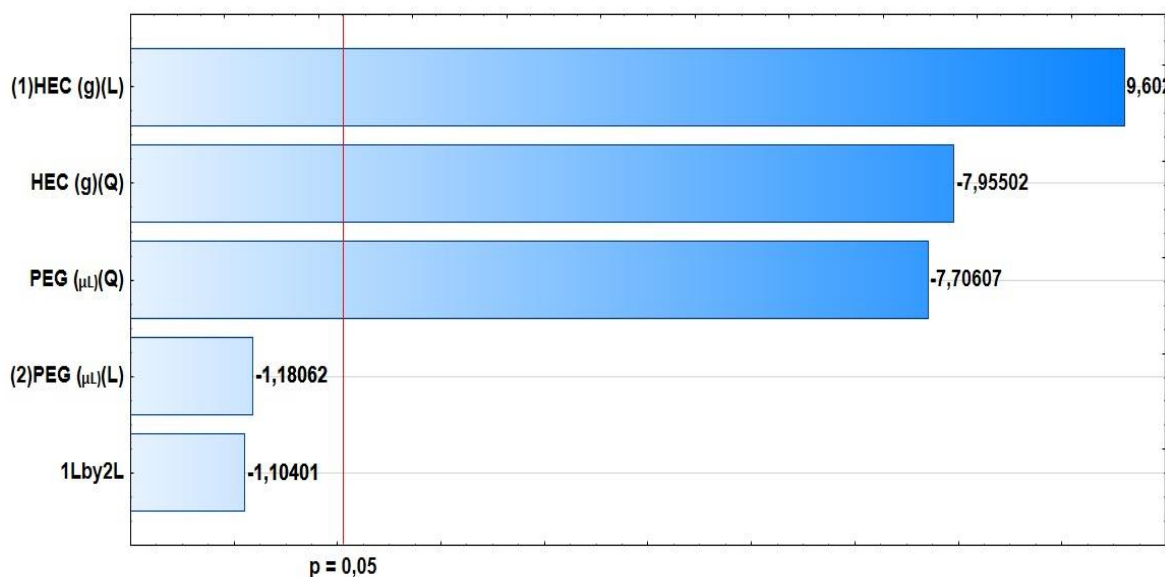
Fonte: elaborada pela autora.

Diante desses resultados, é possível otimizar o revestimento através da análise de regressão, para concluir as concentrações ótimas das variáveis independentes hidroxietilcelulose (HEC) e polietilenoglicol (PEG) correspondentes ao ponto crítico, a qual é dada pela Equação 12:

$$A = - 77,82 + 1623,31*HEC - 6155,07*HEC^2 + 6,93*PEG - 0,26*PEG^2 - 6,67 HEC*PEG \quad (12)$$

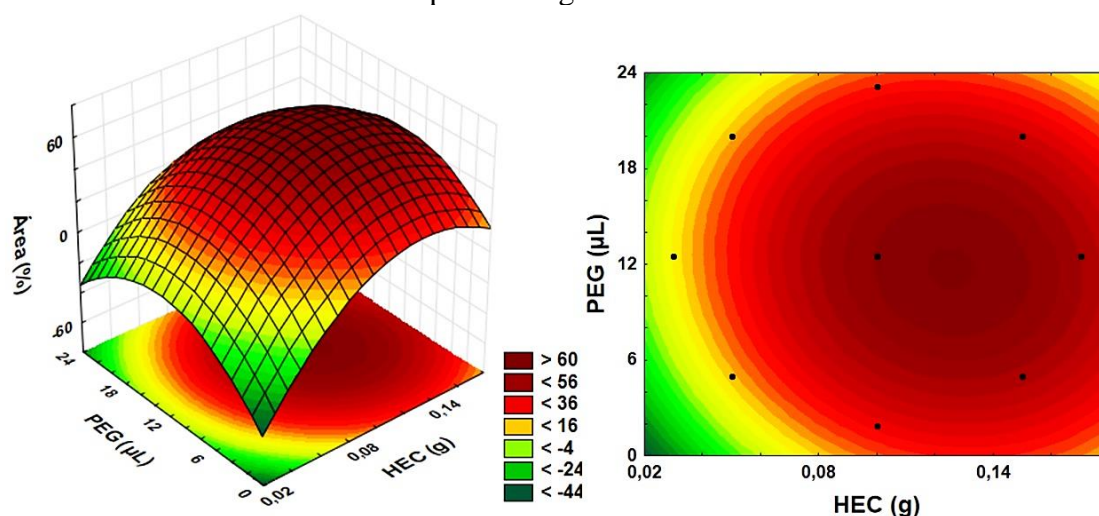
Então, o ponto ótimo terá concentrações de HEC e PEC de 0,125 g e 11,7 µL, respectivamente, esse ponto está na região da superfície de resposta correspondente aos valores acima de 60% das áreas de recobrimento dos revestimentos nas amostras (Figura 15). A análise da área de recobrimento desse revestimento, realizada em quintuplicada, apresentou como resultado $77,71 \pm 4,60\%$ de área recoberta, sendo esse valor superior aos apresentados pelos revestimentos estabelecidos pelo DCCR (Tabela 12). Confirmando, assim, que esse revestimento (0,125 g de HEC e 11,7 µL de PEG) gerou resultados otimizados, portanto, essa será a formulação usada para incorporação do probiótico e aplicação nos *snacks* de maçã no leite fluidizado.

Figura 14 - Análise do diagrama de Pareto para as áreas dos *snacks* de maçã cobertos pelo revestimento em leito fluidizado após a secagem.



Fonte: elaborado pela autora.

Figura 15 - Superfície de resposta das áreas dos *snacks* de maçã cobertos pelo revestimento em leito fluidizado após a secagem.



Fonte: elaborado pela autora.

4.3 Contagem de células viáveis

As células foram contadas inicialmente em câmara de Neubauer obtendo $2,97 \times 10^7$ células/mL. A validação desse método de contagem de células foi dada pela contagem em placas, sendo as diluições de 10^{-4} e 10^{-5} as mais viáveis pois obtiveram como resultados $3,26 \times 10^7 \pm 0,340 \times 10^7$ UFC/mL e $5,37 \times 10^7 \pm 1,11 \times 10^7$ UFC/mL, respectivamente, realizadas em triplicada. Esses resultados foram determinantes para

escolher a quantidade de probiótico a ser incorporado no revestimento. Os resultados da contagem em placas foram compatíveis com a contagem na câmara de Neubauer. A técnica de contagem na câmara de Neubauer foi válida por estar na mesma proporção de $7,0 \log \text{ UFC/mL}$, essa concentração está de acordo com a recomendação para alimentos probióticos para melhor eficácia na regulação dos efeitos benéficos a saúde de quem consumir esse alimento (PEREIRA; MACIEL; RODRIGUES, 2011).

Os testes realizados para incorporação do probiótico no revestimento tiveram como resultados, no Teste 1 com a incorporação da biomassa no revestimento pronto e no Teste 2 com a incorporação da biomassa em solução com água destilada substituindo a água da formulação do revestimento, a contagem de células viáveis no revestimento nesses testes foi de $4,00 \times 10^7 \pm 2,00 \times 10^7 \text{ UFC/mL}$ e $9,66 \times 10^7 \pm 1,55 \times 10^7 \text{ UFC/mL}$, respectivamente. O Teste 2, apresentou maior eficiência devido a homogeneização dessa biomassa no revestimento ter sido mais eficiente. Entretanto, no Teste 1, como este apresenta viscosidade a homogeneização não foi considerada a ideal por não apresentar uniformidade na difusão da biomassa no revestimento como ocorreu no Teste 2.

Na aplicação do revestimento probiótico nas amostras de *snacks* de maçã em leite fluidizado os resultados ao final do processamento de secagem para os Testes 1 e 2 foram de $6,66 \times 10^6 \pm 4,44 \times 10^6 \text{ UFC/mL}$ e $4,00 \times 10^8 \pm 3,13 \times 10^8 \text{ UFC/mL}$, respectivamente. Portanto, o Teste 2 nesta etapa também apresentou melhor resultado do que o Teste 1 por apresentar proporção de $8,0 \log \text{ UFC/mL}$ e garantir melhor eficiência na ação probiótica do *B. coagulans* nesses *snacks* de maçã desidratados em leite fluidizado.

4.4 Shelf-life e determinação de parâmetros de qualidade dos *snacks* incorporados com probiótico secos em leite fluidizado

Os *snacks* são derivados de maçãs que foram adquiridas no mesmo estabelecimento comercial, porém, em períodos diferentes. Inicialmente foram divididas em lotes por decorrência dos limites do equipamento e da logística para o armazenamento e a realização das análises. Essa divisão em lotes, mesmo mantendo a padronização do processo, pode ocorrer variação natural nos resultados, o que pode justificar a variação dos resultados das análises do *shelf-life* desses *snacks* de maçã dentre os períodos de armazenamento de até 90 dias.

Essas análises também foram realizadas no revestimento sem o probiótico (*B. coagulans*), para confirmar que o mesmo não iria interferir nos resultados de atividade

enzimática de Polifenoloxidase (PPO) e Peroxidase (POD), teor de fenólicos totais, atividade antioxidante por DPPH e vitamina E. Os resultados para essas análises mostraram que esse revestimento não apresenta essas atividades, confirmando que o mesmo não irá interferir nos valores das análises dos *snacks* de maçã incorporados com probiótico secos em leite fluidizado.

4.4.1 Viabilidade do probiótico nos *snacks* de maçã secos em leite fluidizado

Nesses períodos de 0 a 90 dias de armazenamento em temperatura ambiente (27 °C), as células viáveis dos *Bacillus coagulans* foram contadas e os resultados foram expressos com base em uma porção de 30 g de *snacks* de maçã incorporados com probiótico secos em leite fluidizado, como apresentado na Tabela 14.

