



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA

BÁRBARA FREIRE DE OLIVEIRA

**OTIMIZAÇÃO, MODELAGEM E AVALIAÇÃO DA SECAGEM DO FRUTO DO  
NONI (*Morinda citrifolia* L.) POR LEITO DE JORRO**

Recife

2023

BÁRBARA FREIRE DE OLIVEIRA

**OTIMIZAÇÃO, MODELAGEM E AVALIAÇÃO DA SECAGEM DO FRUTO  
DO NONI (*Morinda citrifolia* L.) POR LEITO DE JORRO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutora em Engenharia Química.

**Área de concentração:** Engenharia de Processos Químicos e Bioquímicos.

**Orientadores:** Prof<sup>o</sup>. Dr. Maurício Alves da Motta Sobrinho.

Prof<sup>a</sup>. Dr. Josilene de Assis Cavalcante

**Coorientador:** Prof<sup>o</sup>. Dr. Nagel Alves Costa

Recife

2023

Catálogo na fonte  
Bibliotecário Gabriel Luz, CRB-4 / 2222

O48o Oliveira, Bárbara Freire de.  
Otimização, modelagem e avaliação da secagem do fruto do noni (*Morinda - citrifolia* L.) por leito de jorro. / Bárbara Freire de Oliveira, 2023.  
122 f.: il.

Orientador: Prof<sup>o</sup>. Dr. Maurício Alves da Motta Sobrinho;  
Orientador: Prof<sup>a</sup>. Dr. Josilene de Assis Cavalcante;  
Coorientador: Prof<sup>o</sup>. Dr. Nagel Alves Costa.

Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química Recife, 2023.  
Inclui referências.

1. Engenharia Química. 1.Fluidodinâmica. 2. Fenólicos Totais.3. Atividade Antioxidante. 4.Noni.5. Leito de Jorro I Sobrinho, Maurício Alves da Motta (Orientador). II. Cavalcante, Josilene de Assis Cavalcante (Orientador). III. Costa, Nagel Alves. IV. Título.

660.2 CDD (22. ed.)

UFPE

BCTG / 2023 - 245

BÁRBARA FREIRE DE OLIVEIRA

**OTIMIZAÇÃO, MODELAGEM E AVALIAÇÃO DA SECAGEM DO FRUTO  
DO NONI (*Morinda citrifolia* L.) POR LEITO DE JORRO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito para a obtenção do título de Doutora em Engenharia Química. Área de concentração: Engenharia de Processos Químicos e Bioquímicos.

Aprovado em: 30/08/2023.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Odelsia Leonor Sanchez de Alsina (Examinador Externo)  
Universidade Federal de Campina Grande - UFCG

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Líbia de Sousa Conrado Oliveira (Examinador Externo)  
Universidade Federal de Campina Grande - UFCG

---

Prof. Dr. Marcello Maia de Almeida (Examinador Externo)  
Universidade Estadual da Paraíba - UEPB

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Patrícia Moreira Azoubel (Examinadora Interna)  
Universidade Federal de Pernambuco - UFPE

---

Prof. Dr. José Marcos Francisco da Silva (Examinador Interno)  
Universidade Federal de Pernambuco - UFPE

## AGRADECIMENTOS

A **Deus**, primeiramente, por todo amor incondicional e por me dar forças para enfrentar os momentos difíceis e superar todos os obstáculos.

À minha família, irmãos, Ingra e Caio, minha avó Heide, minha tia Crishane, por sempre acreditarem em mim, e em especial a minha mãe, **Sheila**, por todo apoio, dedicação e ensinamentos.

Ao meu marido **Narcizo Filho**, por toda dedicação, compreensão e incentivo durante esta jornada. Muito obrigada por sempre me acalmar e acreditar que eu era capaz.

Ao meu orientador **Maurício** que sempre me auxiliou e me ajudou no que fosse preciso para concluir esta caminhada. **Muito obrigada!**

A minha orientadora **Josilene** por todo carinho e doçura que me recebeu desde o primeiro dia. Meus sinceros agradecimentos por toda orientação, toda palavra de carinho e sabedoria para que me fizesse chegar até aqui. **Muito obrigada!**

Ao meu coorientador Professor **Nagel** que sempre me recebeu com toda alegria e que dedicou seu tempo para me ensinar e me ajudar sempre que foi preciso.

A **Jéssica e Tamires**, colegas que me acompanharam também nesta jornada, obrigada por toda ajuda, por toda troca de experiência e por todos os momentos de luta compartilhados.

A **Clediana e Rafael**, técnicos dos laboratórios de termodinâmica e operações, que estavam sempre dispostos a ajudar no que fosse preciso.

Em especial, a professora **Líbia**, que sempre me acolheu desde a graduação e no momento em que mais precisei ela estava lá para ceder o seu laboratório para que essa pesquisa pudesse ser realizada. Nunca esquecerei, **obrigada por tudo!**

Aos professores, **Fabiola e Alfredo**, pelo laboratório de Operações Unitárias e a professora **Sharline**, pelo laboratório de biotecnologia, auxiliando com o empréstimo de equipamentos.

A professora **Miriam Panet**, do departamento de Arquitetura (UFCG), por apoiar e ceder os equipamentos essenciais para o andamento da pesquisa, meu muito obrigada!

Aos amigos que fiz na graduação, **Ravena e Isabela**, que mesmo distante me ajudaram nesta caminhada. Muito obrigada!

Agradeço a todos que, de alguma forma, colaboraram para a conclusão deste trabalho.

## RESUMO

O fruto do noni (*Morinda citrifolia* L.), apesar de apresentar um sabor e odor desagradáveis, vem se disseminando em todas as regiões do Brasil por ser uma fruta rica em nutrientes e possuir propriedades fitoterápicas. Por ser altamente perecível, a utilização de tecnologias para a conservação das principais características do fruto se torna interessante. A secagem no leito de jorro é uma dessas tecnologias. Ela é empregada para a conservação de produtos e permitir atingir mercados consumidores em todo o mundo, além de agregar valor e facilitar o desenvolvimento de novos produtos. Desta forma, este trabalho teve por objetivo produzir o pó da polpa do noni no leito de jorro de coluna cone-cilíndrica, utilizando o amido de milho como agente carreador. Realizou-se, inicialmente, a caracterização físico-química da polpa do noni *in natura*: atividade de água (aw); potencial hidrogeniônico (pH); teor de umidade; cinzas; sólidos solúveis totais (SST); acidez titulável total (ATT); ácido ascórbico; atividade antioxidante e teor de fenólicos totais. Em seguida, foram realizados testes com dois agentes carreadores, amido de milho e maltodextrina, para a secagem da polpa do noni, assim como a determinação da faixa operacional para a obtenção de um planejamento fatorial completo  $2^2 + 3$  centrais para análise da influência das variáveis dependentes que foram o teor de umidade, compostos fenólicos e atividade antioxidante pelo método DPPH e pelo método ABTS. Já para o processo de obtenção do pó, foram realizadas alimentações com a suspensão (polpa + agente carreador) no leito de jorro com partículas inertes de polietileno de baixa densidade (PEBD), em intervalos fixos durante 220 minutos de secagem para que fosse avaliado o comportamento fluidodinâmico do leito de jorro, cujas variáveis analisadas foram: queda de pressão; altura do anel; altura do jorro; temperatura de saída do ar e umidade de saída do ar. Para futuras comparações, o pó do noni foi obtido por liofilização e realizado também a caracterização físico-química. Da mesma forma, foi realizado para os pós obtidos para todo o planejamento experimental fatorial completo. Para a polpa do noni *in natura* a caracterização físico-química apresentou resultados semelhantes aos encontrados na literatura. Dos agentes carreadores testados, o amido de milho comercial (Maizena) foi o que apresentou melhor comportamento, no processo de secagem, ao ser adicionado à polpa do noni. As variáveis do planejamento fatorial foram definidas com as seguintes condições: concentração de amido de milho (15, 20 e 25%) e temperatura de secagem (50, 60 e 70 °C). As condições de secagem afetaram positivamente a acidez, cinzas e sólidos solúveis, apresentando aumento nos valores dos pós secos. Já o ácido

ascórbico teve sua concentração diminuída. Na análise da atividade antioxidante total as amostras apresentaram ação antioxidante para o método DPPH, com o maior valor de 17,87 mg TE/g de pó e de 11,08 mg TE/g de pó pelo método ABTS. E para o teor de fenólicos, 1411,73 mg EAG/100g de pó. Em relação ao pó do noni, obtido por liofilização, quando comparado com a secagem no leito de jorro, melhores resultados foram verificados para a acidez titulável total, teor de cinzas, sólidos solúveis totais e teor de ácido ascórbico. Assim como para o teor de compostos fenólicos, valores mais altos foram encontrados para o pó liofilizado. Em contrapartida, para a atividade antioxidante, pelos dois métodos aplicados, maiores valores foram encontrados ao produzir o pó pelo leito de jorro. Desta forma, o processo de secagem em leito de jorro mostrou-se valioso para a obtenção de um pó de qualidade e valor nutricional, sendo os melhores resultados obtidos, após tratamento estatístico, quando se trabalha com condições mais altas de concentração do agente carreador e temperatura de secagem, 25% e 70°C, respectivamente.

**Palavras-chave:** Fluidodinâmica. Fenólicos Totais. Atividade Antioxidante. Noni. Leito de Jorro.

## ABSTRACT

The noni fruit (*Morinda citrifolia* Linn), also called noni, despite having an unpleasant taste and odor, has been spreading throughout all regions of Brazil for being a fruit rich in nutrients and with phytotherapeutic properties. As a highly perishable fruit, the use of technologies for the conservation of the main characteristics of the fruit is interesting. Drying in the spouted bed is one of these technologies and is used for the conservation of products and to reach consumer markets worldwide, in addition to adding value and facilitating the development of new products. In this sense, this work aimed to produce noni pulp powder in the spouted bed of a cylindrical cone column, using corn starch (Maizena) as a carrier agent. Initially, the physical-chemical characterization of the noni pulp in nature was carried out: water activity (aw); hydrogen potential (pH); moisture content; ash; total soluble solids (TSS); total titratable acidity (ATT); Ascorbic acid; antioxidant activity and total phenolic content. Then, tests were carried out with two carrier agents, corn starch and maltodextrin, to dry the noni pulp as well as determine the operational range to obtain a complete  $2^2 + 3$  central factorial design to analyze the influence of the dependent variables which were moisture content, phenolic compounds, and antioxidant activity by the DPPH method and the ABTS method. For the process of obtaining the powder, the suspension (pulp + carrier agent) was fed into the spouted bed with inert low-density polyethylene (LDPE) particles, at fixed intervals during 220 minutes of drying to evaluate the fluid dynamic behavior of the spouted bed, whose variables analyzed were: pressure drop; ring height; gusher height; leaving air temperature and leaving air humidity. For future comparisons, the noni powder was obtained by freeze-drying, and physical-chemical characterization was carried out. In the same way, it was carried out for the powders obtained for all the full factorial experimental designs. For fresh noni pulp, the physical-chemical characterization showed results similar to those in the literature. Among the carrier agents tested, commercial corn starch (Maizena) was the one that showed the best behavior in the drying process when added to the noni pulp. The variables of the factorial design were defined with the following conditions: corn starch concentration (15, 20, and 25%) and drying temperature (50, 60, and 70°C). Drying conditions positively affected acidity, ash, and soluble solids, increasing dry powder values. Ascorbic acid had its concentration reduced. In the analysis of total antioxidant activity, the samples showed antioxidant action for the DPPH method, with the highest value of 17.87 mg TE/g of powder and 11.08 mg TE/g of powder by the

ABTS method, and for the phenolic content, 1411.73 mg EAG/100g of powder. About noni powder, obtained by freeze-drying, when compared to drying on a spouted bed, better results were observed for total titratable acidity, ash content, total soluble solids, and ascorbic acid content. As for the content of phenolic compounds, higher values were found for the freeze-dried powder. On the other hand, for antioxidant activity, using both methods applied, higher values were found when producing the powder using the spouted bed. Therefore, the spouted bed drying process proved to be valuable for obtaining a powder of quality and nutritional value with the best results being obtained after statistical treatment when working with higher conditions of concentration of the carrier agent and drying temperature – 25% and 70°C, respectively.

**Keywords:** Fluid Dynamics. Total Phenolics. Antioxidant activity. Noni. Spouted Bed.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Partes da árvore do noni ( <i>Morinda citrifolia</i> L.): (A); suas flores (B); folha (C) e fruto (D).....	19
Figura 2 - Leito de Jorro convencional.....	23
Figura 3 - Curva típica de queda de pressão versus velocidade superficial do ar.....	27
Quadro 1 - Processos de secagem de diversos materiais com uso de secador de leito de jorro nos últimos oito anos.....	31
Figura 4 - Noni ( <i>Morinda citrifolia</i> L.) <i>in natura</i> utilizados no estudo.....	40
Figura 5 - Curva padrão de ácido gálico.....	45
Figura 6 - Curva padrão de Trolox.....	46
Figura 7 - Curva padrão de Trolox.....	47
Figura 8 - Partículas inertes – PEBD.....	49
Figura 9 - Foto e esquema do secador Leito de Jorro utilizado nos experimentos .....	51
Figura 10 - Fluxograma experimental do secador de leito de jorro.....	51
Figura 11- Proporções de amostras (10 g) de polpa de noni com o percentual de adição de Amido de Milho Comercial (Maizena) após secagem em estufa.....	60
Figura 12 - Amostras de polpa de noni com adição de amido de comercial (Maizena), após a raspagem (teste de quebra).....	60
Figura 13 - Proporções de amostras (10 g) de polpa de noni com o percentual de adição de maltodextrina após secagem em estufa.....	61
Figura 14 - Amostras de polpa de noni com adição de Maltodextrina, após a raspagem (teste de quebra).....	61
Figura 15 - Comportamento da queda de pressão em função da velocidade do ar para as temperaturas de 50 °C, 60 °C e 70 °C.....	62
Figura 16 - Comportamento da altura da fonte no leito de jorro em função da velocidade do ar para as diferentes temperaturas.....	63
Figura 17 - Comportamento da altura do anel no leito de jorro em função da velocidade do ar para as diferentes temperaturas.....	65
Figura 18 - Pó da polpa do noni produzido na temperatura de 70 °C em diferentes concentrações de amido de milho: a) 15%; b) 20% e c) 25%.....	66
Figura 19 - Variações na queda de pressão em função do tempo de secagem para a temperatura de 50 °C e 15% de amido de milho (Experimento 1).....	68
Figura 20 - Variações na queda de pressão em função do tempo de secagem para a temperatura de 50 °C e 25% de amido de milho (Experimento 2).....	68
Figura 21- Variações na queda de pressão em função do tempo de secagem para a temperatura de 70 °C e 15% de amido de milho (Experimento 3).....	69
Figura 22 - Variações na queda de pressão em função do tempo de secagem para a temperatura de 70 °C e 25% de amido de milho (Experimento 4).....	69
Figura 23 - Variações na queda de pressão em função do tempo de secagem para a temperatura de 60 °C e 20% de amido de milho (Experimento 5).....	70

Figura 24 - Variações na altura do jorro e do anel em função do tempo de secagem para a temperatura de 50 °C e concentração de 15% de amido de milho.....	71
Figura 25 - Variações na altura do jorro e do anel em função do tempo de secagem para a temperatura de 50 °C e concentração de 25% de amido de milho.....	72
Figura 26 - Variações na altura do jorro e do anel em função do tempo de secagem para a temperatura de 70 °C e concentração de 15% de amido de milho.....	72
Figura 27 - Variações na altura do jorro e do anel em função do tempo de secagem para a temperatura de 70 °C e concentração de 25% de amido de milho.....	73
Figura 28 - Variações na altura do jorro e do anel em função do tempo de secagem para a temperatura de 60 °C e concentração de 20% de amido de milho.....	73
Figura 29 - Variações na umidade e temperatura de saída do ar em função do tempo de secagem para a temperatura de 50 °C e 15% de amido de milho.....	75
Figura 30 - Variações na umidade e temperatura de saída do ar em função do tempo de secagem para a temperatura de 50 °C e 25% de amido de milho.....	76
Figura 31 - Variações na umidade e temperatura de saída em função do tempo de secagem para a temperatura de 70 °C e 15% de amido de milho.....	76
Figura 32 - Variações na umidade de saída em função do tempo de secagem para a temperatura de 70 °C e 25% de amido de milho.....	77
Figura 33 - Variações na umidade e temperatura de saída do ar em função do tempo de secagem para a temperatura de 60 °C e 20% de amido de milho.....	77
Figura 34 - Diagrama de Pareto para os efeitos das variáveis (concentração de amido de milho e temperatura do ar de secagem) no pH para o pó da polpa do noni.....	81
Figura 35 - Diagrama de Pareto para os efeitos das variáveis (concentração de amido de milho e temperatura do ar de secagem) na atividade de água (aw) para o pó da polpa do noni.....	82
Figura 36 - Diagrama de Pareto para os efeitos das variáveis (concentração de amido de milho e temperatura do ar de secagem) na acidez titulável total (ATT) para o pó da polpa do noni.....	83
Figura 37 - Diagrama de Pareto para os efeitos das variáveis (concentração de amido de milho e temperatura do ar de secagem) nas frações de cinzas presentes no pó da polpa do noni.....	85
Figura 38 - Diagrama de Pareto para os efeitos das variáveis (concentração de amido de milho e temperatura do ar de secagem) nos sólidos solúveis totais (SST) para o pó da polpa do noni.....	86
Figura 39 - Diagrama de Pareto para os efeitos das variáveis (concentração de amido de milho e temperatura do ar de secagem) na presença de Ácido ascórbico para o pó da polpa do noni.....	87
Figura 40 - Diagrama de Pareto para o teor de umidade da polpa do noni seca.....	90
Figura 41 - Gráfico de contorno demonstrando as melhores condições para um baixo teor de umidade em base úmida para o pó do noni.....	91
Figura 42 - Diagrama de Pareto para compostos fenólicos totais da polpa do noni seca.	94
Figura 43 - Gráfico de contorno demonstrando as melhores condições para um alto teor de compostos fenólicos totais para o pó do noni.....	95

Figura 44 - Diagrama de Pareto para atividade antioxidante pelo método DPPH da polpa do noni seca.....	98
Figura 45 - Gráfico de contorno demonstrando as melhores condições para um alto teor da atividade antioxidante pelo método DPPH para o pó da polpa do noni.....	99
Figura 46 - Diagrama de Pareto para atividade antioxidante pelo método ABTS <sup>+</sup> da polpa do noni seca.....	102
Figura 47 - Gráfico de contorno demonstrando as melhores condições para um alto teor da atividade antioxidante pelo método ABTS <sup>+</sup> para o pó da polpa do noni.....	103

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores codificados e não codificados das variáveis independentes.....	53
Tabela 2 - Matriz experimental para os ensaios de secagem em leito de jorro.....	53
Tabela 3 - Caracterização da polpa do noni <i>in natura</i> (teor de umidade, atividade de água, pH e cinzas).....	57
Tabela 4 - Caracterização da polpa do noni <i>in natura</i> (sólidos solúveis totais – SST, acidez total titulável – ATT e Ácido ascórbico).....	58
Tabela 5 - Valores médios e desvios-padrão de $\Delta P_M$ , $V_m$ e $\Delta P_s$ para as três temperaturas na curva crescente.....	63
Tabela 6 - Valores médios e os desvios padrão da altura da fonte (cm) para as três temperaturas de secagem (50, 60 e 70°C).....	64
Tabela 7 - Variações na altura do anel no leito de jorro para as diferentes temperaturas em função da velocidade do ar (m/s).....	65
Tabela 8 - Resultado das variáveis dependentes na secagem no leito de jorro da polpa do noni para o tempo final de secagem de 220 minutos em triplicata.....	75
Tabela 9 - Resultado das variáveis dependentes na secagem no leito de jorro da polpa do noni para o tempo final de secagem de 220 minutos.....	78
Tabela 10 - Caracterização do pó da polpa do noni para atividade de água (aw), ATT e pH.....	79
Tabela 11 - Caracterização do pó da polpa do noni para teor de cinzas, sólidos solúveis totais (SST) e Ácido ascórbico.....	84
Tabela 12 - Resultado da variável dependente, teor de umidade, na secagem no leito de jorro para a polpa do noni ( <i>Morinda citrifolia</i> L.).....	88
Tabela 13 - Efeito da influência das variáveis independentes na umidade do pó do noni.....	89
Tabela 14 - Valores médios de fenólicos totais para as amostras do pó da polpa do noni para o planejamento fatorial completo.....	91
Tabela 15 - Efeito da influência das variáveis independentes nos compostos fenólicos totais do pó do noni.....	93
Tabela 16 - Valores médios de atividade antioxidante pela captura do radical livre DPPH para as amostras do pó da polpa do noni.....	95
Tabela 17 - Efeito da influência das variáveis independentes na atividade antioxidante pelo método DPPH para o pó do noni.....	98
Tabela 18 - Valores médios de atividade antioxidante pela captura do radical ABTS <sup>+</sup> para as amostras do pó da polpa do noni.....	100
Tabela 19 - Efeito da influência das variáveis independentes na atividade antioxidante pelo método ABTS <sup>+</sup> para o pó do noni.....	102

## SUMÁRIO

<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>14</b>
<b>2.</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>16</b>
2.1.	PLANTAS MEDICINAIS.....	16
2.2.	<i>Morinda citrifolia</i> Linn.....	18
<b>2.2.1.</b>	<b>Composição, importância econômica e aplicabilidade.....</b>	<b>20</b>
2.3.	SECAGEM.....	22
<b>2.3.1</b>	<b>Secagem em leito de jorro.....</b>	<b>22</b>
<b>2.3.2</b>	<b>Agentes carreadores.....</b>	<b>25</b>
2.4.	O MECANISMO FLUIDODINÂMICO.....	26
2.5.	ESTADO DA ARTE.....	30
<b>3.</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>40</b>
3.1.	MATÉRIA-PRIMA.....	40
3.2.	CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DA POLPA DO NONI <i>IN NATURA</i> , E DO PÓ OBTIDO APÓS O PROCESSO DE SECAGEM NO LEITO DE JORRO E POR LIOFILIZAÇÃO.....	41
<b>3.2.1.</b>	<b>Atividade de água (aw).....</b>	<b>41</b>
<b>3.2.2.</b>	<b>Potencial hidrogeniônico (pH).....</b>	<b>41</b>
<b>3.2.3.</b>	<b>Teor de umidade.....</b>	<b>42</b>
<b>3.2.4.</b>	<b>Cinzas.....</b>	<b>42</b>
<b>3.2.5.</b>	<b>Sólidos solúveis totais (SST).....</b>	<b>43</b>
<b>3.2.6.</b>	<b>Acidez Titulável Total (ATT).....</b>	<b>43</b>
<b>3.2.7.</b>	<b>Ácido ascórbico.....</b>	<b>44</b>
<b>3.2.8.</b>	<b>Preparo do extrato da amostra para determinação da atividade antioxidante e fenólicos totais.....</b>	<b>44</b>
<b>3.2.9.</b>	<b>Fenólicos Totais .....</b>	<b>45</b>
<b>3.2.10</b>	<b>Atividade Antioxidante pelo método (DPPH) .....</b>	<b>46</b>
<b>3.2.</b>	<b>Atividade Antioxidante pelo método ABTS<sup>+</sup> .....</b>	<b>47</b>
3.3.	SECAGEM DA POLPA DO NONI NO LEITO DE JORRO.....	48
<b>3.3.1.</b>	<b>Seleção do Agente Carreador.....</b>	<b>48</b>
<b>3.3.2.</b>	<b>Inertes.....</b>	<b>48</b>
3.4.	UNIDADE PILOTO.....	50
3.5.	ENSAIOS FLUIDODINÂMICOS COM PARTÍCULAS INERTES E SEM SUSPENSÃO.....	52
3.6.	PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL FATORIAL COMPLETO.....	53
3.7.	PREPARAÇÃO DA SUSPENSÃO PARA A SECAGEM EM LEITO DE JORRO.....	54

3.8.	ENSAIOS FLUIDODINÂMICOS COM ALIMENTAÇÃO DA SUSPENSÃO.....	54
3.9.	PÓ DA POLPA DO NONI OBTIDO POR LIOFILIZAÇÃO.....	55
3.10.	ESTATÍSTICA... ..	55
<b>4.</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>56</b>
4.1.	CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DA POLPA DO NONI <i>IN NATURA</i> .....	56
4.2.	SECAGEM DA POLPA DO NONI NO LEITO DE JORRO.....	59
<b>4.2.1.</b>	<b>Seleção do Agente Carreador.....</b>	<b>59</b>
4.3.	ENSAIOS FLUIDODINÂMICOS COM PARTÍCULAS INERTES E SEM SUSPENSÃO.....	61
4.4.	PLANEAMENTO EXPERIMENTAL FATORIAL COMPLETO.....	66
4.5.	ENSAIOS FLUIDODINÂMICOS COM ALIMENTAÇÃO DA SUSPENSÃO.....	67
4.6.	CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DO PÓ DA POLPA DO NONI OBTIDO POR LEITO DE JORRO E POR LIOFILIZAÇÃO.....	79
4.7.	ANÁLISE ESTATÍSTICA DA INFLUÊNCIA DAS VARIÁVEIS INDEPENDENTES.....	88
<b>4.7.1.</b>	<b>Teor de umidade em base úmida.....</b>	<b>88</b>
<b>4.7.2.</b>	<b>Compostos Fenólicos Totais.....</b>	<b>91</b>
<b>4.7.3.</b>	<b>Atividade Antioxidante – DPPH.....</b>	<b>95</b>
<b>4.7.4.</b>	<b>Atividade Antioxidante – ABTS<sup>+</sup>.....</b>	<b>99</b>
<b>5.</b>	<b>CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS .....</b>	<b>104</b>
5.1.	CONCLUSÕES.....	104
5.2.	PERSPECTIVAS PARA ESTUDOS FUTUROS.....	105
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>106</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A *Morinda citrifolia* L., conhecida popularmente por noni, é uma planta medicinal originária do sudeste asiático. É cultivada extensamente na Polinésia, principalmente no Taiti, por suas propriedades terapêuticas, como ação anti-inflamatória e anti-diabética, entre outras (DUSSOSSOY *et al.*, 2016). Os benefícios do uso do fruto do noni vêm sendo relatados, principalmente no tratamento de: artrite; diabetes; hipertensão arterial; dores musculares; dificuldades menstruais; cefaleia; doenças cardíacas; AIDS; úlcera gástrica; entorses; depressão mental; má digestão; arteriosclerose; problemas nos vasos sanguíneos; dependência de drogas; e com destaque para o combate de vários tipos de câncer (GUPTA; PATEL, 2013; BASAR *et al.*, 2010).