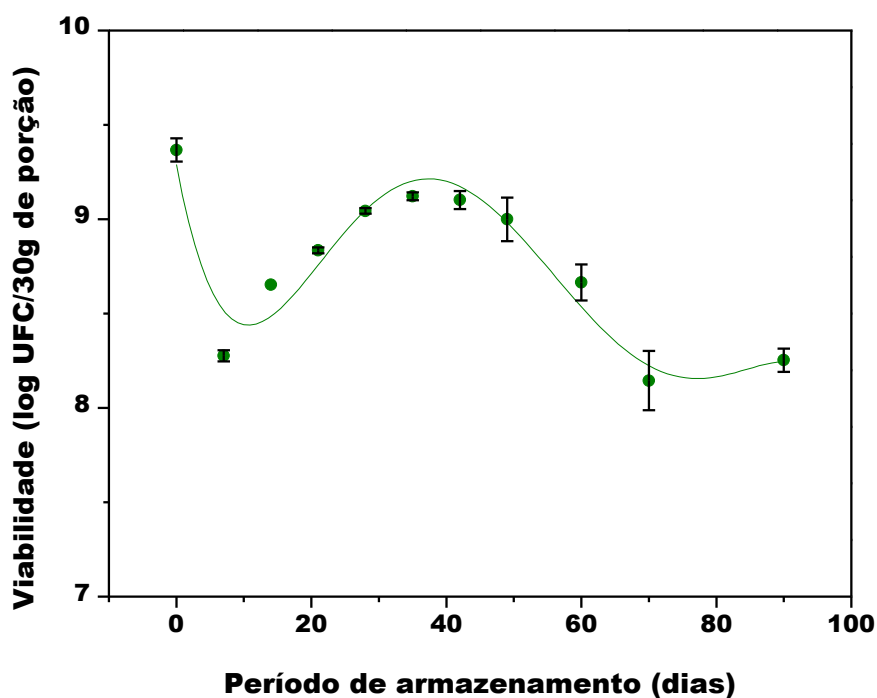
Tabela 14 – Viabilidade do *Bacillus coagulans* no período de 0 a 90 dias em 30 g de porção de *snacks* de maçã incorporados com probióticos secos em leite fluidizado.

Período (dias)	UFC/ 30 g de porção
0	$2,34 \times 10^9 \pm 0,33 \times 10^9$
7	$1,89 \times 10^8 \pm 0,12 \times 10^8$
14	$4,50 \times 10^8 \pm 0,00 \times 10^8$
21	$6,84 \times 10^8 \pm 0,25 \times 10^8$
28	$1,11 \times 10^9 \pm 0,04 \times 10^9$
35	$1,32 \times 10^9 \pm 0,06 \times 10^9$
42	$1,27 \times 10^9 \pm 0,14 \times 10^9$
49	$1,02 \times 10^9 \pm 0,27 \times 10^9$
60	$4,68 \times 10^8 \pm 1,02 \times 10^8$
70	$1,44 \times 10^8 \pm 0,51 \times 10^8$
90	$1,80 \times 10^8 \pm 0,25 \times 10^8$

Fonte: elaborado pela autora.

A viabilidade do *B. coagulans* no período de 0 a 90 dias de armazenamento desses *snacks* incorporados com esse probiótico e secos em leite fluidizado variou de $1,44 \times 10^8 \pm 0,51 \times 10^8$ UFC/30 g de porção a $2,34 \times 10^9 \pm 0,33 \times 10^9$ UFC/30 g de porção (Tabela 14). Todos esses valores estão dentro da contagem mínima de 7,0 log UFC/mL que é a recomendação para alimentos probióticos, o que proporciona melhor eficácia na regulação dos efeitos benéficos na ingestão destes *snacks* de maçã incorporados com esses probióticos (PEREIRA; MACIEL; RODRIGUES, 2011).

Figura 16 – Viabilidade do *Bacillus coagulans* incorporados nos *snacks* de maçã secos em leite fluidizado armazenadas por 90 dias.



Fonte: elaborado pela autora.

Na Figura 16 é observado uma variação na viabilidade do *Bacillus coagulans* ao longo do armazenamento, porém são valores que oscilam entre 8,0 e 9,0 logs UFC/30 g de porção. Essa variação se dá devido aos diversos fatores que influenciam no desenvolvimento desse micro-organismo, bem como na sua esporulação, e na aplicação do revestimento incorporado com esses probióticos nos *snacks* de maçã seguido da secagem em leite fluidizado. Porém, estes resultados estão dentro da taxa de esporos de *B. coagulans* (2×10^9 UFC/mL) obtidos no estudo de Shinde *et al.* (2019) em que não apresentou efeitos citotóxicos nas células intestinais confirmado pelo teste de nível de Lactato Desidrogenase (LDH) em sobrenadantes da cultura e o corante azul de tripano teste de exclusão, o que certifica sua segurança para aplicação em alimentos. Além da viabilidade do *Bacillus coagulans* manter o produto como um alimento probiótico durante o teste de armazenamento por 90 dias no presente trabalho.

4.4.2 Atividade enzimática de polifenoloxidase (PPO) e peroxidase (POD)

A enzima PPO contém átomos de cobre que são essenciais para sua atividade catalítica, logo ao entrar em contato com o oxigênio presente no ambiente ocorrem duas reações catalíticas, uma é a hidroxilação de monofenóis em o-difenóis, e a outra é a oxidação de o-difenóis em o-quinonas (HAN *et al.*, 2019). Isso pode estar relacionado com a redução de PPO ao longo do armazenamento em temperatura ambiente (27 °C), pois mesmo as amostras sendo armazenadas em sacos laminados fechados ao abri-los, para prosseguir as análises, ocorre o contato das mesmas com o oxigênio (Tabela 15).

A enzima POD é termicamente estável (ENACHI *et al.*, 2018), o que pode justificar a concentração considerável desta mesmo após a secagem ($298,64 \pm 24,96$ UI/min.g), como apresentado na Tabela 15.

Tabela 15 – Atividade enzimática de PPO e POD dos *snacks* de maçã incorporados com *Bacillus coagulans* secos em leite fluidizado e armazenados por 90 dias.

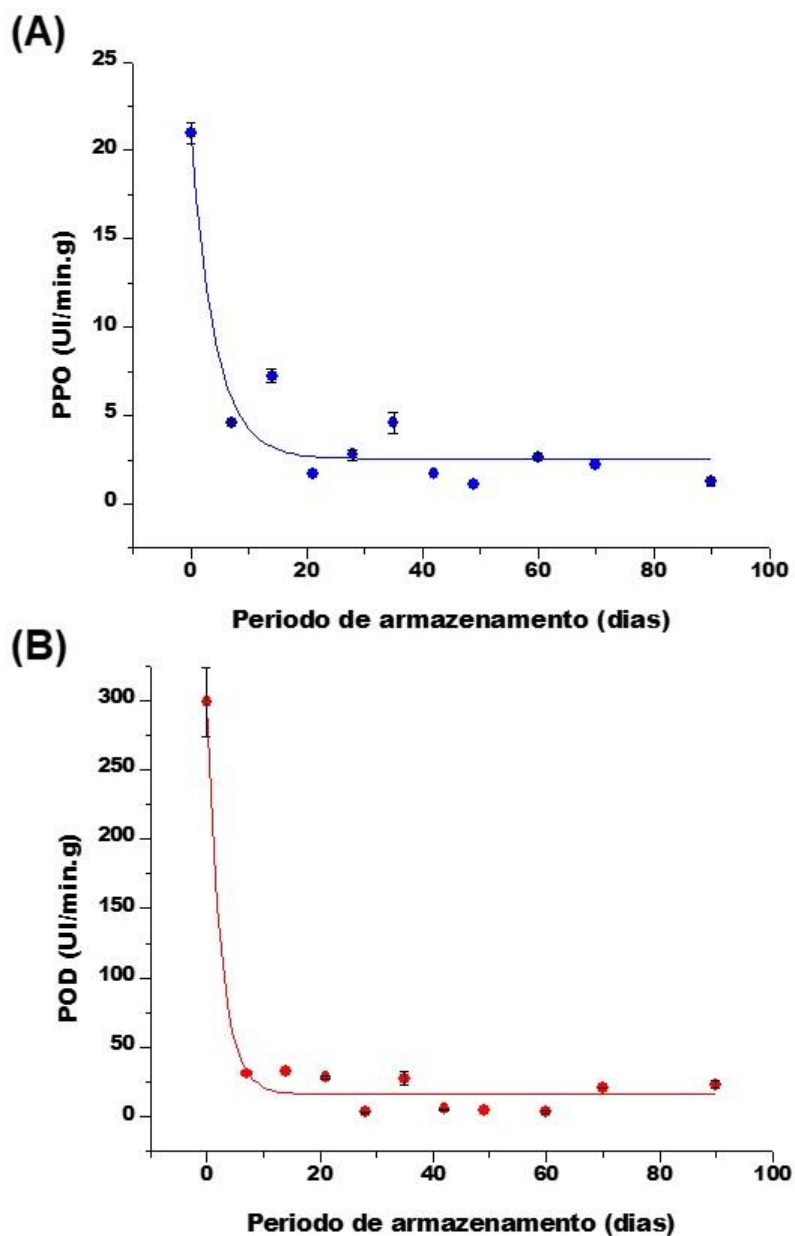
Período (dias)	Polifenoloxidase (PPO) (UI/min.g)	Peroxidase (POD) (UI/min.g)
Controle	29,33 ± 0,59	412,66 ± 1,50
0	20,99 ± 0,59	298,64 ± 24,96
7	4,59 ± 0,20	31,06 ± 0,00
14	7,23 ± 0,39	33,18 ± 0,00
21	1,67 ± 0,00	28,95 ± 0,99
28	2,78 ± 0,00	3,18 ± 0,49
35	4,59 ± 0,59	27,53 ± 4,99
42	1,67 ± 0,00	5,29 ± 0,49
49	1,11 ± 0,00	4,95 ± 0,00
60	2,64 ± 0,20	3,53 ± 0,99
70	2,22 ± 0,00	20,82 ± 0,49
90	1,25 ± 0,20	23,30 ± 2,99

Fonte: elaborado pela autora.

A amostra controle apresentou concentração de $29,33 \pm 0,59$ UI/min.g de PPO e $412,66 \pm 1,50$ UI/min.g de POD (Tabela 15). Durante o armazenamento, de 0 a 90 dias, as atividades de PPO variaram de $1,11 \pm 0,00$ a $20,99 \pm 0,59$ UI/min.g e POD de $3,18 \pm 0,49$ a $298,64 \pm 24,96$ UI/min.g, esses valores não seguiram constância por não partir da mesma maçã, e ainda sendo da mesma variedade (*Granny Smith*) podem diferir quanto a sua composição físico-química. Após a secagem, no período de 0 dias de armazenamento em temperatura ambiente (27 °C), foi observado uma redução nas taxas de PPO e POD de $8,34$ UI/min.g (28,44%) e $114,02$ UI/min.g (27,63%), respectivamente (Tabela 15). Diante disso, pode-se afirmar que o leite fluidizado promoveu um efeito

sobre as enzimas presentes nas maçãs com essas reduções, porém manteve 71,56% de PPO e 72,37% de POD nas amostras. Logo, essas taxas reduziram, consideravelmente, ao longo do armazenamento de 90 dias.

Figura 17 – Taxas da atividade enzimática de (A) PPO e (B) POD dos *snacks* de maçã incorporados com probiótico e secos em leito fluidizado armazenados por 90 dias em.



Fonte: elaborado pela autora.