O uso medicinal do fruto se deve também à presença de substâncias com ação antioxidante, como por exemplo, os fenólicos, as vitaminas e as antocianinas. Os antioxidantes são substâncias que desaceleram a velocidade de oxidação, prevenindo a formação de doenças, contribuindo, dessa maneira, para uma melhor qualidade de vida (SILVA JÚNIOR *et al.*, 2022; INSANG *et al.*, 2022; ACHOUR *et al.*, 2021; NEHA *et al.*, 2019).

Entretanto, o fruto do noni, assim como a maioria dos vegetais, tem vida útil muito curta após a colheita, principalmente se forem mantidas sem refrigeração. Assim, a produção de pós acaba sendo uma alternativa viável e amplamente empregada para a conservação de alimentos, gerando insumos para diversas indústrias, como por exemplo, alimentícia, agrícola, química e a farmacêutica. A secagem é um dos processos mais utilizados para a produção desses pós (HUANG *et al.*, 2023; TELES *et al.*, 2016).

Dentre as técnicas de secagem utilizadas para obtenção de frutas em pó, o leito de jorro permite obter pós com qualidade semelhante aos produzidos na secagem por atomização (*spray drying*), mas com baixo custo e uma menor temperatura de operação (SILVA JÚNIOR *et al.*, 2022; HAMED *et al.*, 2021; COSTA *et al.*, 2015; BEZERRA *et al.*, 2013).

A literatura cita inúmeros trabalhos (BRAGA *et al.*, 2021; SOARES; PEREIRA, 2020; DANTAS, *et al.*, 2019; NASCIMENTO *et al.*, 2019; LUCAS; ZAMBIAZI; COSTA, 2018; SANTOS *et al.*, 2018) vêm sendo desenvolvidos para a secagem em leito de jorro com partículas inertes para uma ampla variedade de pastas e suspensões. No entanto, nada foi encontrado a respeito da produção do pó do fruto do noni em leito de

jorro, sendo interessante a aplicação desse processo de secagem para verificação de um processo mais econômico, que preserve as principais características do fruto, podendo ainda lhe agregar valor. Este também traz uma nova opção de produto para os consumidores, com possibilidade de uso por diversas indústrias, com destaque para a farmacêutica.

Desta forma, o objetivo geral proposto para este trabalho consiste na obtenção do pó da polpa do noni (*Morinda citrifolia* L) pelo método de secagem por leito de jorro. Como objetivos específicos tem-se:

- Realizar a caracterização física e físico-química da polpa do noni *in natura*: atividade de água (aw); potencial hidrogeniônico (pH); teor de umidade; cinzas; sólidos solúveis totais (SST); acidez titulável total (ATT); teor de ácido ascórbico; atividade antioxidante (AA) e teor de fenólicos totais (CFT);
- Realizar testes preliminares para determinar o agente carreador para a secagem da polpa do noni;
- Caracterizar o material inerte (diâmetro médio, densidade real, densidade aparente, porosidade do leito fixo);
- Estudar as características operacionais do secador (velocidade de jorro mínimo, queda de pressão máxima do leito e queda de pressão de jorro estável) para definição dos parâmetros (temperatura de secagem, concentração do agente carreador e velocidade do ar) a serem usadas no processo de secagem da polpa do noni;
- Estudar a secagem em uma unidade piloto, tendo como base um planejamento experimental fatorial completo,  $2^2 + 3$  pontos centrais para avaliar a influência das variáveis independentes: concentração de agente carreador e temperatura de secagem sobre as variáveis dependentes (teor de umidade, atividade antioxidante (AA) e teor de fenólicos totais (CFT));
- Realizar a secagem da polpa do noni, por liofilização, e posteriormente a sua caracterização, para comparar com o pó da polpa do noni obtido pelo leito de jorro;
- Realizar a caracterização física e físico-química da polpa do noni do pó obtido [Atividade de água (aw), potencial hidrogeniônico (pH), teor de umidade, cinzas, sólidos solúveis totais (SST), acidez titulável total (ATT), teor de ácido ascórbico, atividade antioxidante e fenólicos totais] para validação do método de secagem em todo o planejamento experimental.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nesta seção são apresentadas aspectos sobre a importância das plantas medicinais no tratamento de doenças, em especial a *Morinda citrifolia* L. Também é apresentada uma revisão da literatura sobre o processo de secagem em leito de jorro com partículas inertes e seu mecanismo fluidodinâmico para um melhor entendimento do trabalho realizado.

### 2.1. PLANTAS MEDICINAIS

Produtos naturais e ervas em geral, para tratamento de diversas doenças, vêm sendo utilizadas desde a antiguidade. Essa prática está ligada às experiências culturais dos ancestrais, que foram enraizadas através do conhecimento tradicional entre povos e comunidades (RIBEIRO, 2019; PALIOTO *et al.*, 2015; CALIXTO, 2000).

A crescente procura por plantas medicinais e fitoterápicas, como medicação, pode estar relacionada com diversos fatores. Dentre eles, o alto custo dos procedimentos e tratamentos que fazem com que os usuários do sistema público de saúde procurem outras formas alternativas e complementares no tratamento (BUENO; MARTÍNEZ; BUENO, 2016).

Fitoterápico é definido, segundo a ANVISA (BRASIL, 2014), como:

“Produto obtido de matéria-prima ativa vegetal, exceto substâncias isoladas, com finalidade profilática, curativa ou paliativa, incluindo medicamento fitoterápico e produto tradicional fitoterápico, podendo ser simples, quando o ativo é proveniente de uma única espécie vegetal medicinal, ou composto, quando o ativo é proveniente de mais de uma espécie vegetal.”

Bueno, Martínez e Bueno (2016), por sua vez, relatam a definição dada pela Organização Mundial de Saúde (OMS), a qual:

“...define fitoterápicos como um termo amplo que inclui ervas, materiais à base de plantas, preparações à base de plantas e produtos acabados a base de ervas; o termo erva, inclui material de planta em bruto,

como folhas, flores, frutos, sementes, caules, madeira, casca, raízes entre outras partes, que podem ser inteiros, fragmentados ou em pó ...”

Apesar dos grandes avanços observados na medicina moderna, as plantas medicinais têm desempenhado um papel fundamental na saúde mundial. A Organização Mundial da Saúde, em 1970, criou o Programa de Medicina Tradicional com o objetivo de formular políticas nesta área e recomendar o desenvolvimento de políticas públicas para integrar a medicina tradicional com a medicina complementar alternativa nos sistemas de atenção à saúde (BRASIL, 2015).

No Brasil, em 1986, na 8ª Conferência Nacional de Saúde (CNS) viu-se um marco para as Práticas Integrativas e Complementares no Sistema de Saúde, onde foi deliberado a introdução de práticas alternativas de assistência à saúde, ou seja, as práticas tradicionais de cura popular. Em 1988, com a criação do sistema único de saúde (SUS), foram fixadas as normas e diretrizes para o atendimento com técnicas alternativas, como a fitoterapia (BRASIL, 2015). Já em 2006, pelo Decreto nº 5.813, foi criada a Política Nacional de Plantas Medicinais e Fitoterápicos com o objetivo de garantir o acesso seguro e um uso racional das plantas medicinais e fitoterápicos, promovendo também o desenvolvimento da cadeia produtiva e da indústria nacional (BRASIL, 2006b).

A OMS reconhece ainda que grande parte da população dos países em desenvolvimento depende da medicina tradicional para tratamento primário, tendo em vista que 85% desta população utilizam plantas ou preparações destas (BRASIL, 2012).

Na China, onde surgiram os primeiros registros fitoterápicos, em meados de 2838-2698 a.C. já haviam sido catalogadas 365 ervas medicinais (FRANÇA et al., 2008). Uma pesquisa realizada nos Estados Unidos mostrou que no ano de 1997, 42% da população já haviam feito o uso de plantas medicinais em tratamentos alternativos (EISENRBERG et al., 1998) e cerca de 70% a 90% da população do Canadá, França, Alemanha e Itália fazem o uso de plantas medicinais para o tratamento de doenças (WHO, 2011).

As plantas medicinais estão distribuídas em todo o mundo, porém são mais abundantes em países tropicais. Estima-se que pelo menos 25% dos medicamentos da medicina moderna é derivado de forma direta ou indiretamente das plantas medicinais, principalmente por meio da aplicação de tecnologias modernas em conjunto com o conhecimento tradicional (BRASIL, 2012).

Por conta de vasta biodiversidade associada ao valioso conhecimento tradicional do uso de plantas medicinais, o Brasil tem potencial para o desenvolvimento de pesquisas com resultados em tecnologias e terapêuticas apropriadas (BRASIL, 2006).

Dentre os diversos fitoterápicos, o noni (*Morinda citrifolia* Linn) tem despertado interesse por apresentar atividades importantes para o uso em diversas áreas e com boa adaptação na região nordeste do Brasil. O consumo geralmente é feito na forma de suco, com frequência preparado junto com uva. Todavia, o seu odor desagradável e degradação in natura tem limitado seu consumo e comercialização (BARBOSA *et al.*, 2017).

## 2.2. *Morinda citrifolia* Linn

A *Morinda citrifolia* Linn é conhecida popularmente como noni, nome este de origem havaiano. Pertence à família Rubiaceae, subfamília Rubioideae, gênero *Morinda*, que apresenta aproximadamente 80 espécies, dentre elas a *Morinda citrifolia* Linn (BARBOSA *et al.*, 2017; CHAN-BLANCO *et al.*, 2006).

De acordo com Carrillo-López e Yahia (2011) o noni é uma espécie nativa do Sudeste da Ásia e Austrália, posteriormente disseminada por toda a região do Pacífico. Tem seu crescimento em regiões de clima tropical e subtropical, como México, América Central e do Sul (Panamá, Venezuela, Suriname). Por conta do clima favorável, o cultivo e consumo dos seus frutos, tem se disseminado em todas as regiões brasileiras, como nos Estados do Acre, São Paulo, Minas Gerais, Pará, Sergipe e Ceará, entre outros (CORREIA *et al.*, 2011).

A árvore do noni pode ter de 3 a 10 metros de altura na sua forma adulta, e permanece enfolhada o ano inteiro (BARBOSA *et al.*, 2017; VEIGA *et al.*, 2005). As folhas são oval-oblongas, coriáceas e com disposição bem espaçada ao longo do ramo e com tom verde brilhante. As flores são tubulares e unidas basalmente, apresentam corola branca ou esverdeada (VEIGA *et al.*, 2005).

O fruto possui coloração verde, mas à medida que amadurece, apresenta coloração esbranquiçada, com formatos disformes a ovalados (SOUSA *et al.*, 2017); também apresenta sabor e odor não muito agradáveis (VEIGA *et al.*, 2005; PINO; MÁRQUEZ; CASTRO, 2009). As partes da árvore do noni são mostradas na Figura 1.

**Figura 1:** Partes da árvore do noni (*Morinda citrifolia* L.): planta (A); suas flores (B); folha (C) e fruto (D).



Fonte: SILVA JÚNIOR *et al.* (2022).

A *Morinda citrifolia* L. é considerada uma espécie muito resistente e que possui uma boa longevidade (SOUSA *et al.*, 2010). É cultivado, na maioria das vezes, em pomares caseiros e, em especial, na região Nordeste, onde vem sendo bastante consumida no estado do Rio Grande do Norte (BARBOSA *et al.*, 2017). Diversas formas de uso são atribuídas às partes da planta (folhas, raízes, frutos, caules e cascas), como por exemplo: suplemento alimentar; fitoterápico e tingimento de tecidos e de cerâmicas (BEZERRA *et al.*, 2018). A principal forma de comercialização do noni é dada pelo seu suco, onde é frequentemente preparado a partir da diluição da fruta, com outros sucos, como suco de uva, para aumentar a palatabilidade (PAWLUS; KINGHORN, 2007).

Nos Estados Unidos, os produtos da fruta são comercializados desde 1994, quando legalizada pela Lei de Suplementos Dietéticos dos EUA (SANTHOSH *et al.*, 2013; NELSON; ELEVITCH, 2006). Porém, segundo a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), os produtos contendo noni não devem ser comercializados no Brasil como alimento até que os requisitos legais que exigem a comprovação de sua segurança de uso sejam atendidos (BRASIL, 2007). Ressalta-se, ainda que, de acordo com o artigo 56 do Decreto-Lei nº 986/69, que institui as normas básicas sobre alimentos, os produtos com finalidade terapêutica ou medicamentosa não são considerados alimentos.

### 2.2.1. Composição, importância econômica e aplicabilidade

A composição química do noni e sua concentração irão variar não só apenas nas diferentes partes da árvore, mas também de acordo com as condições climáticas, tipo de solo e estágio de maturação do fruto (PALIOTO et al., 2015; DENG; WEST; JENSEN, 2010). Como o noni vem sendo objeto de estudo em diversas pesquisas, centenas de propriedades nutricionais já foram encontradas por diferentes autores.

O fruto contém em torno de 90-92% de água, presença de proteínas, lipídios, sólidos solúveis, minerais (potássio, enxofre, cálcio, fósforo) e vitaminas, como ácido ascórbico (PATIL; MADKAIKAR; SHAH, 2022; FARIAS *et al.*, 2020; PAREDE; MILLER; SIDERHURST (2018); RIBEIRO *et al.*, 2019; PALIOTO *et al.*, 2015; LEWIS-LUJÁN *et al.*, 2014; FARIA *et al.*, 2014).

Outros compostos fitoquímicos foram identificados e isolados de diferentes partes da *Morinda citrifolia* L. Como a presença de metabólitos secundários, sendo os compostos fenólicos, ácidos orgânicos e alcaloides que predominam na fruta, como os taninos, flavonoides, saponinas, glicosídeos, esteróis, carotenoides e terpenoides (FARIAS *et al.*, 2020; ANUGWEJE, 2015; PALIOTO *et al.*, 2015; MAHANTHESH *et al.*, 2013; KRISHNAIAH; NITHYANANDAM; SARBATLY, 2012). Destaca-se no grupo dos flavonoides, as antocianinas, que são pigmentos responsáveis por uma grande variedade de cores de frutas, flores e folhas (PALIOTO *et al.*, 2015). Nas últimas décadas, houve um aumento no seu interesse devido, entre outros efeitos fisiológicos, a sua capacidade antioxidante (LIMA *et al.*, 2020; MENG *et al.*, 2019; FUJIWARA *et al.*, 2018). Da mesma forma que para as antocianinas, as vitaminas também possuem esta capacidade antioxidante (CUNHA-SANTOS *et al.*, 2019; MERCALI *et al.*, 2012); sabendo que os antioxidantes são substâncias que desaceleram a velocidade de oxidação, prevenindo a formação de doenças, contribuindo, dessa maneira, para uma melhor qualidade de vida (SILVA JÚNIOR et al., 2022; INSANG et al., 2022; ACHOUR et al., 2021; NEHA *et al.*, 2019; SANTOS *et al.*, 2014).

Além da sua capacidade antioxidante, outras atividades biológicas foram verificadas para a polpa do noni: atividade antibacteriana (MORALES-LOZOYA *et al.*, 2021; DE LA CRUZ-SÁNCHEZ *et al.*, 2019; SALUDES *et al.*, 2002), anti-inflamatória (CHANTHIRA KUMAR *et al.*, 2022; LEE *et al.*, 2020; SOUSA *et al.*, 2018; PRATAP *et al.*, 2017), analgésica (FERRADAS; ABANTO; REYES, 2014; RODRÍGUEZ *et al.*, 2012), antidepressiva e ansiedade (NARASINGAM *et al.*, 2017), antiviral (WEST;

DENG, 2021; SELVAM *et al.*, 2011) e atividade antitumoral (CHANTHIRA KUMAR *et al.*, 2022; HSU *et al.*, 2013; NUALSANIT *et al.*, 2012; KAMIYA *et al.*, 2010).

O noni é bastante empregado pela população da Polinésia há muitos anos, em várias combinações para remédios herbais (BARBOSA *et al.*, 2017; PALIOTO *et al.*, 2015). Com destaque para a fruta do noni, seguido pelas raízes e folhas para seu uso medicinal.

Devido às informações de seus vários benefícios, o cultivo e o crescimento econômico da *Morinda citrifolia* se espalhou para diversas regiões do mundo, inclusive o Brasil. Como maior mercado para o noni, tem-se a América do Norte, Europa, Japão, México, Ásia e Austrália, com produtos estimados em US\$ 400 milhões no mercado mundial (MACPHERSON *et al.*, 2007).

Na medicina alternativa, o noni se apresenta no combate para diversas doenças, como artrite, diabetes, pressão alta, dores musculares, dificuldades menstruais, dor de cabeça, doenças cardíacas, AIDS, úlcera gástrica, entorse, depressão mental, má digestão, arteriosclerose, problemas nos vasos sanguíneos, dependência de drogas, vários tipos de câncer (GUPTA; PATEL, 2013; BASAR *et al.*, 2010), proteção do fígado (WANG *et al.*, 2008), doenças intestinais (JIN *et al.*, 2019).

A importância socioeconômica do cultivo do noni vem aumentando devido a possibilidade do seu uso nas indústrias farmacêuticas, cosméticas, alimentos, química e agrícola. Dentre os setores das indústrias verdes em que a *Morinda citrifolia* está envolvida, inclui a produção do suco do noni, inclusive o suco probiótico, conservante natural para indústria alimentícia, fonte natural de medicamentos, reagentes químicos e inseticidas verdes (LOPES *et al.*, 2018; ABOU ASSI *et al.*, 2015).

Controvérsias a respeito da toxicidade do noni já foram publicadas (SHALAN; MUSTAPHA; MOHAMED, 2017; CARR; KLOTZ; BERGERON, 2004). Porém, apenas a polpa da fruta e o seu suco que são aprovados para consumo humano, sem semente e sem a pele do fruto, e por isso acaba causando conclusões erradas a respeito da fruta e causando problemas para os produtores, comerciantes e consumidores. Por fim, diversos estudos científicos publicados têm mostrado a segurança dos produtos à base da polpa do noni e do suco para o consumo humano, comprovando o seguro uso feito tradicionalmente por antepassados há mais de 2000 anos (PALU *et al.*, 2017).

A maioria dos frutos possui uma vida útil muito curta após a sua colheita, por serem perecíveis e armazenados na maioria das vezes em temperatura ambiente, além das técnicas inadequadas utilizadas na colheita e pós-colheita, gerando assim um grande desperdício (KORESE; ACHAGLINKAME, 2022; KUMAR *et al.*, 2021; ALVES;

NICOLETI, 2016; SILVA FILHO *et al.*, 2016). Uma alternativa seria a utilização de tecnologias para a conservação das principais características do fruto, podendo agregar valor, com a geração de nova opção de produto para os consumidores (MIRANDA *et al.*, 2015).

### 2.3. SECAGEM

A secagem é empregada para a conservação de produtos alimentícios, pois a presença de altos teores de água provoca a sua deterioração pela ação microbiana (KUMAR *et al.*, 2021; TADINI *et al.*, 2016). Permite alcançar mercados consumidores em todo o mundo e, ainda, fornecer seus produtos o ano inteiro, além de agregar valor, facilitar o desenvolvimento de novos produtos e diminuir os custos relativos ao transporte e armazenamento, já que a massa e o volume do alimento desidratado são menores (KORESE; ACHAGLINKAME, 2022; BAPTESTINI *et al.*, 2016; OLIVEIRA *et al.*, 2015; QUEIROZ *et al.*, 2007).

A secagem é uma operação unitária que consiste em um complexo processo envolvendo a transferência de calor e massa entre o ar de secagem e o produto a ser seco, onde o aumento da temperatura provoca o aumento na pressão parcial de vapor no produto e, conseqüentemente, reduz no teor de água (GONELI *et al.*, 2014; FOUST *et al.* 2012; CELESTINO, 2010). Existem vários métodos para a obtenção de produtos alimentícios em pó, como por exemplo, liofilização, secagem em camada de espuma, secagem por atomização e secagem em leitos móveis como: leito fluidizado e leito de jorro. A escolha do método mais apropriado dependerá de vários fatores como: tempo de secagem, gasto energético, características do produto que se deseja desidratar, entre outras.

#### 2.3.1. Secagem em leito de jorro

Dos diversos métodos de secagem, o leito de jorro se destaca por oferecer vários recursos úteis e, conseqüentemente, é muito usado (HUANG *et al.*, 2023; ARAUJO *et al.*, 2015; MUSSI *et al.*, 2015).

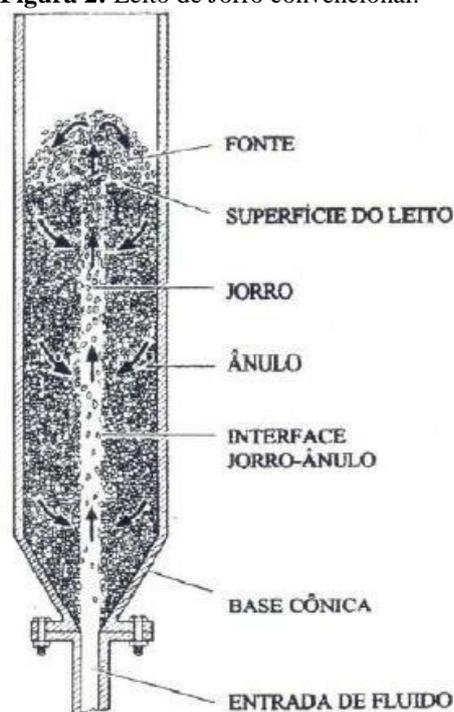
O leito de jorro tem por finalidade promover o íntimo contato entre um fluido e partículas, relativamente grandes ( $d_p > 1\text{mm}$ ), com baixa qualidade de fluidização (MEDEIROS, 2001). Altas taxas de transferência de calor e massa são verificadas no leito

de jorro, devido ao alto grau de mistura entre as fases e à alta taxa de recirculação de sólidos no leito de jorro (LI *et al.*, 2023; BRITO *et al.*, 2018).

O leito de jorro pode operar de forma contínua, intermitente ou em batelada, com partículas ativas, onde a troca de calor e massa com o fluido é de forma simultânea e no caso da secagem de pastas e suspensões com a utilização de partículas inertes (LARROSA *et al.*, 2017; MEDEIROS *et al.*, 2001), onde o processo pode ser alimentado por gotejamento ou pulverização através de um bico no leito de partículas inertes (DANTAS *et al.*, 2019). Além disso, como a temperatura média das partículas é menor que a temperatura média do ar de secagem, é possível sua utilização para a secagem de materiais que são termicamente sensíveis (ARAUJO *et al.*, 2022; COSTA *et al.*, 2015).

Diversas configurações para equipamentos com leito de jorro já foram propostas. Porém, o mais comumente utilizado é conhecido, atualmente, como leito de jorro convencional, que consta basicamente de uma coluna cilíndrica de base tronco-cônica (Figura 2) e para a separação e coleta do pó, um ciclone. Outros tipos de leito de jorro, em relação a sua geometria, podem ser citados, como o leito bidimensional ou retangular (LIU *et al.*, 2019; YANG *et al.*, 2018; ZHANG *et al.*, 2017; VELÁSQUEZ; MENEGALLI; CUNHA, 2012), além do leito de jorro mecanicamente modificado e com tubo *draft* (SOUSA *et al.*, 2019; BRITO *et al.*, 2018; MOLLICK; PANDIT; VIJAYAN, 2018).

**Figura 2:** Leito de Jorro convencional.



Fonte: Mathur; Epstein (1974).

O funcionamento do leito de jorro convencional consiste em um jato de fluido, usualmente o ar, que é injetado por um pequeno orifício localizado na base do leito. O leito se forma pela penetração desta corrente de gás através das partículas sólidas, onde a circulação começa a ocorrer quando a vazão do gás é suficientemente alta para provocar a formação de um fluxo ascendente de partículas por um canal central. Após atingirem a superfície do leito, estas partículas formam uma fonte, em que as partículas são arrastadas pneumáticamente. No topo, se forma uma fonte de sólidos que se espalham radialmente e descem pela região anular (espaço entre o núcleo do canal e as paredes do leito), em contra-corrente com o fluido. Ao chegar à região anular, os sólidos se movimentam descendente, cujo comportamento se assemelha a um leito deslizante. Até que, chegando à base do leito, ocorre novamente o encontro destas partículas com o fluxo do gás, desenvolvendo um movimento sistemático, cíclico e contínuo das partículas (MEDEIROS, 2001; MATHUR; EPSTEIN, 1974).