Na Figura 17A os valores de PPO apresentaram como razão de variação na resposta $R^2 = 0,893$ indicando que 10,70% da variação total não foi explicada pelo modelo. Na Figura 17B os valores de POD apresentaram como razão de variação na

resposta $R^2 = 0,979$ indicando que 2,10% da variação total não foi explicada pelo modelo. A correlação da dinâmica do sistema para PPO e POD são dadas pelas Equações 13 e 14, respectivamente:

$$y = 9,143 * e^{(-x/4,183)} + 1,281 \quad (13)$$

$$y = 141,081 * e^{(-x/2,471)} + 8,208 \quad (14)$$

Na Figura 17 as taxas de PPO (Figura 17A) durante o armazenamento variaram na mesma faixa, concentrações menores do que 10 UI/min.g, da mesma forma para POD (Figura 17B) em concentrações menores do que 50 UI/min.g. A redução dessa atividade ao longo do armazenamento pode estar relacionada com o oxigênio presente dentro da embalagem que entra em contato com as amostras. Isso se explica devido a reação que pode ocorrer entre o oxigênio e as enzimas PPO e POD resultando também na oxidação de compostos fenólicos (FERNÁNDEZ-JALAO; SÁNCHEZ-MORENO; ANCOS, 2019).

4.4.3 Fenólicos totais

Os polifenóis presentes nas maçãs são compostos termolábeis que atuam como antioxidantes, logo a exposição às temperaturas mais altas de secagem, como a 50 °C, e com tempo de processamento mais curto a degradação desses compostos é baixa (RODRÍGUEZ *et al.*, 2014). Isso pode explicar o fato de após a secagem, no período de 0 dias de armazenamento em temperatura ambiente (27 °C), não ter ocorrido uma redução (14,16 equivalente em mg de ácido gálico/L) drástica na taxa dos fenólicos totais (Tabela 16). Na Tabela 16 os valores de fenólicos totais dos períodos de 0 e 7 dias ($40,91 \pm 1,40$ e $40,79 \pm 1,40$ equivalente em mg de ácido gálico/L, respectivamente) de armazenamento foram próximos.

Tabela 16 – Taxas de fenólicos totais dos *snacks* de maçã incorporados com probiótico e secos em leite fluidizado armazenados no período de 0 a 90 dias.

Período (dias)	Fenólicos Totais (equivalente em mg de ácido gálico/L)
Controle	55,07 ± 1,67
0	40,91 ± 1,40
7	40,79 ± 1,40
14	29,50 ± 1,40
21	44,17 ± 0,25
35	56,98 ± 0,25
42	11,74 ± 0,16
49	18,38 ± 0,82
60	5,81 ± 0,66
70	15,82 ± 0,66
90	11,45 ± 0,08

Fonte: elaborado pela autora.

As maçãs frescas apresentaram conteúdo de fenólicos totais de $55,07 \pm 1,67$ equivalente em mg de ácido gálico/L. No armazenamento de até 90 dias os valores de fenólicos totais variaram de $5,81 \pm 0,66$ a $56,98 \pm 0,25$ equivalente em mg de ácido gálico/L (Tabela 16). A Tabela 17 mostra que os valores de fenólicos totais no período de até 35 dias apresentaram elevadas porcentagens de fenólicos totais relativas ao controle, sendo possível julgar que o leite fluidizado gera bons resultados por preservar parte dos compostos fenólicos presentes na maçã fresca.

Segundo estudos de Akman *et al.* (2019), os quais trabalharam com secagem de maçãs impregnadas com *Lactobacillus paracasei* secas por convecção ou a vácuo a 45 °C e armazenadas por 28 dias a 4 °C, foi observado aumento da quantidade de fenólicos totais (secas a vácuo: $3,29 \pm 0,16$ para $3,37 \pm 0,34$ mg de ácido gálico/g de matéria seca e secas em forno: $3,41 \pm 0,26$ para $3,53 \pm 0,22$ mg de ácido gálico/g de matéria seca) dessas maçãs incorporadas com probióticos durante o armazenamento. O mesmo ocorreu no presente trabalho, onde no período de até 35 dias de armazenamento em temperatura ambiente (27 °C) foi possível observar quantidade de até $56,98 \pm 0,25$ equivalente em mg de ácido gálico/L, e isso pode estar relacionado à concentração de fenólicos conciliada com a baixa atividade de água (aproximadamente 0,4) resultante do processamento de secagem, bem como o efeito protetor do revestimento probiótico sobre esses compostos fenólicos (AKMAN *et al.*, 2019).

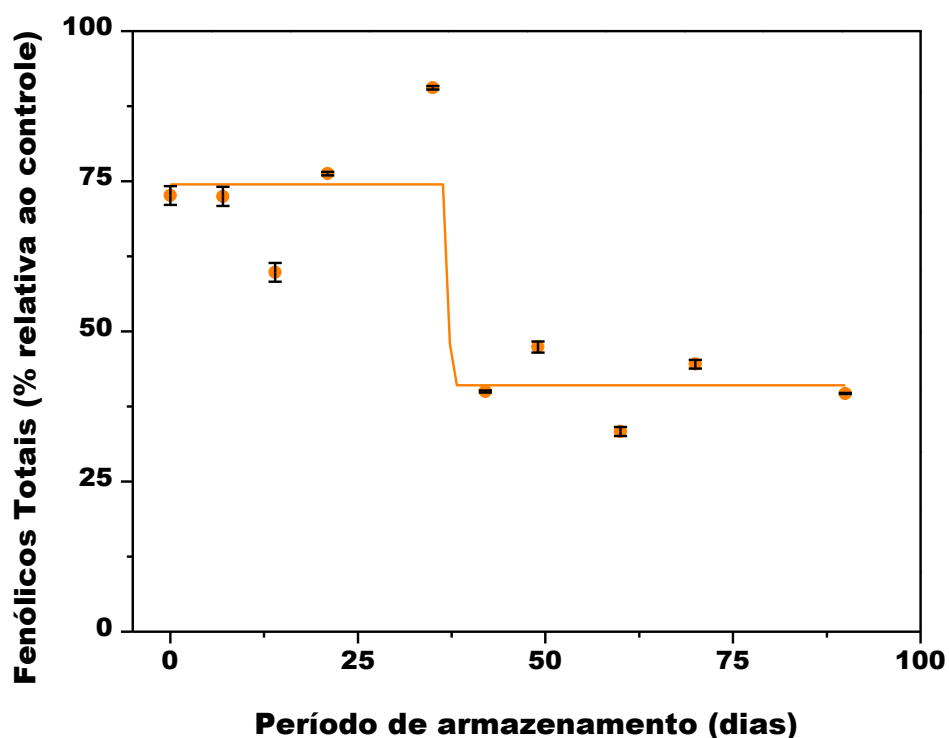
Tabela 17 – Porcentagem dos fenólicos totais dos *snacks* de maçã incorporados com probiótico e secos em leite fluidizado armazenados no período de 0 a 90 dias em relação ao controle.

Período (dias)	Fenólicos Totais (% relativa ao controle)
Controle	100,00 ± 9,37
0	72,61 ± 1,56
7	72,48 ± 1,57
14	59,85 ± 1,57
21	76,26 ± 0,28
35	90,58 ± 0,28
42	39,98 ± 0,18
49	47,41 ± 0,92
60	33,34 ± 0,74
70	44,54 ± 0,74
90	39,66 ± 0,10

Fonte: elaborado pela autora.

Estudos de Rodríguez *et al.* (2014), os quais trabalharam com a secagem de maçãs (*Granny Smith*) a 50 °C, obtiveram como resultado 26,5% de perda de fenólicos totais, valor próximo ao obtido no presente trabalho com perda de 27,39% de fenólicos totais (Tabela 17). Entretanto, no presente trabalho, que fez uso do leite fluidizado para secar os *snacks* de maçã incorporados com probiótico, manteve 72,61 ± 1,56% da quantidade relativa de fenólicos totais após a secagem (Tabela 17). Isso é um bom resultado, pois o leite fluidizado mesmo com ar de secagem a 50 °C preservou esses compostos, os quais possuem possível capacidade de proteção à saúde (SUÁREZ-JACOBO *et al.*, 2011).

Figura 18 – Porcentagem dos fenólicos dos *snacks* de maçã incorporados com probiótico e secos em leite fluidizado armazenados por 90 dias em relação ao controle.



Fonte: elaborado pela autora.

Na Figura 18 os valores de fenólicos totais apresentaram como razão de variação na resposta $R^2 = 0,734$ indicando que 26,60% da variação total não foi explicada pelo modelo. A correlação para a dinâmica do sistema para fenólicos totais é dada pela Equação 15:

$$y = 74,475 / 1 + e^{(x - 37,224 / 0,035)} \quad (15)$$

A Figura 18 apresenta a diminuição dessa quantidade relativa de fenólicos totais ao longo do armazenamento, onde a partir do período de 40 dias essa quantidade relativa cai para valores abaixo de 50% em relação ao controle. Isso pode estar relacionado ao oxigênio presente no ambiente, pois como esses fenólicos exercem atividade antioxidante podem ser degradados com a presença deste (RODRÍGUEZ *et al.*, 2014).

4.4.4 Capacidade antioxidante de DPPH

Esse método antioxidante consiste da captura do radical utilizar compostos lipofílicos presentes na maçã no qual a interação do antioxidante depende de suas conformações estruturais (BRAND-WILLIAMS; CUVELIER; BERSSET, 1995). Neste

contexto, a secagem, por se tratar de uma tecnologia que promove a concentração desses compostos presentes nas maçãs decorrente da perda de água das mesmas, pode ser uma justificativa para o aumento dessa capacidade antioxidante observado no período de até 21 dias de armazenamento em temperatura ambiente (27 °C) após a secagem desses *snacks* de maçã em leite fluidizado (Tabela 18).

Tabela 18 – Atividades antioxidantes pelo método do DPPH dos *snacks* de maçã incorporados com probiótico e secos em leite fluidizado armazenados por 90 dias.

Período (dias)	DPPH (equivalente em μmol de Trolox /L)
Controle	15,43 \pm 1,77
0	17,08 \pm 0,80
7	17,18 \pm 0,22
14	16,76 \pm 0,34
21	13,74 \pm 0,00
28	8,11 \pm 0,25
35	8,33 \pm 0,13
42	8,23 \pm 0,01
49	7,87 \pm 0,03
60	7,23 \pm 0,07
70	7,72 \pm 0,00
90	7,82 \pm 0,09

Fonte: elaborado pela autora.

Os valores de capacidade antioxidante de DPPH variaram de 7,23 \pm 0,07 a 17,18 \pm 0,22 equivalente em μmol de Trolox /L ou 1,81 \pm 0,07 a 4,30 \pm 0,22 mg de Trolox/g. A porcentagem de DPPH restante na fruta é proporcional a concentração de antioxidante (Tabela 19), logo, quanto maior o valor da capacidade antioxidante do DPPH na maçã desidratada, maior será sua capacidade antioxidante (BONDET *et al.*, 1997). Esse aumento da capacidade antioxidante nos períodos de até 21 dias pode estar relacionado com o revestimento probiótico, o qual apresenta um efeito de proteção sobre os compostos antioxidantes, o mesmo fenômeno foi observado no trabalho de AKMAN *et al.* (2019), o qual no período de 28 dias de armazenamento houve aumento do DPPH nas amostras de maçãs incorporadas com *Lactobacillus paracasei* secas a vácuo (6,06 \pm 0,26 equivalente a mg Trolox/g) em forno (5,61 \pm 0,28 equivalente a mg Trolox/g) em relação a amostra controle (4,66 \pm 0,24 e 4,67 \pm 0,05 equivalente a mg Trolox/g, respectivamente).

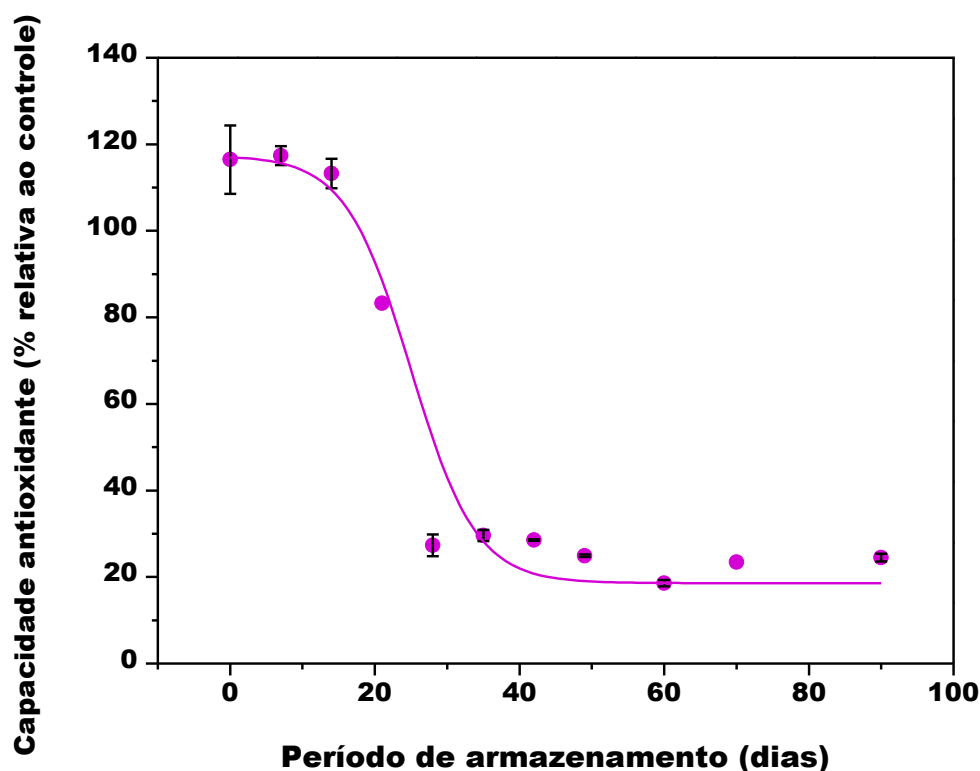
Tabela 19 – Porcentagem da capacidade antioxidante dos *snacks* de maçã incorporados com probiótico e secos em leite fluidizado armazenados por 90 dias em relação ao controle.

Período (dias)	DPPH (% relativa ao controle)
Controle	100,00 ± 8,45
0	116,46 ± 7,93
7	117,40 ± 2,20
14	113,24 ± 3,38
21	83,25 ± 0,00
28	27,30 ± 2,50
35	29,58 ± 1,32
42	28,54 ± 0,15
49	24,91 ± 0,29
60	18,58 ± 0,73
70	23,46 ± 0,00
90	24,50 ± 0,88

Fonte: elaborado pela autora.

Na Tabela 19, os valores da capacidade antioxidante dos *snacks* nos períodos de 0 a 14 dias ($116,46 \pm 7,93$; $117,40 \pm 2,20$; $113,24 \pm 3,38\%$ relativa ao controle) foram os valores que apresentaram maior capacidade antioxidante em relação à maçã fresca. Entretanto, nos períodos de 28 a 90 dias esses valores da capacidade antioxidante foram menores do que os períodos anteriores. Na Figura 19 pode-se observar uma certa constância nos valores de capacidade antioxidante pelo método do DPPH após o período de 28 dias, com valores variando de $18,58 \pm 0,73$ a $27,30 \pm 2,50\%$ em relação ao controle (Tabela 19). Essa diminuição da capacidade antioxidante pode estar relacionada ao prolongamento do período de armazenamento (90 dias) em temperatura ambiente ($27\text{ }^{\circ}\text{C}$), como também à predisposição ao contato com o oxigênio presente no ambiente por não ser embalado à vácuo.

Figura 19 – Análise da capacidade antioxidante pelo método do DPPH dos *snacks* de maçã incorporados com *B. coagulans* secos em leite fluidizados no armazenamento de 90 dias.



Fonte: elaborado pela autora.

Na Figura 19 os valores da capacidade antioxidante apresentaram como razão de variação na resposta $R^2 = 0,993$ indicando que 0,70% da variação total não foi explicada pelo modelo. A correlação para a dinâmica do sistema para capacidade antioxidante é dada pela Equação 16:

$$y = 116,112 / 1 + e^{((x - 22,031) / dx)} \quad (16)$$

4.4.5 Vitaminas E

A vitamina E é uma das mais relevantes presentes nas maçãs (FERNANDES *et al.*, 2010). Essa vitamina é um micronutriente lipossolúvel que exerce atividade antioxidante e tem como sua forma bioativa mais importante o α -tocoferol (FERNANDES *et al.*, 2016). Segundo estudos de Fernandes *et al.* (2016) a forma α -tocoferol é muito instável e pode ser oxidada durante o processamento térmico e o armazenamento. Isso explica o fato de, no presente trabalho, após o processamento de

secagem em leite fluidizado ocorrer a redução dos valores de vitamina E nos *snacks* de maçã incorporados com probiótico (Tabela 20). A quantidade relativa de vitamina E foi determinada considerando a quantidade de vitamina na maçã fresca como 100%.

Tabela 20 – Porcentagem de vitamina E dos *snacks* de maçã incorporados com probiótico e secos em leite fluidizado armazenados por 90 dias em relação a fruta fresca, destacando os controles de cada lote de processamento.

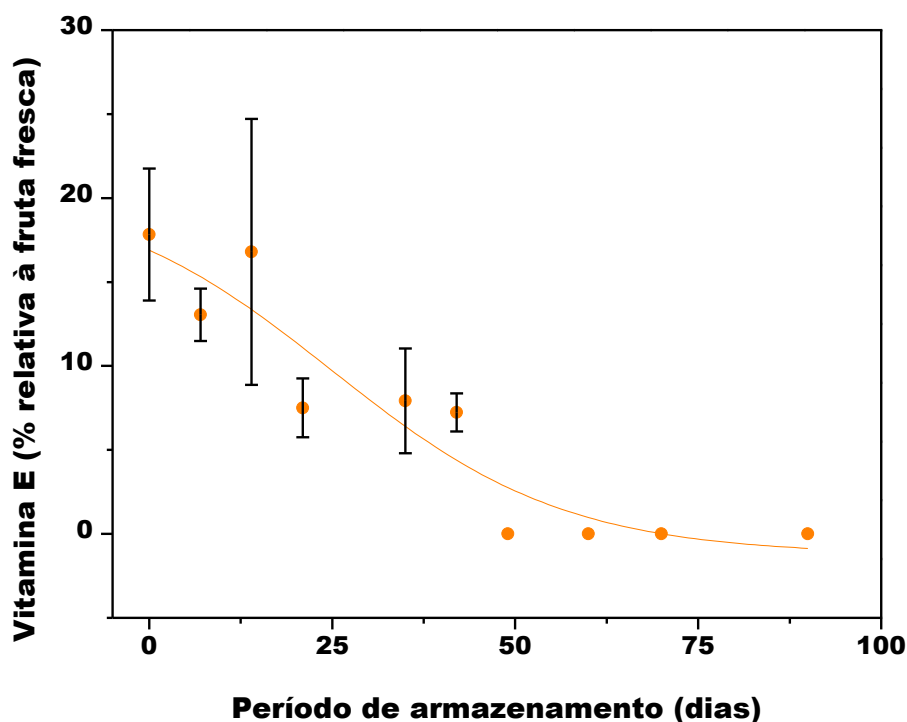
Amostras	Vitamina E (% relativa à fruta fresca)
Controle	131,50 ± 15,56
0 dias	17,83 ± 3,93
7 dias	13,04 ± 1,56
14 dias	16,80 ± 7,92
Controle	129,30 ± 0,85
21 dias	7,50 ± 1,75
28 dias	7,93 ± 3,12
35 dias	7,23 ± 1,14
Controle	6,15 ± 2,90
42 dias	0,00 ± 0,00
49 dias	0,00 ± 0,00
60 dias	0,00 ± 0,00
Controle	11,45 ± 5,44
70 dias	0,00 ± 0,00
90 dias	0,00 ± 0,00

Fonte: elaborado pela autora.

Os resultados apresentaram controles com concentrações variadas de vitamina E, e isso ocorre por se tratarem de maçãs de lotes diferentes. Logo, as maçãs dos períodos de 0 a 14 dias obtiveram valores variando de $13,04 \pm 1,56$ a $17,83 \pm 3,93\%$ relativa a fruta fresca, os quais são considerados como próximos (Tabela 20). Bem como os valores de vitamina E nos períodos de 21 a 35 dias ($7,23 \pm 1,14$ a $7,93 \pm 3,12\%$ relativa à fruta fresca) também foram próximos (Tabela 20). Já nos períodos de 42 a 90 dias não apresentaram quantidades mensuráveis de vitamina E.

A secagem promoveu uma perda significativa dessa vitamina, por ser sensível ao aumento da temperatura. Estudos de Fernandes *et al.* (2015b), os quais trabalharam com secagem de maçãs em secador de ar quente a 45 e 60 °C, mostraram que o fator principal que influenciou na redução da quantidade relativa de vitamina E foi a temperatura. Isso está condizendo com a redução dessa vitamina no presente trabalho, onde houve redução de 86,44% após a secagem em leite fluidizado a 50 °C.

Figura 20 – Porcentagem da vitamina E dos *snacks* de maçã com *B. coagulans* após o processamento em leite fluidizado no período de armazenamento de 90 dias relativa à fruta fresca.



Fonte: elaborado pela autora.