Por ser uma técnica onde o pó obtido apresenta uma qualidade semelhante ao *spray drying* e por apresentar um custo mais baixo que o mesmo, inúmeros trabalhos vêm sendo desenvolvidos para a secagem em leito de jorro com partículas inertes para uma ampla variedade de pastas e suspensões (BRAGA *et al.*, 2021; NASCIMENTO *et al.*, 2019; DANTAS *et al.*, 2018; ALVES *et al.*, 2017; BORGES *et al.*, 2016; BRAGA; ROCHA, 2015; COSTA *et al.*, 2015; ROCHA *et al.*, 2011; ROCHA *et al.*, 2008; MEDEIROS *et al.*, 2001; OCHOA-MARTINEZ; BRENNAM; NIRAJAM, 1993; PHAM, 1983).

No entanto, algumas limitações relacionadas ao seu uso foram verificadas. Dentre as limitações tem-se: a alta queda de pressão necessária para o estabelecimento do jorro, a taxa de fluxo do ar, que é determinada pela velocidade mínima do jorro e não pelos requisitos do processo (SOUSA *et al.*, 2019; BATISTA JÚNIOR; SANTOS; VIEIRA NETO, 2019; BRITO *et al.*, 2017). Assim, existe a necessidade de ensaios fluidodinâmicos para obtenção das condições de operação para evitar instabilidades, como a aglomeração das partículas, o escape de partículas inertes para o ciclone, diminuição da altura da fonte ou até mesmo o seu colapso durante o processo de secagem. Problemas com a capacidade do leito também foram verificadas por ser limitada pela altura estática máxima do leito das partículas e que depende das propriedades das partículas, design e dimensionamento do vaso de escoamento (SOUSA *et al.*, 2019; BATISTA JÚNIOR; SANTOS; VIEIRA NETO, 2019). Ainda, segundo Sousa *et al.* (2019), verifica-se também uma baixa eficiência energética, onde a transferência de calor e massa adequada no processo de secagem é obtida usando uma faixa estreita de

velocidades do ar que garante a manutenção de características satisfatórias da dinâmica de fluidos, podendo resultar em uma alta necessidade de energia, independente das condições ideais para o processo de secagem.

A alimentação da suspensão no leito de jorro pode ser efetuada de três formas: na parte superior do equipamento (aspergindo ou gotejando a suspensão com o auxílio de um bico ejetor), na base central da coluna (sendo aspergido pelo próprio ar alimentado) ou no interior da região anular (BARRET; FANE, 1990). Ao ocorrer o contato com o leito, a suspensão reveste as partículas inertes com uma fina camada do material que é seca pela transferência de calor por convecção e por condução (BARRET; FANE, 1990). À medida que seca, a película se torna frágil, devido às sucessivas colisões entre as partículas no jorro. Em seguida, é fraturada e arrastada para fora pela corrente de ar e o pó obtido é então coletado, onde na maioria das vezes é utilizado um ciclone (FREIRE *et al.*, 2012). Porém, muitas vezes a taxa de remoção dessa película acaba sendo muito baixa, promovendo uma acumulação do material no leito, acarretando em um dos graves problemas da utilização deste tipo de secador, que chega até às vezes inviabilizando a sua utilização na secagem de diversos materiais (MEDEIROS *et al.*, 2001).

### **2.3.2. Agentes carreadores**

Diversos trabalhos demonstraram que as características da suspensão podem interferir no processo de secagem, principalmente quando se refere à maioria das polpas/sucos de frutas. As frutas que apresentam altos teores de açúcares, que podem causar caramelização e aderência nas paredes do secador, tornando o processo inviável ou com baixo rendimento (BRAGA *et al.*, 2021; MORAES; PINTO, 2015; FERRARI; RIBEIRO; AGUIRRE, 2012). Já as polpas de frutas que são ricas em amido apresentam uma boa estabilidade da operação e eficiência. Desta forma, definir a composição da suspensão antes de iniciar o processo de secagem se torna primordial na fluidodinâmica do leito (PEREIRA; GODOI; ROCHA, 2010). Porém, nem toda matéria-prima possui em sua composição a presença de amido e a adição de ingredientes alimentares podem aumentar a fluidez do pó produzido e reduzir as forças de adesão, recuperando significativamente o produto (MORAES; PINTO, 2015). Pesquisas também concluíram que a adição de ingredientes alimentares, como carboidratos de cadeia longa, gorduras e compostos de proteínas, melhoraram o desempenho do processo de secagem, no caso do uso do secador de leito de jorro, para a produção de pó principalmente a partir de frutas

(HUANG *et al.*, 2023; DANTAS *et al.*, 2019). A utilização desses agentes carreadores com alto peso molecular pode facilitar o processo e aumentar a qualidade das propriedades físicas do produto em pó, como a diminuição do teor de umidade, densidade aparente e o tamanho das partículas (IGUAL *et al.*, 2014; FERRARI; RIBEIRO; AGUIRRE, 2012), como também na proteção do conteúdo de compostos bioativos (HUANG *et al.*, 2023).

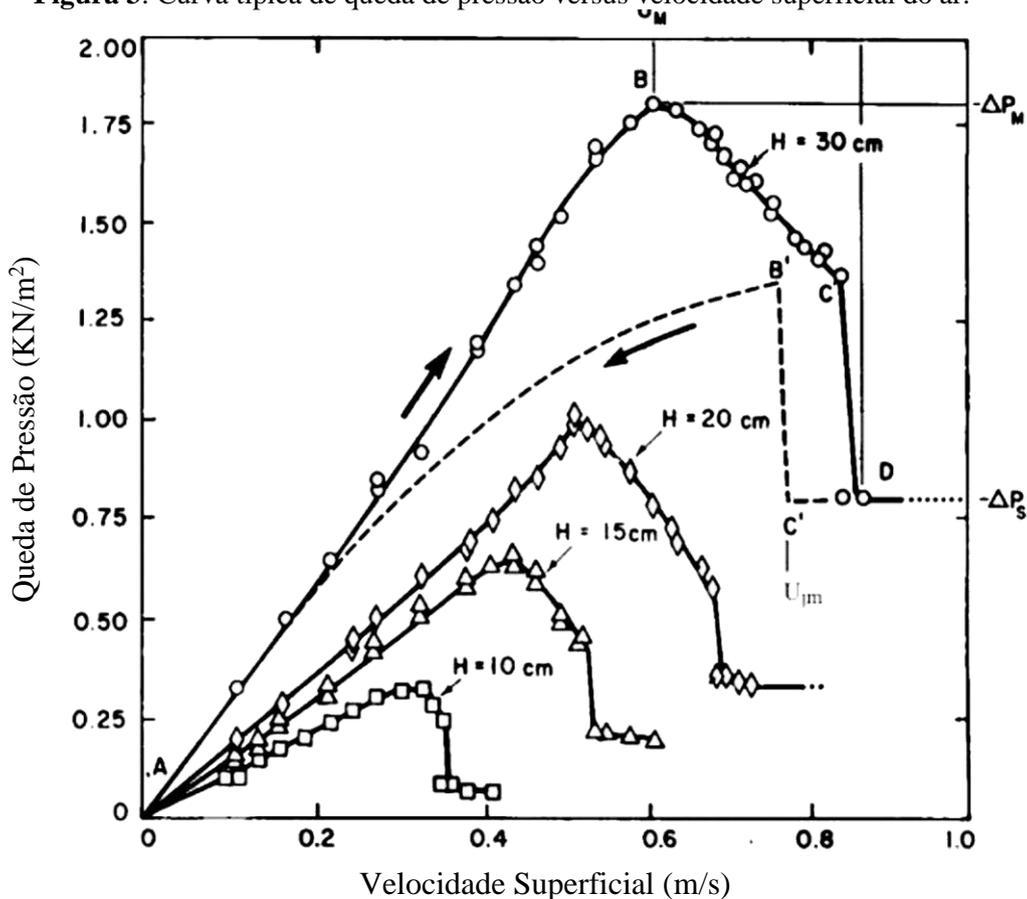
Dentre os agentes carreadores utilizados na secagem, destacam-se a maltodextrina, a goma arábica, a clara de ovo e os amidos (ARAUJO RODRIGUES *et al.*, 2022; SOARES; PEREIRA, 2020; NASCIMENTO *et al.*, 2019; ALVES *et al.*, 2017; ALVES *et al.*, 2016; SOUSA *et al.*, 2016; COSTA *et al.*, 2015; IGUAL *et al.*, 2014; FUJITA *et al.*, 2013).

#### 2.4. O MECANISMO FLUIDODINÂMICO

O estudo do comportamento fluidodinâmico das partículas no leito é de grande importância para obtenção de condições de operação que permitam uma maior eficiência de produção de pó, sem que ocorra instabilidade, com um produto de melhor qualidade e um processo mais econômico (DANTAS, 2018).

Para a fluidodinâmica, os principais parâmetros que influenciarão no comportamento das partículas são: a velocidade de jorro mínima; a queda de pressão máxima e a queda de pressão de jorro estável. E, conseqüentemente, é possível determinar a menor vazão de gás que proporcionará o fenômeno de jorro, a potência máxima a ser fornecida pelo soprador e a potência consumida durante a operação (LESCANO, 2009; VIEIRA; DONIDA; ROCHA, 2004). Para determinação destes parâmetros, tem-se a curva característica do leito de jorro mostrada na Figura 3.

**Figura 3:** Curva típica de queda de pressão versus velocidade superficial do ar.



Fonte: Mathur; Epstein (1974).

Mathur e Epstein (1974) descrevem a curva característica da seguinte forma:

- Ponto A-B: Inicialmente, observa-se que para baixas vazões, o gás apenas passa pelas partículas sem perturbá-las e tem-se o comportamento de um secador de leito fixo. À medida que ocorre o aumento da velocidade do ar, ocorre proporcionalmente, o aumento da queda de pressão. Ao chegar a uma determinada velocidade do ar, as partículas começam a se elevar para a entrada do gás, gerando uma cavidade acima do distribuidor de ar. As partículas que estão ao redor da cavidade são então comprimidas contra as partículas que estão próximas acarretando um empacotamento, promovendo uma maior resistência à passagem do ar e, conseqüentemente, uma maior queda de pressão no leito. O aumento da velocidade do fluido continua e a cavidade se alonga formando um jorro interno. A queda de pressão continua a aumentar até atingir um valor máximo ( $\Delta P_M$ ) referente ao ponto B, correspondente a uma velocidade máxima ( $U_M$ ).

- Ponto B-C: A partir deste ponto o efeito do jorro interno é maior do que a camada sólida, que limita a cavidade, e ocorre a diminuição da queda de pressão.
- Ponto C-D: No ponto C, a quantidade de partículas deslocadas do centro do leito é suficiente para provocar uma expansão do leito, onde esta expansão pode ser acompanhada por contrações do jorro interno, gerando instabilidade e flutuações na queda de pressão. Além do ponto C, qualquer incremento na vazão do gás fará com que a queda da pressão ocorra bruscamente até o ponto D, na qual o jorro aflora na superfície. A curva é descendente e denominada de jorro incipiente. Ao chegar ao ponto D, a queda de pressão se torna constante e o aumento na vazão do gás irá provocar apenas a elevação da fonte.

Porém, a determinação da vazão do jorro incipiente (C) e o início do jorro estável (D) não são facilmente reprodutíveis, por depender das características do leito. Então, é preferível trabalhar com o processo inverso, para a determinação da velocidade de jorro mínimo ( $U_{jm}$ ) (MEDEIROS, 2001; MATHUR; EPSTEIN, 1974). Para esta determinação, é realizada a diminuição gradativamente da vazão do fluido, mantendo as condições de jorro, isto é, até atingir o ponto (C'), que representa a condição mínima de jorro, onde se tem a menor vazão do gás ( $Q_{jm}$ ) com a qual se pode obter o jorro estável. Prossegue-se com a redução na vazão, onde verifica um aumento na queda da pressão, atingindo o ponto (B'), onde se verifica o colapso do jorro e uma rápida elevação da queda de pressão. A partir do ponto (B'), tem-se que a queda de pressão decresce com a vazão (MATHUR; EPSTEIN, 1974).

Tem-se, ainda, que a obtenção de um jorro estável está relacionada com a altura máxima do leito ( $H_{m\acute{a}x}$ ), onde é possível obter um sistema estável, sem que ocorra a fluidização heterogênea na superfície do jorro ou o movimento empistonado. Assim, além da obtenção das condições de operação, observa-se que o sistema é limitado pela altura da carga de sólidos, com influência dos parâmetros geométricos da coluna (ângulo do cone e relação entre os diâmetros da parte cilíndrica e do orifício de entrada do gás) e das propriedades e dimensões das partículas envolvidas (MATHUR; EPSTEIN, 1974).

Segundo Freire *et al.* (2012), diversas pesquisas foram realizadas com o objetivo de buscar maiores detalhes sobre os parâmetros fluidodinâmicos envolvidos no processo de secagem de pastas/suspensões no leito de jorro, como queda de pressão do jorro, altura da fonte, velocidade mínima no jorro, entre outros.

Perazzini *et al.* (2017) relatam que a presença de uma pasta ou suspensão pode alterar os parâmetros fluidodinâmicos, visto que a formação de forças coesivas entre as partículas pode gerar uma modificação nos padrões de circulação de sólidos e fluidos. Assim, para uma secagem eficaz, a circulação de sólidos e a estabilidade dinâmica devem ser preservadas no leito, com a suspensão, para manter um bom contato ar-sólido e garantir que as forças dinâmicas superem as forças de adesão.

Já Almeida, Freire e Freire (2010) observaram que em relação à análise da dinâmica de fluidos, dependendo do tipo de pasta, concentração e taxa de alimentação aplicada, os parâmetros de queda de pressão e velocidade do ar podem sofrer modificações significativas. Como também, baseado nos dados obtidos, pode-se dizer que independentemente da velocidade do ar na entrada do leito, sempre haverá uma quantidade máxima de água que o ar de jato pode absorver.

Neste mesmo sentido, Rocha *et al.* (2011) verificaram mudanças na dinâmica dos fluidos minutos após a injeção da polpa no leito de inerte. Para quase todos os experimentos realizados, o regime de fluxo do leito de jorro se estabilizou com 10 minutos após a injeção, ou seja, nesse período a maior parte da umidade da polpa evaporou. A presença de água resultou, além da diminuição acentuada no  $\Delta P$ , uma expansão do anel e um aumento na altura da fonte.

Dantas *et al.* (2019) também encontraram uma diminuição na queda de pressão ao secar a polpa de acerola com concentrado de whey-protein, como também uma pequena variação na altura da fonte. As outras formulações de amostra não afetaram a estabilidade do jorro e apenas foram observadas pequenas variações na altura da fonte.

Para Spitzner Neto e Freire (1997), a diminuição no  $\Delta P$  é explicada pela aglomeração, que em conjunto com a viscosidade da polpa, a circulação de partículas no leito pode ser comprometida, ocorrendo o aumento na vazão de ar na região do bico. Para a taxa de fluxo de ar, como também o vazio na região do bico, ocorre o seu aumento por conta de uma maior resistência na região anular e como consequência uma diminuição da queda de pressão no leito. Assim, quanto maior a instabilidade dinâmica do fluido provocada pela polpa, maior é a redução na  $\Delta P$ .

A mesma comprovação foi mostrada por Bortolotti *et al.* (2013) em que o aumento da suspensão gerou uma diminuição na queda de pressão, como resposta. Para as condições estudadas pelo autores, concluíram também que a influência da suspensão na queda de pressão ( $\Delta P$ ) é maior que a altura do leito estático.

Já para Brito *et al.* (2017) e Nascimento *et al.* (2015), houve um aumento na queda máxima de pressão e no fluxo mínimo à medida que a suspensão foi aumentada. Como explicação dada pelos autores, esse efeito ocorreu devido a maior resistência ao fluxo causada pelo aumento da suspensão, resultando em uma maior queda de pressão e maior velocidade mínima.

Xavier *et al.* (2016) observaram que as curvas diferem na condição mínima de jorro e que dependem tanto da altura do leito como da massa da casca da macadâmia, devido à influência dessas variáveis na massa total de partículas no leito como também da sua vazão. Sari, Kulah e Koksall (2012) também demonstraram que a velocidade mínima de jorro aumenta com o ângulo do cone, altura do leito e também o diâmetro das partículas. Assim como Batista, Brito e Béttega (2018) que relataram comportamento semelhante.

Perazzini *et al.* (2017) investigaram a influência do ângulo cônico e geometria do dispositivo de entrada para a secagem do leito desnatado. A queda de pressão diminuiu à medida que o ângulo do cone aumentou de 45° para 60° e não mudou significativamente de 60° para 75°, para as condições estudadas. Vale ressaltar que o leito de jorro utilizado possuía um diâmetro de 36 cm e como citado por Mathur e Epstein (1974), a influência do ângulo do cone são mais significativas quando o diâmetro da coluna é superior a 30 cm. A estabilidade dinâmica também foi afetada pelo tipo de geometria do dispositivo de entrada, da mesma forma em relação a capacidade de secagem, que foi afetada, para as duas variáveis analisadas.

## 2.5. ESTADO DA ARTE

O método de secagem em leito de jorro foi proposto pela primeira vez por Mathur e Gisher (1955), como uma alternativa à secagem em leito fluidizado de grãos de trigo. O método se mostrou promissor de tal forma que em 1963 foram implantadas unidades industriais no Canadá para a secagem de ervilha, lentilha e fibras de linha (MEDEIROS, 2001).

Com o passar dos anos diversos trabalhos foram realizados na secagem em leito de jorro, como pode ser verificado no Quadro 1, que abrange o período dos últimos oito anos.

**Quadro 1** – Processos de secagem de diversos materiais com uso de secador de leito de jorro nos últimos oito anos

<b>Aplicação</b>	<b>Condições de Secagem</b>	<b>Efeito dos fatores no pó</b>	<b>Referência</b>
Polpa Mista (acerola + ceriguela)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Temperatura de secagem: 75 °C</li> <li>- Fluxo de alimentação: 5 mL/min</li> <li>- Maltodextrina: 15%</li> <li>- - Leito de jorro cônico-cilíndrico dimensões: (h = 1900mm; D<sub>1</sub>=650mm; D<sub>2</sub>=1000mm).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Não houve diferença significativa entre os métodos <i>spray-dryer</i>, liofilização e leito de jorro para o pH, acidez total, e sólidos solúveis totais.</li> <li>- Altos valores encontrados para ácido ascórbico, carotenoides totais e fenólicos totais.</li> </ul>	SILVA JÚNIOR <i>et al.</i> (2022)
Cajá com probiótico	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Temperatura de secagem (50, 60 e 70 °C)</li> <li>- Maltodextrina (2,5, 5,0 e 7,5%)</li> <li>- Concentração de inulina (2,5, 5,0 e 7,5%)</li> <li>- Leito de jorro cônico-cilíndrico dimensões: (h = 1900mm; D<sub>1</sub>=650mm; D<sub>2</sub>=1000mm).</li> </ul>	<p>Temperatura de entrada mais baixa em combinação com concentrações mais baixas de maltodextrina e inulina resultou em um pó com um número maior de células viáveis.</p> <p>Rendimento do processo entre 14,34% a 23,615%.</p> <p>Maiores teores de bioativos são obtidas quando aplicado uma menor temperatura de secagem.</p>	ARAUJO RODRIGUES <i>et al.</i> (2022)
Extrato de peroxidase da raiz de rabanete	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Temperatura de secagem (50, 60, 70 °C)</li> <li>- Vazão de ar adimensional (Q): 1,2 e 1,4</li> <li>- Fluxo de alimentação: 1,22 mL/min</li> <li>- - Leito de jorro cônico-cilíndrico dimensões: (h = 300mm; D<sub>1</sub>=90mm; D<sub>2</sub>= 15mm; ângulo = 60°)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Maior temperatura de secagem, menor a atividade residual da enzima;</li> <li>- Maior a vazão de ar, maior a atividade residual da enzima.</li> <li>- Redução da atividade enzimática após o processo de secagem.</li> <li>- Valores ótimos dos fatores operacionais (T = 50 °C e Q = 1,4.</li> <li>- Melhora em até 50% na estabilidade térmica e vida útil da enzima com o processo de secagem.</li> </ul>	HAMEDI <i>et al.</i> (2021)
Batata-doce ( <i>Ipomoea batatas</i> L.)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Temperatura de secagem (60, 70, 80 °C)</li> <li>- Vazão de ar 3,0 m<sup>3</sup>/min</li> <li>- Vazão de alimentação 2,7 mL/min</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Maior temperatura de secagem, menor o teor de umidade, de atividade de água, proteínas, acidez titulável total.</li> <li>- Maior temperatura de secagem, maior o teor de sólidos, cinzas, lipídeos, carboidratos, sólidos solúveis totais.</li> <li>- Em todas as secagens o pH se manteve constante.</li> </ul>	ALMEIDA <i>et al.</i> (2020)

**Quadro 1** - Processos de secagem de diversos materiais com uso de secador de leito de jorro nos últimos oito anos (**continuação**).

<b>Aplicação</b>	<b>Condições de Secagem</b>	<b>Efeito dos Fatores no pó</b>	<b>Referência</b>
Polpa de Jambolão ( <i>Syzygium cumini</i> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mistura de agente carreador (maltodextrina + clara de ovo + dióxido de silício coloidal)</li> <li>- Temperatura de secagem de 70 °C</li> <li>- Vazão de 2,9 kg/min</li> <li>- Vazão de alimentação de 11 g/min</li> <li>- Leito de jorro cônico-cilíndrico dimensões: (h = 545mm; D<sub>1</sub>=136mm; D<sub>2</sub>=50mm; ângulo = 60°)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Em todas as misturas houve diminuição da umidade e atividade de água;</li> <li>- Alta solubilidade;</li> <li>- Na mistura com maior concentração de clara ocorreu um aumento na antocianinas, na higroscopicidade; por outro lado, gerou diminuição na molhabilidade, rendimento e diminuição no diâmetro médio.</li> </ul>	SOARES; PEREIRA, (2020)
Polpa de acerola ( <i>Malpighia emarginata</i> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Temperatura de secagem: 70 °C</li> <li>- Velocidade do ar: 2.5 m/s</li> <li>- Polpa de acerola (7,9% sólidos) com leite em pó (97,3% sólidos)</li> <li>- Vazão de alimentação: 6-7 mL/min</li> <li>- Leito de jorro cônico-cilíndrico dimensões: (h = 72cm; D<sub>1</sub>=18cm; D<sub>2</sub>= 3cm; ângulo = 60°)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aumento do pH, sólidos totais, sólidos solúveis, proteína em relação a polpa <i>in natura</i>;</li> <li>- Diminuição da atividade de água, teor de umidade e ácido ascórbico;</li> <li>- Solubilidade de 68,9%; Higroscopicidade de 15,78%.</li> </ul>	DANTAS, <i>et al.</i> (2019)
Rosa Mosqueta ( <i>Rosa canina</i> L.)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Temperatura de Secagem (40; 70; 80 °C)</li> <li>- Leito de jorro de base parabolóide (PBSB)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aumento de temperatura gera um menor tempo de secagem;</li> <li>- Aumento da temperatura gera maior taxa de secagem, maior difusividade e alto valor de energia de ativação.</li> </ul>	EVIN, (2019)
Pimenta Preta ( <i>Piper nigrum</i> L.)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Temperatura de Secagem (45 – 75 °C)</li> <li>- Velocidade do ar (1,60 – 1,97 – 2,37 m/s)</li> <li>- Altura do Leito (7 cm – 22 cm)</li> <li>- Leito de jorro cônico-cilíndrico dimensões: (h = 1,0m; D<sub>1</sub>=0,15m; D<sub>2</sub>= 0,05m; ângulo = 60°)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aumento da temperatura gerou aumento da velocidade do ar e da taxa de secagem;</li> <li>- Diminuição na altura do leito gera aumento na taxa de secagem</li> <li>- Aumento da temperatura gera aumento na difusividade efetiva;</li> <li>- Maior rendimento na temperatura de secagem de 65 °C.</li> </ul>	JAYATUNGA; AMARASINGHE, 2019

**Quadro 1** - Processos de secagem de diversos materiais com uso de secador de leito de jorro nos últimos oito anos (**continuação**).

<b>Aplicação</b>	<b>Condições de Secagem</b>	<b>Efeito dos Fatores no pó</b>	<b>Referência</b>
Bacaba	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Temperatura de secagem (55; 65; 75 °C)</li> <li>- Maltodextrina (15%, 20%, 25%)</li> <li>- Velocidade do ar (21,62 m/s, 19,75 m/s, 19,01m/s)</li> <li>- Leito de jorro cônico-cilíndrico dimensões: (h = 0,8m; D<sub>1</sub>=0,16m; D<sub>2</sub>= 0,0254m; ângulo = 60°)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Redução no teor de umidade com o aumento de temperatura;</li> <li>- Acentuada redução de lipídeos;</li> <li>- Leve redução no teor de Proteína, cinzas, energia, antocianinas, fenólicos totais;</li> <li>- Aumento no teor de carboidratos.</li> </ul>	NASCIMENTO <i>et al.</i> (2019)
Folhas de dendezeiros (oil palm frond)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Temperatura de secagem (50; 60; 70; 80; 90 °C)</li> <li>- Velocidade do ar de secagem (1,34 m/s, 1,46 m/s, 1,58 m/s)</li> <li>- Altura do leito (10 cm, 15 cm)</li> <li>- Leito de jorro cônico-cilíndrico dimensões: (h = 1,5m; D<sub>1</sub>=30cm; D<sub>2</sub>= 7,5cm)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Maior temperatura de secagem, maior é a velocidade de secagem, taxa de secagem;</li> <li>- Maior altura do leito, menor a taxa de secagem;</li> <li>- Maior a temperatura de secagem e maior a velocidade do ar, menor o consumo de energia.</li> </ul>	TAN <i>et al.</i> (2019)
Polpa de Açaí ( <i>Euterpe oleracea</i> Mart.)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Temperatura de secagem 90 °C;</li> <li>- Vazão do ar 0,2 kg<sub>polpa</sub>/kg<sub>inert</sub>.h</li> <li>- Leito de jorro cônico-cilíndrico dimensões: (h = 0,15m; D<sub>1</sub>=0,175m; ângulo = 60°)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Diminuição de carotenoides, antocianinas, umidade;</li> <li>- Partículas com diâmetro inferior a 100 µm.</li> </ul>	LUCAS; ZAMBLIAZI; COSTA (2018)
Polpa de Jaboticaba ( <i>Myrciaria cauliflora</i> Berg)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Temperatura de secagem (50; 60; 70 °C);</li> <li>- Tempo de secagem: 2,5 horas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Alta degradação de antocianina após a secagem (diminuição de 5 vezes do teor encontrado na polpa);</li> <li>- Diminuição do teor da umidade com o aumento da temperatura.</li> </ul>	SANTOS <i>et al.</i> (2018)

**Quadro 1** - Produção de pó de diversos materiais com uso de secador de leito de jorro nos últimos oito anos (continuação).