Na Figura 20 os valores de vitamina E apresentaram como razão de variação na resposta $R^2 = 0,830$ indicando que 17,0% da variação total não foi explicada pelo modelo. A correlação para a dinâmica do sistema para vitamina E é dada pela Equação 17:

$$y = 20,725 / 1 + e^{((x - 24,915) / 16,004)} \quad (17)$$

A Figura 20 apresenta as quantidades relativas de vitamina E onde no período inferiores a 40 dias são observados valores maiores do que 5% e menores do que 20% em relação ao controle, após esse período a quantidade de vitamina E não é mensurável. Isso pode estar relacionado ao fato dessa vitamina se comportar como um antioxidante (FERNANDES *et al.*, 2010) e sua degradação ocorrer com o tempo de armazenamento em temperatura ambiente (27 °C), o que predispõe as amostras ao contato com o oxigênio. Portanto, mesmo a embalagem desses *snacks* sendo de polietileno combinado com alumínio laminado, a selagem não foi realizada a vácuo, logo, parte do oxigênio presente no ambiente pode ter permanecido dentro da embalagem o que ocasionou a degradação dessa vitamina E.

5 CONCLUSÃO

O pré-tratamento em ultrassom reduziu o tempo (até 60 min) de secagem nos testes com temperatura a 30 °C, provando a eficiência dessa tecnologia precedente a secagem. O *snack* de maçã incorporado com probiótico obteve bons resultados quanto a viabilidade do *B. coagulans* (8,0 e 9,0 logs UFC/30 g de porção) durante o armazenamento a temperatura ambiente (27 °C) por 90 dias, estando nas conformidades de um alimento probiótico.

A modelagem matemática determinada a partir da Lei de Fick foi expressiva no cálculo da difusividade efetiva da água dos *snacks* de maçã na cinética de secagem em leite fluidizado, obtendo como valor máximo $2,81 \times 10^{-9} \pm 0,74 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ no tratamento na temperatura de 50 °C. Outros resultados dessa cinética de secagem foram satisfatórios como atividade de água e umidade que mantiveram os valores próximos a 0,4 ($0,383 \pm 0,05$ a $0,455 \pm 0,02$) e 10% ($7,79 \pm 1,79$ a $10,85 \pm 0,88\%$), respectivamente. Estes valores estão dentro da faixa de valores para alimentos secos seguros de deterioração por ativação das enzimas e/ou contaminação microbiológica.

Nos resultados da ANOVA os modelos estudados foram representativos a um nível de 95% de confiança para atividade de água, difusividade efetiva da água e área de recobrimento do revestimento probiótico nos *snacks* de maçã. Além disso, na análise de regressão para área de recobrimento do revestimento sobre os *snacks* obteve maior resultado para o revestimento otimizado (0,125 g de HEC e 11,7 µL de PEC) do que os revestimentos determinados no DCCR, obtendo $77,71 \pm 4,60\%$ de área recoberta. Esse revestimento otimizado foi, então, o escolhido para incorporação do probiótico e aplicação nos *snacks* em leite fluidizado.

A secagem em leite fluidizado preservou $72,61 \pm 1,56\%$ dos compostos fenólicos em relação ao controle, esse fato pode estar relacionado com o efeito protetor que o revestimento probiótico exerce sobre esses compostos. A capacidade antioxidante dos *snacks* de maçã incorporados com *B. coagulans* nos períodos de até 21 dias apresentou aumento ($83,25 \pm 0,00$ a $117,40 \pm 2,20\%$ em relação ao controle), isso pode estar relacionado com a baixa atividade de água da maçã desidratada que promove o aumento da biodisponibilidade dos compostos lipofílicos utilizados na captura dos radicais.

Neste contexto, o leite fluidizado tem a capacidade de realizar a secagem e a aplicação do revestimento probiótico no mesmo processamento, podendo, assim, ser considerada uma técnica de secagem adequada para a formulação desses *snacks* de maçã.

REFERÊNCIAS

- ABRAL, H.; LAWRENSIUS, V.; HANDAYANI, D.; SUGIARTI, E. Preparation of nano-sized particles from bacterial cellulose using ultrasonication and their characterization. **Carbohydrate Polymers**, v. 191, p. 161-167, 2018.
- AKMAN, P. K.; UYSAL, E. U.; OZKAYA, G. U.; TORNUK, F.; DURAK, M. Z. Development of probiotic carrier dried apples for consumption as snack food with the impregnation of *Lactobacillus paracasei*. **LWT - Food Science and Technology**, v. 103, p. 60-68, 2019.
- ALI, U.; KANWAR, S.; YADAV, K.; BASU, S.; MAZUMDER, K. Effect of arabinoxylan and β -glucan stearic acid ester coatings on post-harvest quality of apple (*Royal Delicious*). **Carbohydrate Polymer**, v. 209, p. 338-349, 2019.
- ALVES, S. B. **Estudo teórico e experimental do processo de secagem do abacate (*Persea americana Mill.*)**. 2014. 140 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2014.
- ALVES, N. N.; MESSAOUD, G. B.; DESOBRY, S.; COSTA, J. M. C.; RODRIGUES, S. Effect of drying technique and feed flow rate on bacterial survival and physicochemical properties of a non-dairy fermented probiotic juice powder. **Journal of Food Engineering**, v. 189, p. 45-54, 2016.
- ALVES, N. N.; SANCHO, S. DE O.; SILVA, A. R. A. DA; DESOBRY, S.; COSTA, J. M. C. DA; RODRIGUES, S. Spouted bed as an efficient processing for probiotic orange juice drying. **Food Research International**, v. 101, p. 54-60, 2017.
- AMINLARI, L.; SHEKARFOROUSH, S. S.; HOSSEINZADEH, S.; NAZIFI, S.; SAJEDIANFARD, J.; ESKANDARI, M. H. Effect of Probiotics *Bacillus coagulans* and *Lactobacillus plantarum* on Lipid Profile and Feces Bacteria of Rats Fed Cholesterol-Enriched Diet. **Probiotics and Antimicrobial Proteins**, v. 11, n. 4, p. 1163-1171, 2019.
- ARAÚJO, C. DA S.; MACEDO, L. L.; VIMERCATI, W. C.; SARAIVA, S. H.; OLIVEIRA, A. DO N.; TEIXEIRA, L. J. Q. Cinética de secagem de acerola em leito de espuma e ajuste de modelos matemáticos. **Brazilian Journal of Food Technology Campinas**, v. 20, p. 1-9, 2017.
- BASIAK, E.; LINKE, M.; DEBEAUFORT, F.; LENART, A.; GEYER, M. Dynamic behaviour of starch-based coatings on fruit surfaces. **Postharvest Biology and Technology**, v. 147, p. 166-173, 2019.
- BERK, Z. **Food Process Engineering and Technology**. 3. ed. Israel: Academic Press, 580 p., 2018.
- BHANVASE, B. A.; DARDA, N. S.; VEERKAR, N. C.; SHENDE, A. S.; SATPUTE, S. R.; SONAWANE, S. H. Ultrasound assisted synthesis of PANI/ZnMoO₄ nanocomposite for simultaneous improvement in anticorrosion, physico-chemical properties and its application in gas sensing. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 24, p. 87-97, 2015.

BHUYAN, A. A.; MEMON, A. M.; BHUIYAN, A. A.; ZHONGHUA, L.; ZHANG, B.; YE, S.; MENGYING, L.; HE, Q.-G. The construction of recombinant *Lactobacillus casei* expressing BVDV E2 protein and its immune response in mice. **Journal of Biotechnology**, v. 270, p. 51-60, 2018.

BONDET, V.; BRAND-WILLIAMS, W.; BERSET, C. Kinetics and mechanisms of antioxidant activity using the DPPH free radical method. **LWT - Food Science and Technology**, v. 30, p. 609-615, 1997.

BOUCHER, R. M. G. Drying by air borne ultrasonics. **Ultrasonic News**, v. 3, n. 2, p. 8-9,14-16, 1959.

BRAND-WILLIAMS, W.; CUVELIER, M. E.; BERSET, C. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. **LWT - Food Science and Technology**, v. 28, n. 1, p. 25-30, 1995.

BROOKER, D. B.; BAKKER-ARKEMA, F. W.; HALL, C. W. **Drying and Storage of Grains and Oilseeds**. New York: van Nostrand Reinhold, 450 p., 1992.

BUDHAVARAM, N. K.; FAN, Z. Production of lactic acid from paper sludge using acid-tolerant, thermophilic *Bacillus coagulans* strains. **Bioresource Technology**, v. 100, n. 23, p. 5966-5972, 2009.

BURITI, F. C. A.; SAAD, S. M. I. Bactérias do grupo *Lactobacillus casei*: caracterização, viabilidade como probióticos em alimentos e sua importância para a saúde humana. **Archivos Latinoamericanos de Nutricion**. v. 57, n. 4, p. 373- 380, 2007.

CANO-LAMADRID, M.; LECH, K.; CALÍN-SÁNCHEZ, Á.; ROSAS-BURGOS, E. C.; FIGIEL, A.; WOJDYLO, A.; WASILEWSKA, M.; CARBONELL-BARRACHINA, Á. A. Quality of pomegranate pomace as affected by drying method. **Journal of Food Science and Technology**, v. 55, n. 3, p. 1074-1082, 2018.

CARTER, A.; BRIENS, L. Inline acoustic monitoring to determine fluidized bed performance during pharmaceutical coating. **International Journal of Pharmaceutics**, v. 549, n. 1-2, p. 293-298, 2018.

CASTRO, A. M.; MAYORGA, E. Y.; MORENO, F. L. Mathematical modelling of convective drying of fruits: A review. **Journal of Food Engineering**, v. 223, p. 152-167, 2018.

ÇAKMAK, R. Ş.; TEKEOĞLU, O.; BOZKIR, H.; ERGÜN, A. R.; BAYSAL, T. Effects of electrical and sonication pretreatments on the drying rate and quality of mushrooms. **LWT - Food Science and Technology**, v. 69, p. 197-202, 2016.

CBI. **Exporting dried fruit to the United Kingdom**. Processed Fruit and Vegetables and Edible Nuts, Dried fruit United Kingdom, 2016. Disponível em: <<https://www.cbi.eu/market-information/processed-fruit-vegetables-edible-nuts/dried-fruit/uk/>>. Acesso em: 09 novembro 2018.

CHENG, S.; WANG, P.; TAO, C.; ZHANG, D.; LI, Z.; YAMAGUCHI, Y. The effect of electrophoretic parameters on separation performance of short DNA fragments. **Analytical Biochemistry**, v. 556, p. 99-103, 2018.

CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. **Pós-colheita de Frutas e Hortaliças: Fisiologia e Manuseio**. 2. ed. Lavras: UFLA, 785 p., 2005.