Aplicação	Condições de Secagem	Efeito dos Fatores no pó	Referência
Resíduos de Camarão	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Temperatura de secagem (70; 80; 90 °C);</li> <li>- Vazão de alimentação = 7.0 mL/min.</li> <li>- Leito de jorro cônico-cilíndrico: dimensões: (h = 40 cm; D<sub>1</sub>=5 cm; D<sub>2</sub>=20 cm; ângulo 60°)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- O aumento na temperatura resultou na diminuição do teor de umidade;</li> <li>- O aumento da temperatura gerou um aumento no teor de proteínas e de cinzas.</li> </ul>	SILVA <i>et al.</i> (2018)
Suco de laranja Probiótico	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Temperatura de secagem (60; 70;80; 90 °C);</li> <li>- Maltodextrina com dextrose diferente equivalente (DE) (10, 20, 30, 39) em 15%.</li> <li>- Leito de jorro cônico-cilíndrico: dimensões: (h = 881 mm; D<sub>1</sub>=350mm; D<sub>2</sub>=102milímetros).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Maior temperatura, menor a viabilidade microbiana, menor o teor de umidade e menor a atividade de água;</li> <li>- Maior dextrose (DE), maior o teor de umidade;</li> <li>- Menor dextrose (DE), maior é a qualidade do produto em pó.</li> </ul>	ALVES <i>et al.</i> (2017)
Linhaça	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Temperatura de secagem (30; 40;50; 60 °C);</li> <li>- Inclinação do Cone (30°, 45°).</li> <li>- Leito de jorro cônico-cilíndrico: dimensões: (h = 0,484m; D<sub>1</sub>=0,0438m; D<sub>2</sub>=0,0438m; ângulo 30°); (h = 0,484m; D<sub>1</sub>=0,102m; D<sub>2</sub>=0,102m; ângulo 45°).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aumento da temperatura gerou menor tempo de secagem, porém um aumento no gasto energético;</li> <li>- Maior inclinação permitiu chegar no teor de umidade mais rápido e maior gasto energético.</li> </ul>	ARROTÉIA <i>et al.</i> (2017)
Farinha de Taro ( <i>Colocasia esculenta</i> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Temperatura de secagem (70; 80 ; 90 °C).</li> <li>- Leito de jorro cônico-cilíndrico: dimensões: (h = 1900mm; D<sub>1</sub>=650mm; D<sub>2</sub>=1000mm).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aumento da temperatura gerou diminuição de compostos fenólicos, flavonoides, pH, umidade e atividade de água;</li> <li>- Aumento da temperatura não ocasionou na variação de vitamina C;</li> <li>- Aumento da temperatura gerou um aumento na acidez total titulável;</li> </ul>	CASTRO <i>et al.</i> (2017)

**Quadro 1** - Produção de pó de diversos materiais com uso de secador de leito de jorro nos últimos oito anos (continuação).

Aplicação	Condições de Secagem	Efeito dos Fatores no pó	Referência
Arthrospira (Spirulina) biomassa	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Temperatura de secagem (80 °C, 90 °C, 100 °C, 110 °C);</li> <li>- Taxa de suspensão 0.4 kg<sub>biomassa</sub>/kg<sub>inert</sub>.h</li> <li>- Leito de jorro cônico-cilíndrico: dimensões: (h = 0,15m; D<sub>1</sub>=0,175m; ângulo = 60°)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- A ficocianina foi afetada negativamente com o aumento de temperatura;</li> <li>- A Atividade antioxidante, os compostos fenólicos e a solubilidade de proteínas aumentaram com o aumento de temperatura;</li> <li>- Os compostos fenólicos totais mostraram uma redução na faixa de 10 a 76%, em relação a <i>natura</i> Spirulina;</li> </ul>	LARROSA <i>et al.</i> (2017)
Polpa de seriguela ( <i>Spondias purpurea</i> L.)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Maltodextrina com equivalente Dextrose (DE) 10 – 3%;</li> <li>- Temperatura de secagem (80 °C);</li> <li>- Vazão de alimentação – 3mL/min;</li> <li>- Pressão interna: 3 bar;</li> <li>- Vazão do ar: 2,5 m<sup>3</sup>/ min.</li> <li>- Leito de jorro cônico-cilíndrico: dimensões: (h = 1900mm; D<sub>1</sub>=650mm; D<sub>2</sub>=1000mm).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tempo de molhagem intermediário, de 0,39 g min<sup>-1</sup>;</li> <li>- Solubilidade superior a 60%;</li> <li>- Fenólicos Totais 329,20 mg EAG/100g;</li> <li>- Antioxidantes 1,73 µM Trolox/g.</li> </ul>	LINS <i>et al.</i> (2017)
Carragenina semi-refinado	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Temperatura de secagem (60; 100; 150 °C);</li> <li>- Velocidade do ar de secagem 18,5 m/s;</li> <li>- Leito de jorro cônico-cilíndrico</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Um aumento na temperatura de secagem gerou aumento do coeficiente de difusão efetivo (Deff); menor tempo de secagem; menor umidade de equilíbrio; maior consumo de energia; menor atividade de água; menor teor de solubilidade;</li> <li>- A coloração do produto final ficou mais clara.</li> </ul>	SEROWIK <i>et al.</i> (2017)

**Quadro 1** - Produção de pó de diversos materiais com uso de secador de leito de jorro nos últimos oito anos (continuação).

<b>Aplicação</b>	<b>Condições de Secagem</b>	<b>Efeito dos Fatores no pó</b>	<b>Referência</b>
Sementes de mamão papaia ( <i>Carica papaya</i> L.)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Temperatura de secagem (40; 52,1; 70; 87,9; 100 °C);</li> <li>- Velocidade do ar de secagem (9,24; 9,75; 10,50; 11,25; 11,76 m/s);</li> <li>- Tempo de secagem (0,50;1,21; 2,25;3,29;4 h).</li> <li>- Leito de jorro cônico-cilíndrico: dimensões: (h = 0,54m; D<sub>1</sub>=0,002m; D<sub>2</sub>=0,17m; ângulo = 60°)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Maior temperatura de secagem menor a umidade do pó;</li> <li>- Todo planejamento experimental gerou uma umidade adequada para conservação do produto;</li> <li>- Aumento das variáveis gerou um aumento no rendimento do produto.</li> </ul>	CHIELLE <i>et al.</i> (2016)
Resíduo de Jambolão( <i>Syzygium cumini</i> ): cascas e sementes	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Temperatura de secagem (60; 70; 80 °C);</li> <li>- Velocidade do ar de secagem (8 m/s, 9 m/s, 10 m/s).</li> <li>- Leito de jorro cônico-cilíndrico: dimensões: (h = 545mm; D<sub>1</sub>=136mm; D<sub>2</sub>=50mm; ângulo = 60°)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Em todas as secagens a atividade antioxidante não alterou;</li> <li>- O aumento da temperatura gerou um aumento em todos os minerais analisados, uma diminuição do teor de umidade, diminuição da atividade de água e de antocianinas.</li> </ul>	MUSSI <i>et al.</i> (2015)
Polpa de Açaí ( <i>Euterpe oleracea</i> Mart.)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pressão – 135,83 kPa;</li> <li>- Vazão de alimentação – 10 mL/min;</li> <li>- Temperatura de secagem (55; 65; 75 °C);</li> <li>- Fluxo de ar – 1,2, 1,25, 1,30 Qms;</li> <li>- Maltodextrina - (15,20 e 25%).</li> <li>- Leito de jorro cônico-cilíndrico: dimensões: (h = 0,30m; D<sub>1</sub>=0,20m; D<sub>2</sub>=0,03m; ângulo = 60°)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Todas as variáveis influenciaram positivamente no rendimento do processo;</li> <li>- O aumento da temperatura causou uma redução no teor de umidade;</li> <li>- A taxa de fluxo de ar era a variável que mais influenciou na degradação das antocianinas;</li> <li>- Rendimento entre 26,59 % a 67,20 %.</li> </ul>	COSTA <i>et al.</i> (2015)

**Quadro 1** - Produção de pó de diversos materiais com uso de secador de leito de jorro nos últimos oito anos (**conclusão**).

<b>Aplicação</b>	<b>Condições de Secagem</b>	<b>Efeito dos Fatores no pó</b>	<b>Referência</b>
Polpa de caju	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Maltodextrina DE 14 – 10%;</li> <li>- Temperatura de secagem (50; 60; 70 °C);</li> <li>- Vazão de ar: 2,53 m<sup>3</sup>/min;</li> <li>- Vazão da alimentação: 5 g/min;</li> <li>- Leito de jorro cônico-cilíndrico: dimensões: (h = 40,5cm; D<sub>1</sub>=19cm; D<sub>2</sub>=4,4cm; ângulo = 110°)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- O aumento da temperatura de secagem reduziu o teor de umidade, a atividade de água e pH;</li> <li>- Houve concentração das cinzas e aumento nos valores de açúcares totais e acidez total com o aumento da temperatura;</li> <li>- A elevação da temperatura de secagem promoveu clareamento significativo nos pós.</li> </ul>	SANTOS <i>et al.</i> (2015)

Observa-se que o leito de jorro tem sido aplicado em diversos tipos de alimentos, como frutas, hortaliças, farinhas, algas, sementes, etc.

A variável mais estudada, entre os autores citados, foi a temperatura de secagem, sendo avaliado o seu efeito sobre a características e qualidade do produto obtido. Além de verificarem que a taxa de secagem e a difusividade efetiva da água aumentaram com o aumento da temperatura e, de forma inversa, menores tempo de secagem, teor de umidade e atividade de água nos pós foram encontrados. No entanto, a qualidade da secagem nem sempre foi satisfatória. Araujo Rodrigues *et al.* (2022) verificaram que temperaturas mais altas resultaram em um pó com um número menor de células viáveis e que maiores teores de bioativos são obtidos quando aplicado uma menor temperatura de secagem. Hamedi *et al.* (2021) constataram uma menor atividade residual da enzima ao aumentar a temperatura de secagem. Nascimento *et al.* (2019) descobriram uma acentuada redução de lipídeos e leve redução no teor de proteínas, cinzas, antocianinas e fenólicos totais. Jayatunga; Amarasinghe (2019) descobriram que o rendimento do óleo essencial da pimenta preta do Sri Lanka aumentou primeiro com a temperatura e depois diminuiu, onde uma temperatura de secagem adequada foi capaz de proporcionar um alto rendimento de óleo. Dantas *et al.* (2019) constataram uma diminuição no teor de ácido ascórbico com a temperatura de secagem. Lucas; Zambiasi; Costa (2018) observaram que apesar da diminuição do teor de umidade na polpa do açaí, houve também uma diminuição de carotenoides e antocianinas. Castro *et al.* (2017) constataram que o aumento da temperatura gerou diminuição de compostos fenólicos e flavonoides. Alves *et al.* (2017) observaram que os pós de suco de laranja probiótico secos em altas temperaturas (80 e 90 °C) proporcionaram melhores características físico-químicas, no entanto, a viabilidade microbiana probiótica diminuiu. Serowik *et al.* (2017) e Santos *et al.* (2015) constataram que o pó da polpa do caju teve um clareamento em sua coloração em virtude do aumento da temperatura. Também, foi verificado alguns estudos sobre o efeito da velocidade do ar. Jayatunga e Amarasinghe (2019) e Tan *et al.* (2019) descobriram que o consumo de energia era menor a uma velocidade do ar logo acima da velocidade mínima de jorro. Costa *et al.* (2015) observaram que a velocidade do ar foi a variável que mais influenciou na degradação das antocianinas do pó da polpa do açaí. Onde um menor teor foi encontrado ao aumentar a velocidade do ar.

De modo geral, o leito de jorro mostrou ser um método de secagem potencial e promissor na secagem de produtos alimentícios.