COSTA, A. R. DA S. **Sistema de secagem solar para frutos tropicais e modelagem da secagem de banana em um secador de coluna estática**. 2008. 169 f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2008.

CRANK, J.; GRUPTA, R. S. Isotherm migration method in two dimensions. **International Journal of Heat and Mass Transfer**, v. 18, p. 1101-1107, 1975.

DAMODARAN, S.; PARKIN, K. L.; FENNEMA, O. R. Água e gelo. **Química de Alimentos de Fennema**. 4. ed., Artmed, Porto Alegre, 900 p., 2010.

DANTAS, D.; PASQUALI, M. A.; CAVALCANTI-MATA, M.; DUARTE, M. E.; LISBOA, H. M. Influence of spray drying conditions on the properties of avocado powder drink. **Food Chemistry**, v. 266, p. 284-291, 2018.

DAS, S.; SEN, R. Kinetic modeling of sporulation and product formation in stationary phase by *Bacillus coagulans* RK-02 vis-a-vis other Bacilli. **Bioresource Technology**, v. 102, n. 20, 9659–9667, 2011.

DEFRAEYE, T.; RADU, A. Insights in convective drying of fruit by coupled modeling of fruit drying, deformation, quality evolution and convective exchange with the airflow. **Applied Thermal Engineering**, v. 129, p. 1026–1038, 2018.

DEFRAEYE, T.; VERBOVEN, P. Convective drying of fruit: Role and impact of moisture transport properties in modelling. **Journal of Food Engineering**, v. 193, p. 95–107, 2017.

ENACHI, E.; GRIGORE-GURGU, L.; APRODU, I.; STĂNCIUC, N.; DALMADI, I.; BAHRIM, G.; RÂPEANU, G.; CROITORU, C. Extraction, purification and processing stability of peroxidase from plums (*Prunus domestica*). **International Journal of Food Properties**, v. 21, n. 1, p. 2744-2757, 2018.

ERICKSON, L. K.; HUBBARD, E. N. Probiotic immunomodulation in health and disease. **Journal of Nutrition**, v. 130, p. 403-109, 2000.

ESPITIA, P. J. P.; BATISTA, R. A.; AZEREDO, H. M. C.; OTONI, C. G. Probiotics and their potential applications in active edible films and coatings. **Food Research International**, v. 90, p. 42-52, 2016.

FAO/WHO. Food and Agriculture Organization of the United Nations; World Health Organization. **Evaluation of health and nutritional properties of probiotics in food including powder milk with live lactic acid bacteria**. Córdoba, 61 Argentina, 56 p.,

2001. Disponível em: <http://www.fao.org/3/a-a0512e.pdf>. Acesso em: 19 outubro 2018.

FENG, Y.; YU, X.; YAGOUB, A. E. A.; XU, B.; WU, B.; ZHANG, L.; ZHOU, C. Vacuum pretreatment coupled to ultrasound assisted osmotic dehydration as a novel method for garlic slices dehydration. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 50, p. 363-372, 2019.

FERNÁNDEZ-JALAO, I.; SÁNCHEZ-MORENO, C.; ANCOS, B. DE. Effect of high-pressure processing on flavonoids, hydroxycinnamic acids, dihydrochalcones and antioxidant activity of apple 'Golden Delicious' from different geographical origin. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 51, p. 20-31, 2019.

FERNANDES, F. A. N.; GALLÃO, M. I.; RODRIGUES, S. Effect of osmotic dehydration and ultrasound pre-treatment on cell structure: Melon dehydration. **LWT - Food Science and Technology**, v. 41, n. 4, p. 604-610, 2009a.

FERNANDES, F. A. N.; GALLÃO, M. I.; RODRIGUES, S. Effect of osmosis and ultrasound on pineapple cell tissue structure during dehydration. **Journal of Food Engineering**, v. 90, n. 2, p.186-190, 2009b.

FERNANDES, F. A. N.; LINHARES JR, F. E.; RODRIGUES, S. Ultrasound as pre-treatment for drying of pineapple. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 15, n. 6, p. 1049-1054, 2008.

FERNANDES, F. A. N.; OLIVEIRA, F. I. P.; RODRIGUES, S. Use of Ultrasound for Dehydration of Papayas. **Food and Bioprocess Technology**, v. 1, n. 4, p. 339-345, 2007.

FERNANDES, F. A. N.; OLIVEIRA, V. S.; GOMES, W. F.; RODRIGUES, S. Degradation kinetics of vitamin E during ultrasound application and the adjustment in avocado purée by tocopherol acetate addition. **LWT - Food Science and Technology**, v. 69, p. 342-347, 2016.

FERNANDES, F. A. N.; RODRIGUES, S. Ultrasound as pre-treatment for drying of fruits: Dehydration of banana. **Journal of Food Engineering**, v. 82, n. 2, p. 261-267, 2007.

FERNANDES, F. A. N.; RODRIGUES, S.; GÁRCIA-PÉREZ, J. V.; CÁRCEL, J. A. Effects of Ultrasound-Assisted Air Drying on Vitamins and Carotenoids of Cherry Tomatoes. **Drying Technology**, v. 34, n. 8, p. 986-996, 2015a.

FERNANDES, F. A. N.; RODRIGUES, S.; CÁRCEL, J. A.; GARCÍA-PÉREZ, J. V. Ultrasound-Assisted Air-Drying of Apple (*Malus domestica L.*) and Its Effects on the Vitamin of the Dried Product. **Food and Bioprocess Technology**, v. 8, n. 7, p. 1503-1511, 2015b.

FERNANDES, F. A. N.; RODRIGUES, S.; LAW, C. L.; MUJUMDAR, A. S. Drying of Exotic Tropical Fruits: A Comprehensive Review. **Food and Bioprocess Technology**, v. 4, n. 2, p. 163-185, 2010.

- FONTANA, A.; ZACCONI, C.; MORELLI, L. Genetic Signatures of Dairy *Lactobacillus casei* Group. **Frontiers in Microbiology**, v. 9, p. 1-9, 2018.
- GAMA, M. J. DE A.; MATA, M. E. R. M. C.; DUARTE, M. E. M.; ARAGÃO, R. F.; FARIAS, P. DE A. Difusividade térmica aparente de sementes de cajá em temperaturas acima do congelamento até ultrabaixas temperaturas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 3, p. 303-308, 2012.
- GAMBOA-SANTOS, J.; MONTILLA, A.; CÁRCEL, J. A.; VILLAMIEL, M.; GARCIA-PEREZ, J. V. Air-borne ultrasound application in the convective drying of strawberry. **Journal of Food Engineering**, v. 128, p. 132-139, 2014.
- GAVA, A. J.; SILVA, C. A. B. DA; FRIAS, J. R. G. **Tecnologia de alimentos: princípios e aplicações**. São Paulo: Nobel, 511 p., 2008.
- GLASER, R.; VENUS, J. Model-based characterisation of growth performance and L-lactic acid production with high optical purity by thermophilic *Bacillus coagulans* in a lignin-supplemented mixed substrate medium. **New Biotechnology**, v. 37, parte B, p. 180-193, 2017.
- GOSAVI, S.; KULKARNI, N.; MATHPATI, C. S.; MANDAL, D. CFD modeling to determine the minimum fluidization velocity of particles in gas-solid fluidized bed at different temperatures. **Powder Technology**, v. 327, p. 109-119, 2018.
- GREGUSS, P. The mechanism and possible applications of drying by ultrasonic irradiation. **Ultrasonics**, v 1, n. 2, p. 83-86, 1963.
- HAN, Q.-Y.; LIU, F.; LI, M.; WANG, K.-L.; NI, Y.-Y. Comparison of biochemical properties of membrane-bound and soluble polyphenol oxidase from Granny Smith apple (*Malus × domestica* Borkh.). **Food Chemistry**, v. 289, p. 657-663, 2019.
- HOU, F.; FAN, L.; MA, X.; WANG, D.; WANG, W.; DING, T.; YE, X.; LIU, D. Degradation of carboxymethylcellulose using ultrasound and β -glucanase: Pathways, kinetics and hydrolysates' properties. **Carbohydrate Polymers**, v. 201, p. 514-521, 2018.
- HUANG, D.; OU, B.; PRIOR, R. L. The Chemistry behind Antioxidant Capacity Assays. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 53, n. 6, p. 1841-1856, 2005.
- HYRONIMUS, B.; MARREC, C. L.; SASSI, A. H.; DESCHAMPS, A. Acid and bile tolerance of spore-forming lactic acid bacteria. **International Journal of Food Microbiology**, v. 61, n. 2-3, p. 193-197, 2000.
- INYANG, U. E.; OBOH, I. O.; ETUK, B. Reuben Kinetic Models for Drying Techniques Food Materials. **Advances in Chemical Engineering and Science**, v. 8, n. 2, p. 27-48, 2018.

ISOLAURI, E.; SÜTAS, Y.; KANKAANPÄÄ, P.; ARVILOMMI, H.; SALMINEN, S. Probiotics: effects on immunity. **The American Journal of Clinical Nutrition**, v. 73, n. 2, p. 444-450, 2001.

KAJIKAWA, H., AMARI, M., MASAKI, M. Glucose transport by mixed ruminal bacteria from a cow. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 63, p. 1847–1851, 1997.

KALETA, A.; GÓRNICKI, K.; WINICZENKO, R.; CHOJNACKA, A. Evaluation of drying models of apple (var. Ligol) dried in a fluidized bed dryer. **Energy Conversion and Management**, v. 67, p. 179–185, 2013.

KAPSE, N. G.; ENGINEER, A. S.; GOWDAMAN, V.; WAGH, S.; DHAKEPHALKAR, P. K. Functional annotation of the genome unravels probiotic potential of *Bacillus coagulans* HS243. **Genomics**, v. 111, n. 4, p. 921-929, 2019.

KARIDURAGANAVAR, M. Y.; KITTUR, A. A.; KAMBLE, R. R. Polymer Synthesis and Processing. In: KUMBAR, S. G.; LAURENCIN, C. T.; DENG, M. **Natural and Synthetic Biomedical Polymers**. India (Dharwad): Elsevier Science, cap. 1., p. 1-31, 2014. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-396983-5.00001-6>>. Acesso em: 20 nov. 2018.

KAUR, K.; JUGLAN, K. C.; KUMAR, H. Acoustical and volumetric investigation of polyethylene glycol 400 and polyethylene glycol 4000 in aqueous solutions of glycerol at different temperatures. **The Journal of Chemical Thermodynamics**, v. 127, p. 8-16, 2018.

KAYA, A.; AYDIN, O.; DEMIRTAŞ, C. Drying Kinetics of Red Delicious Apple. **Biosystems Engineering**, v. 96, n. 4, p. 517-524, 2007.

KEEY, R. B. **Drying principles and practice**. New York: Oxford, 358 p., 1972.

KHORASANI, A. C.; SHOJAOSADATI, S. A. Starch- and carboxymethylcellulose-coated bacterial nanocellulose-pectin bionanocomposite as novel protective prebiotic matrices. **Food Hydrocolloids**, v. 63, p. 273-285, 2017.

KUDRA, T.; MUJUMDAR, A. S. **Advanced Drying Technologies**. 2 ed. New York: Boca Raton, 438 p., 2009.

LÉONARD, A.; BLACHER, S.; NIMMOL, C.; DEVAHASTIN, S. Effect of far-infrared radiation assisted drying on microstructure of banana slices: An illustrative use of X-ray microtomography in microstructural evaluation of a food product. **Journal of Food Engineering**, v. 85, n. 1, p. 154-162, 2008.

LI, W.; YUE, J.; LIU, S. Preparation of nanocrystalline cellulose via ultrasound and its reinforcement capability for poly (vinyl alcohol) composites. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 19, n. 3, p. 479-485, 2012.

LI, X.; BI, J.; CHEN, Q.; JIN, X.; WU, X.; ZHOU, M. Texture improvement and deformation inhibition of hot air-dried apple cubes via osmotic pretreatment coupled

with instant control pressure drop (DIC). **LWT - Food Science and Technology**, v. 101, p. 351-359, 2019.

LIU, Y.; ZHU, J.-X. (Jesse). Hydrodynamics of a bubble-driven liquid-solid fluidized bed. **Chemical Engineering Science**, p. 1-7, 2018.

LUDWIG, W.; PIŁUSZKA, P. Euler-Lagrange model of particles circulation in a spout-fluid bed apparatus for dry coating. **Powder Technology**, v. 328, p. 375-388, 2018.

MA, K.; MAEDA, T.; YOU, H.; SHIRAI, Y. Open fermentative production of L-lactic acid with high optical purity by thermophilic *Bacillus coagulans* using excess sludge as nutrient. **Bioresource Technology**, v. 151, p. 28-35, 2014.

MAGALHÃES, M. L. **Modelagem e simulação do processo de secagem convectiva utilizando modelo diferencial difusivo-convectivo resolvido pelo método numérico dos volumes finitos**. 2016. 61 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2016.

MAGALHÃES, M. L.; CARTAXO, S. J. M.; GALLÃO, M. I.; GARCÍA-PÉREZ, J. V.; CÁRCEL, J. A.; RODRIGUES, S.; FERNANDES, F. A. N. Drying intensification combining ultrasound pre-treatment and ultrasound-assisted air drying. **Journal of Food Engineering**, v. 215, p.72-77, 2017.

MAHIUDDIN, M.; KHAN, M. I. H.; KUMAR, C.; RAHMAN, M. M.; KARIM, M. A. Shrinkage of Food Materials During Drying: Current Status and Challenges. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 17, n. 5, p. 1113-1126, 2018.

MAJEED, M.; KAMAREI, R. *Bacillus coagulans*: Probiotic of choice. **Prebiotics/Probiotics**, p. 19-21, 2012.

MAJEED, M.; MAJEED, S.; NAGABHUSHANAM, K.; NATARAJAN, S.; SIVAKUMAR, A.; ALI, F. Evaluation of the stability of *Bacillus coagulans* MTCC 5856 during processing and storage of functional foods. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 51, n. 4, p. 894-901, 2016.

MAJEED, M.; MAJEED, S.; NAGABHUSHANAM, K.; ARUMUGAM, S.; BEEDE, K.; ALI, F. Evaluation of probiotic *Bacillus coagulans* MTCC 5856 viability after tea and coffee brewing and its growth in GIT hostile environment. **Food Research International**, v. 121, p. 497-505, 2018.

MARCIAL-COBA, M. S.; PJACA, A. S.; ANDERSEN, C. J.; KNOCHER, S.; NIELSEN, D. S. Dried date paste as carrier of the proposed probiotic *Bacillus coagulans* BC4 and viability assessment during storage and simulated gastric passage. **LWT - Food Science and Technology**, v. 99, p. 197-201, 2019.

MATHUR, K. B.; EPSTEIN, N. **Spouted beds**. New York: Academic Press, 304p., 1974.

MATSUNO, H.; URITANI, I. Physiological behavior of peroxidase isozymes in sweet

potato root tissue injured by cutting or with black rot. **Plant and Cell Physiology**, Kyoto, v.13, p. 1091-1101, 1972.

MIERZWA, D.; KOWALSKI, S. J. Ultrasound-assisted osmotic dehydration and convective drying of apples: Process kinetics and quality issues. **Chemical and Process Engineering**, v. 37, n. 3, p. 383-391, 2016.

MOHAMMADIAN, E.; RAHIMPOUR, E.; MARTINEZ, F.; JOUYBAN, A. Budesonide solubility in polyethylene glycol 400 + water at different temperatures: Experimental measurement and mathematical modelling. **Journal of Molecular Liquids**, v. 274, p. 418-425, 2019.

MUSIELAK, G.; MIERZWA, D.; KROEHNKE, J. Food drying enhancement by ultrasound – A review. **Trends in Food Science and Technology**, v. 56, p. 126-141, 2016.

MUSSI, L. P.; GUIMARÃES, A. O.; FERREIRA, K. S.; PEREIRA, N. R. Spouted bed drying of jambolão (*Syzygium cumini*) residue: Drying kinetics and effect on the antioxidant activity, anthocyanins and nutrients contents. **LWT - Food Science and Technology**, v. 61, n. 1, p. 80-88, 2015.

NIAMNUY, C.; DEVAHASTIN, S. Drying kinetics and quality of coconut dried in a fluidized bed dryer. **Journal of Food Engineering**, v. 66, n. 2, p. 267-271, 2005.

NICOLETI, J. F. **Secagem de Caqui em Condições Controladas: Efeito sobre a Qualidade do Produto e Consumo Energético**. 2005. 149 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Alimentos, Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, São Paulo (Campinas), 2005.

NYANGALE, E. P.; FARMER, S.; KELLER, D.; CHERNOFF, D.; GIBSON, G. R. Effect of prebiotics on the fecal microbiota of elderly volunteers after dietary supplementation of *Bacillus coagulans* GBI-30, 6086. **Anaerobe**, v. 30, p. 75-81, 2014.

ODELEYE, A. O. O.; CHUI, C.-Y.; NGUYEN, L.; CASTREJÓN-PITA, A. A.; YE, H.; CUI, Z. On the use of 3D-printed flow distributors to control particle movement in a fluidized bed. **Chemical Engineering Research and Design**, v. 140, p. 194-204, 2018.

OETTERER, M.; REGITANO-D'ARCE, M. A. B.; SPOTO, M. H. F. **Fundamentos de Ciência e Tecnologia de Alimentos**. São Paulo (Barueri): Manole, 612 p., 2006.

ODRIOZOLA-SERRANO, I.; SOLIVA-FORTUNY, R.; MARTÍN-BELLOSO, O. Antioxidant properties and shelf-life extension of fresh-cut tomatoes stored at different temperatures. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 88, p. 2606-2614, 2008.

OLIVEIRA, F. I. P. DE. **Estudo do processo de produção em jambo desidratado sob a aplicação de ultra-som**. 2010. 91 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2010.

ORDOÑEZ, Y. A. C.; MESA, E. M. E.; RODRÍGUEZ, M. C. The influence of drying

on the physiological quality of cape gooseberry (*Physalis peruviana L.*) fruits added with active components. **Acta Agronómica**, v. 66, n. 4, p. 512-518, 2017.

PAES, M. S.; PINTOR, J. P. F. D.; FILHO, P. DE A. P.; TADINI, C. C. Mass transfer modeling during osmotic dehydration of cambuci (*Campomanesia phaea* (O. Berg) Landrum) slices and quality assessment. **Journal of Molecular Liquids**, v. 273, p. 408-413, 2019.

PASCUAL-PINEDA, L. A.; FLORES-ANDRADE, E.; ALAMILLA-BELTRÁN, L.; CHANONA-PÉREZ, J. J.; BERISTAIN, C. I.; GUTIÉRREZ-LÓPEZ, G. E.; AZUARA, E. Micropores and Their Relationship with Carotenoids Stability: A New Tool to Study Preservation of Solid Foods. **Food and Bioprocess Technology**, v. 7, n. 4, p. 1160-1170, 2014.

PASSOS, M. L.; MASSARANI, G.; FREIRE, J. T.; MUJUMDAR, A. S. Drying of pastes in spouted beds of inert particles: design criteria and modeling. **Drying Technology**, v. 15, n. 2, p. 605-624, 1997.

PEREIRA, A. L. F.; MACIEL, T. C.; RODRIGUES, S. Probiotic beverage from cashew apple juice fermented with *Lactobacillus casei*. **Food Research International**, v. 44, n. 5, p. 1276-1283, 2011.

PUENTE-DÍAZ, L.; AH-HEN, K.; VEGA-GÁLVEZ, A.; LEMUS-MONDACA, R.; SCALA, K. D. Combined Infrared-Convective Drying of Murta (*Ugni molinae Turcz*) Berries: Kinetic Modeling and Quality Assessment. **Drying Technology**, v. 31, n. 3, p. 329-338, 2013.

RIVERA-ESPINOZA, Y.; GALLARDO-NAVARRO, Y. Non-dairy probiotic products. **Food Microbiology**, v. 27, p. 1-11, 2010.

ROCHA, A. P. T.; ALSINA, O. L. S.; SILVA, V. S.; SILVA, F. L. H. DA. Cinética de produção de levedura seca em leite de jorro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 12, n. 1, p. 81-86, 2008.

RODRIGUES, S.; GOMES, M. C. F.; GALLÃO, M. I.; FERNANDES, F. A. N. Effect of ultrasound-assisted osmotic dehydration on cell structure of sapotas. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 89, n. 4, p. 665-670, 2009.

RODRIGUES, S.; SILVA, L. C. A.; MULET, A.; CÁRCEL, J. A.; FERNANDES, F. A. N. Development of dried probiotic apple cubes incorporated with *Lactobacillus casei* NRRL B-442. **Journal of Functional Foods**, v. 41, p. 48-54, 2018.

RODRÍGUEZ, Ó.; SANTACATALINA, J. V.; SIMAL, S.; GRACIA-PEREZ, J. V.; FEMENIA, A.; ROSSELLÓ, C. Influence of power ultrasound application on drying kinetics of apple and its antioxidant and microstructural properties. **Journal of Food Engineering**, v. 129, p. 21-29, 2014.

RODRÍGUEZ, Ó.; EIM, V.; ROSSELLÓ, C.; FEMENIA, A.; CÁRCEL, J. A.; SIMAL, S. Application of power ultrasound on the convective drying of fruits and vegetables: effects on quality. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 98, n. 5, p.

1660-1673, 2017.

ROJAS-GRAÜ, M. A.; TAPIA, M. S.; MARTÍN-BELLOSO, O. Using polysaccharide-based edible coatings to maintain quality of fresh-cut Fuji apples. **LWT - Food Science and Technology**, v. 41, n. 1, p. 139-147, 2008.

SABAREZ, H. T.; GALLEGUO-JUAREZ, J. A.; RIERA, E. Ultrasonic-Assisted Convective Drying of Apple Slices. **Drying Technology**, v. 30, n. 9, p. 989-997, 2012.

SANTACATALINA, J. V.; CONTRERAS, M.; SIMAL, S.; CÁRCEL, J. A.; GARCIA-PEREZ, J. V. Impact of applied ultrasonic power on the low temperature drying of apple. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 28, p. 100-109, 2016.

SANTAGATA, G.; MALLARDO, S.; FASULO, G.; LAVERMICOCCA, P.; VALERIO, F.; BIASE, M. Di; STASIO, M. Di; MALINCONICO, M.; VOLPE, M.G. Pectin-honey coating as novel dehydrating bioactive agent for cut fruit: Enhancement of the functional properties of coated dried fruits. **Food Chemistry**, v. 258, p. 104-110, 2018.

SHAH, U.; NAQASH, F.; GANI, A.; MASOODI, F. A. Art and Science behind Modified Starch Edible Films and Coatings: A Review. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 15, n. 3, p. 568-580, 2016.

SHINDE, T.; VEMURI, R.; SHASTRI, M. D.; PERERA, A. P.; TRISTAM, S.; STANLEY, R.; ERI, R. Probiotic *Bacillus coagulans* MTCC 5856 spores exhibit excellent in-vitro functional efficacy in simulated gastric survival, mucosal adhesion and immunomodulation. **Journal of Functional Foods**, v. 52, p. 100-108, 2019.

SINGLETON, V. L.; ORTHOFER, R.; LAMUELA-RAVENTÓS, R. M. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent. **Methods of Enzymology**, v. 299, p. 152-178, 1999.

SILVA, C. K. F. DA. **Estimação de parâmetros de secagem de alimentos – formulação de Luikov e uso de transformada integral generalizada**. 2010. 127 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2010.

SILVEIRA, M. S. **Utilização do suco de caju clarificado para produção de ácido láctico pelo *Lactobacillus casei* B-442**. 2009. 96 f. Dissertação (Mestrado em Ciências e Tecnologia de Alimentos) - Centro de Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2009.

SINGH, P.; MAGALHÃES, S.; ALVES, L.; ANTUNES, F.; MIGUEL, M.; LINDMAN, B.; MEDRONHO, B. Cellulose-based edible films for probiotic entrapment. **Food Hydrocolloids**, v. 88, p. 68-74, 2019.

SIVAKUMAR, R.; SARAVANAN, R.; PERUMAL, A. E.; INIYAN, S. Fluidized bed drying of some agro products - A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 61, p. 280-301, 2016.

- STICK, R. V.; WILLIAMS, S. J. Disaccharides, Oligosaccharides and Polysaccharides. **Carbohydrates: The Essential Molecules of Life**, p. 321-341, 2009.
- SU, F.; XU, P. Genomic analysis of thermophilic *Bacillus coagulans* strains: efficient producers for platform bio-chemicals. **Scientific Reports**, v. 4, n. 1, p. 1-10, 2014.
- SUÁREZ-JACOBO, Á.; RÜFER, C. E.; GERVILLA, R.; GUAMIS, B.; ROIG-SAGUÉS, A. X.; SALDO, J. Influence of ultra-high pressure homogenisation on antioxidant capacity, polyphenol and vitamin content of clear apple juice. **Food Chemistry**, v. 127, n. 2, p. 447-454, 2011.
- TAO, Y.; ZHANG, J.; JIANG, S.; XU, Y.; SHOW, P.-L.; HAN, Y.; YE, X.; YE, M. Contacting ultrasound enhanced hot-air convective drying of garlic slices: Mass transfer modeling and quality evaluation. **Journal of Food Engineering**, v. 235, p. 79-88, 2018.
- TRANSPARENCY MARKET RESEARCH. **Probiotics Market (Packaging Type - Blisters, Bottles, Containers, Sachets, Stick Packs, Droppers, Others; Form - Dry, Liquid; Distribution Channel - Hypermarkets/ Supermarkets, Pharmacies/ Drugstores, Speciality Stores, Online Sales) - Global Industry Analysis, Size, Share, Growth, Trends, and Forecast 2018-2026**. 2018. Disponível em: <<https://www.transparencymarketresearch.com/probiotics-market.html#>>. Acesso em: 20 junho 2018.
- VANDERHOOF, J. A. Probiotics: future directions. **The American Journal of Clinical Nutrition**, v. 73, n. 6, p. 1152-1155, 2001.
- VELASQUEZ-TELLEZ, J. A.; GIRALDO-GIRALDO, G.; PADILLA-SANABRIA, L.; GIRALDO-CASTAÑO, Y. M. GROWTH OF *Lactobacillus casei ssp casei* ATCC 393 IN CLAFIIED WHEY. **Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial**, v.13, n.1, p. 19-27, 2015.
- VEGA-GÁLVEZ, A.; AH-HEN, K.; CHACANA, M.; VERGANA, J.; MARTÍNEZ-MONZÓ, J.; GARGÍA-SEGOVIA, P.; LEMUS-MONDACA, R.; SCALA, K. D. Effect of temperature and air velocity on drying kinetics, antioxidant capacity, total phenolic content, colour, texture and microstructure of apple (var. *Granny Smith*) slices. **Food Chemistry**, v. 132, n. 1, p. 51-59, 2012.
- VELIĆ, D.; PLANINIĆ, M.; TOMAS, S.; BILLIĆ, M. Influence of airflow velocity on kinetics of convection apple drying. **Journal of Food Engineering**, v. 64, n. 1, p. 97-102, 2004.
- WANG, B.-S.; LI, B.-S.; ZENG, Q.-X.; HUANG, J.; RUAN, Z.; ZHU, Z.-W.; LI, L. Inactivation kinetics and reduction of *Bacillus coagulans* spore by the combination of high pressure and moderate heat. **Journal of Food Process Engineering**, v. 32, n. 5, p. 692-708, 2009.
- WILCZYNSKI, S.; STOLECKA-WARZECHA, A. Polymeric gels for diagnostics applications. In: PAL, K.; BANERJEE, I. **Polymeric Gels: Characterization, Properties and Biomedical Applications** Woodhead Publishing Series in Biomaterials. India

(Rourkela): Woodhead Publishing, 2018. Cap. 15. p. 373-393. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102179-8.00015-6>>. Acesso em: 21 nov. 2018.

WISSEMANN, K. W. e LEE, C. Y. Polyphenoloxidase Activity During Grape Maturation and Wine Production. **American Journal of Enology and Viticulture**, v. 31, n. 3, p. 206-211, 1980.

WONG, D. W. S.; TILLIN, S. J.; HUDSON, J. S.; PAVLATH, Attila E. Gas exchange in cut apples with bilayer coatings. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 42, n. 10, p. 2278-2285, 1994.

XING, S.-C.; MI, J.-D.; CHEN, J.-Y.; XIAO, L.; WU, Y.-B.; LIANG, J. B.; ZANG, L.-H.; LIAO, X.-D. The metabolism and morphology mutation response of probiotic *Bacillus coagulans* for lead stress. **Science of the Total Environment**, v. 693, p. 1-15, 2019.

YAO, K.; ZHOU, Q.-X.; LIU, D.-M.; CHEN, S.-M.; YUAN, K. Comparative proteomics of the metabolic pathways involved in l-lactic acid production in *Bacillus coagulans* BCS13002 using different carbon sources. **LWT - Food Science and Technology**, v. 116, p. 1-9, 2019.

YOGENDRASASIDHAR, D.; SETTY, Y. P. Experimental studies and thin layer modeling of pearl millet using continuous multistage fluidized bed dryer staged externally. **Engineering Science and Technology, an International Journal**, p. 1-11, 2018.

ZAMBRANO, M. V., DUTTA, B., MERCER, D. G., MACLEAN, H. L., TOUCHIE, M. F. Assessment of moisture content measurement methods of dried food products in small-scale operations in developing countries: A review. **Trends In Food Science & Technology**, v. 88, p. 484-496, 2019.

ZANJANI, M. A. K.; EHSANI, M. R.; TARZI, B. G.; SHARIFAN, A. Promoting *Lactobacillus casei* and *Bifidobacterium adolescentis* survival by microencapsulation with different starches and chitosan and poly L-lysine coatings in ice cream. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 42, n. 1, p. 1-10, 2017.

ZHANG, L.; GUI, S.; WANG, J.; CHEN, Q.; ZENG, J.; LIU, A.; CHEN, Z.; LU, X. Oral administration of green tea polyphenols (TP) improves ileal injury and intestinal flora disorder in mice with *Salmonella typhimurium* infection via resisting inflammation, enhancing antioxidant action and preserving tight junction. **Journal of Functional Foods**, v. 64, p. 1-12, 2020.

ZILLO, R. R.; SILVA, P. P. M. DA; OLIVEIRA, J. DE; GLÓRIA, E. M. DA; SPOTO, M. H. F. Carboxymethylcellulose coating associated with essential oil can increase papaya shelf life. **Scientia Horticulturae**, v. 239, p. 70-77, 2018.

ZLATANOVIĆ, I.; KOMATINA, M.; ANTONIJEVIĆ, D. Low-temperature convective drying of apple cubes. **Applied Thermal Engineering**, v. 53, n. 1, p. 114-123, 2013.

APÊNDICE A – RESULTADOS PUBLICADOS

Os resultados obtidos no estudo da secagem dos *snacks* de maçã em leito fluidizado e a influência do ultrassom como pré-tratamento foram publicados na revista *Drying Technology* (2019). Título do trabalho: **Kinetics of ultrasound pretreated apple cubes dried in fluidized bed dryer**. <https://doi.org/10.1080/07373937.2019.1641511> (online).

Parte dos resultados da incorporação do probiótico *Bacillus coagulans* foram apresentados no congresso internacional *13th International Congress on Engineering and Food* (ICEF13) realizado na Austrália no período de 23 a 26 de setembro de 2019. Título do trabalho: **Production of dried apple snacks incorporated with Bacillus coagulans**.

Parte dos resultados da cinética de secagem foram apresentados no congresso 13º Simpósio Latino Americano de Ciência de Alimentos (13 SLACA) realizado no Brasil, em Campinas – SP, no período de 10 a 12 de novembro de 2019. Título do trabalho: **Drying of apples in a fluidized bed dryer**.