Silva Júnior *et al.* (2022) concluíram que altos valores foram encontrados para ácido ascórbico, carotenoides totais e fenólicos totais para a polpa mista (acerola + ceriguela) em pó. Hamedi *et al.* (2021) verificaram que o processo de secagem no leito de jorro melhorou em até 50% na estabilidade térmica e vida útil da enzima com o processo de secagem. Dantas *et al.* (2019) concluíram que o leito de jorro foi um método adequado para produzir pós da polpa da acerola, que apresentaram atributos nutricionais e bioativos satisfatórios. Alves *et al.* (2017) constataram que para uma maior qualidade do pó do suco de laranja probiótico uma menor dextrose (DE) deveria ser utilizada.

Mussi *et al.* (2015) verificaram que o teor total de antocianinas do resíduo de jambolão foi reduzido em 60–70%. Costa *et al.* (2015) concluíram que todas as variáveis influenciaram de forma positiva no rendimento do processo.

### 3. METODOLOGIA

Nesta seção são apresentadas as metodologias utilizadas para a realização da pesquisa. As análises e ensaios experimentais foram realizados no Laboratório de Engenharia Bioquímica (LEB) da Unidade Acadêmica de Engenharia Química da Universidade Federal de Campina Grande (UAEQ/CT/UFCG), Campina Grande – PB, e nos laboratórios de Termodinâmica e de Bioengenharia do Departamento de Engenharia Química do Centro de Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba (DEQ/CT/UFPB), João Pessoa - PB.

#### 3.1. MATÉRIA-PRIMA

Os frutos do noni utilizados nesse estudo foram obtidos a partir da agricultura familiar, provenientes de uma Granja (Latitude 7.310105S, Longitude 34.935019W) localizada na zona rural do município de Alhandra, no estado da Paraíba.

Após a colheita, os frutos foram transportados para o laboratório de Termodinâmica do Departamento de Engenharia Química do Centro de Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba (DEQ/CT/UFPB), onde foram selecionados quanto ao estágio de maturação, em que as que apresentavam uma coloração esbranquiçada eram escolhidas, ou seja, estavam maduras. Através de características visuais, sendo observadas a ausência de dano mecânico e/ou com pragas, como mostrado na Figura 4:

**Figura 4:** Noni (*Morinda citrifolia* L.) *in natura* utilizados no estudo.



Em seguida, foram lavados em água corrente para remoção da contaminação superficial e sanitizados de acordo com a Resolução RDC nº 218/2005 da ANVISA (BRASIL, 2005), que dispõe sobre o Regulamento Técnico de Procedimentos Higiênicos Sanitários para Manipulação de Alimentos e Bebidas Preparados com Vegetais.

Após sanitização, foi realizado o seu despolpamento, de forma manual e com auxílio de uma peneira comum. Posteriormente, a polpa foi acondicionada em embalagens de polietileno, hermeticamente fechado, e armazenados em freezer doméstico até sua utilização.

### 3.2. CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DA POLPA DO NONI *IN NATURA*, DO PÓ OBTIDO APÓS O PROCESSO DE SECAGEM NO LEITO DE JORRO E POR LIOFILIZAÇÃO

Para a caracterização físico-química da polpa *in natura* e dos pós obtidos após o processo de secagem no leito de jorro e por liofilização, foram empregados os métodos analíticos descritos a seguir e todas as análises realizadas em triplicata.

#### 3.2.1. Atividade de água (*aw*)

A atividade de água (*aw*) foi determinada através de leitura direta da amostra no medidor de água, modelo Novasina, na temperatura de 30 °C, em triplicata.

#### 3.2.2. Potencial hidrogeniônico (pH)

O pH foi determinado a partir de um pHmetro microprocessado digital de bancada modelo D1a-pH, calibrado com soluções tampão de pH 4, 7 e 10.

Baseado na metodologia 017/IV do Instituto Adolfo Lutz (IAL, 2008), foi pesado 1,00 grama da amostra e adicionados em 10 mL de água destilada. Em seguida, a solução foi agitada até que as partículas estivessem uniformemente suspensas. Após a diluição, a solução foi filtrada em um papel filtro contendo algodão e, posteriormente, mediu-se o pH da solução aquosa. As análises foram realizadas à temperatura ambiente (28°C) e em triplicata.

### 3.2.3. Teor de umidade

O teor de umidade foi determinado a partir do método de secagem direta em estufa a 105 °C, descrito pelo Instituto Adolfo Lutz (IAL, 2008). Foram pesados 5 gramas da amostra em cápsulas de metal previamente tarada. As cápsulas de metal foram colocadas na estufa de esterilização a 105 °C e, após o período de 24 horas, foram retiradas, resfriadas em dessecador e, em seguida, pesadas. A análise foi realizada em triplicata. O teor de umidade foi calculado através da Equação 1:

$$\text{Teor de umidade \% (b.u)} = \frac{M_A - M_{FA}}{M_A} * 100 \quad (1)$$

Na qual:

b.u = base úmida

$M_A$  = massa da amostra (g);

$M_{FA}$  = massa final da amostra (g).

### 3.2.4. Cinzas

Para realizar o procedimento, cadinhos de porcelana e lavados, foram colocados em estufa para secar por um período de 1 hora. Após esse tempo, foram retirados e mantidos em dessecador com sílica gel até atingir a temperatura ambiente.

Em seguida, os cadinhos foram pesados, em balança analítica, e anotados seus respectivos valores, correspondentes a  $m_r$ . Foi adicionado 1 grama da amostra (correspondente a  $m_A$ ) aos cadinhos e levados para a mufla na temperatura de 550 °C para incineração. Após completa incineração, as amostras permaneceram em dessecador para total resfriamento e, em seguida, foram pesados novamente, com os novos valores anotados respectivamente como  $m_{RAC}$ . (IAL, 2008). A quantificação de cinzas foi calculada pela Equação 2:

$$\text{Cinzas (\%)} = \frac{(m_{RAC} - m_R)}{m_a} * 100 \quad (2)$$

Na qual:

$m_A$  = massa da amostra;

$m_R$  = massa do recipiente;

$m_{RAC}$  = massa do conjunto recipiente (MR)/amostra calcinada (AC).

### 3.2.5. Sólidos solúveis totais (SST)

Foram dissolvidos 6 gramas da amostra em 6 mL de água destilada, proporção 1:1. Após homogeneização, a solução foi agitada por 5 minutos para melhor diluição. Em seguida, a solução foi centrifugada por 10 minutos na velocidade de 3600 rpm para separação de possíveis partículas presentes ainda na solução. Foram retiradas 3 gotas da solução, colocadas na superfície do aparelho e, em seguida, realizada a leitura.

A determinação de sólidos solúveis totais foi realizada em um refratômetro da marca Nova Instruments ABBE, calibrado com água destilada, em temperatura ambiente (25 °C), realizadas em triplicata, com o resultado expresso em ° Brix e multiplicado por dois, devido à diluição (IAL, 2008).

### 3.2.6. Acidez Titulável Total (ATT)

A determinação da acidez foi feita por volumetria potenciométrica, baseada na metodologia do Instituto Adolfo Lutz (IAL, 2008). Foram pesados 5 gramas da amostra e diluídos em 100 mL de água destilada. Em seguida, foram adicionados 0,3 mL de solução de fenolftaleína para verificação do ponto de viragem e realizado a titulação com a solução padrão de hidróxido de sódio com concentração de 0,1M, sob agitação constante, até coloração rósea persistente por 30 segundos. O cálculo da acidez foi realizado pela Equação 3:

$$ATT = \frac{V \cdot f \cdot M \cdot PM}{10 \cdot P \cdot n} \quad (3)$$

Na qual:

ATT = acidez (g de ácido cítrico orgânico %);

V = volume da solução de hidróxido de sódio gasto na titulação (mL);

M = molaridade da solução de hidróxido de sódio;

P = massa da amostra (g);

PM = peso molecular do ácido cítrico;

f = fator de correção da solução de hidróxido de sódio;

n = número de hidrogênio ionizáveis.

### 3.2.7. Ácido ascórbico

A determinação do teor de ácido ascórbico foi pelo método titulométrico descrito por Rangana (1979). Para a determinação, foram utilizados 0,5 gramas da amostra e diluídos em 25 mL de ácido oxálico a 2%. A amostra foi filtrada e tomada uma alíquota de 10 mL e titulada com 2,6-diclorofenol indofenol até um ponto final de cor de rosa. O cálculo foi realizado pela Equação 4:

$$\text{Ácido ascórbico} \left( \frac{mg}{100g} \right) = \frac{V_g \cdot f \cdot V_t}{\text{aliquota} * P} \times 100 \quad (4)$$

Na qual:

$V_g$  = volume gasto na titulação (mL);

F = fator de correção = 0,84 (mg de ác.ascórbico em 5ml de solução padrão);

$V_t$  = volume total (mL);

Alíquota = volume retirado para a titulação (mL);

P = massa inicial da amostra (g).

### 3.2.8. Preparo do extrato da amostra para determinação da atividade antioxidante e fenólicos totais

Para a extração, foram pesados aproximadamente 1 g de cada amostra, adicionou-se 40 mL de metanol e as soluções foram submetidas a agitação por 3 h. Em seguida, foi realizada a centrifugação dos extratos a 5.000 rpm, por 10 min, e os sobrenadantes recuperados. O extrato foi seco em estufa de circulação de ar (Solab, modelo SL102) a 35 °C. Em seguida, com metanol, foi preparado o extrato na concentração de 5 mg/mL.

O extrato foi armazenado, ao abrigo da luz, à temperatura ambiente até o momento de sua utilização para a determinação de fenólicos totais e da atividade antioxidante pelo método DPPH e pelo método ABTS.

### 3.2.9. Fenólicos Totais

#### Curva padrão de Ácido Gálico

Uma curva-padrão é utilizada para determinar quantitativamente uma propriedade de uma amostra desconhecida a partir de amostras com propriedades conhecidas. Desta forma, foi construído inicialmente a curva padrão para o ácido gálico para, em seguida, determinar as concentrações de fenólicos totais nas amostras dos pós do noni. A curva padrão de ácido gálico para quantificação de compostos fenólicos, por meio da absorbância pode ser observada na Figura 5.

**Figura 5:** Curva padrão de ácido gálico (rever numeração).



A curva de calibração para determinação dos compostos fenólicos totais, foi definida pela equação  $y = 0,0858x - 0,0029$  com um coeficiente de determinação ( $R^2$ ) 0,9986.

A metodologia para análise de compostos fenólicos totais foi feita pelo método colorimétrico de Folin-Ciocalteu (SINGLETON, ORTHOFER e LAMUELA-RAVENTÓS, 1974) e realizado em triplicata.

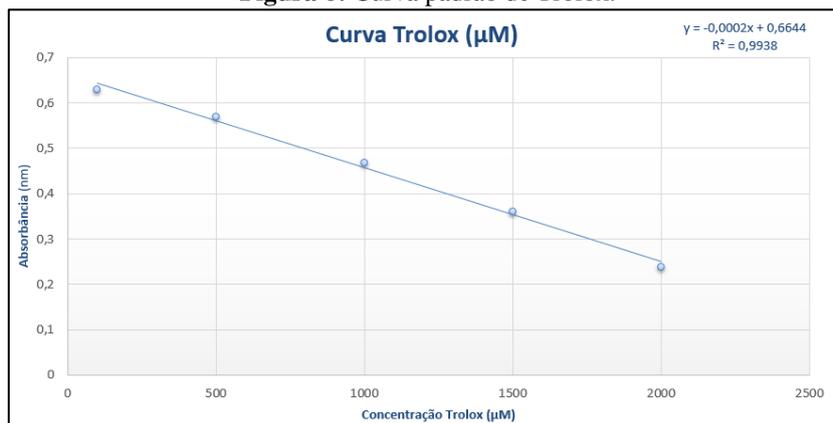
Uma alíquota de 180 µL do extrato foi adicionada a um tubo de ensaio contendo 60 µL do reagente de Folin-Ciocalteu. Após 1 minuto de agitação, foi adicionado 2.520 µL de água destilada e 180 µL de carbonato de sódio a 15%. Em seguida, a mistura foi novamente agitada e permaneceu por 2 horas em local com ausência de luz.

A absorbância foi medida em espectrofotômetro UV-VIS (Thermo Fisher Scientific, modelo Evolution 60S) a 760 nm, juntamente com o controle que continha somente água e os reagentes. A quantificação de fenólicos totais foram expressos como média  $\pm$  desvio-padrão em mg equivalente de ácido gálico (EAG) por 100 g de pó.

### 3.2.10. Atividade Antioxidante pelo método (DPPH)

Foi construído, inicialmente, a curva padrão de Trolox para, em seguida, determinar a presença de atividade antioxidante pela captura do radical livre DPPH nas amostras dos pós do noni. A curva padrão para quantificação da atividade antioxidante, por meio da absorbância pode ser observada na Figura 6.

**Figura 6:** Curva padrão de Trolox.



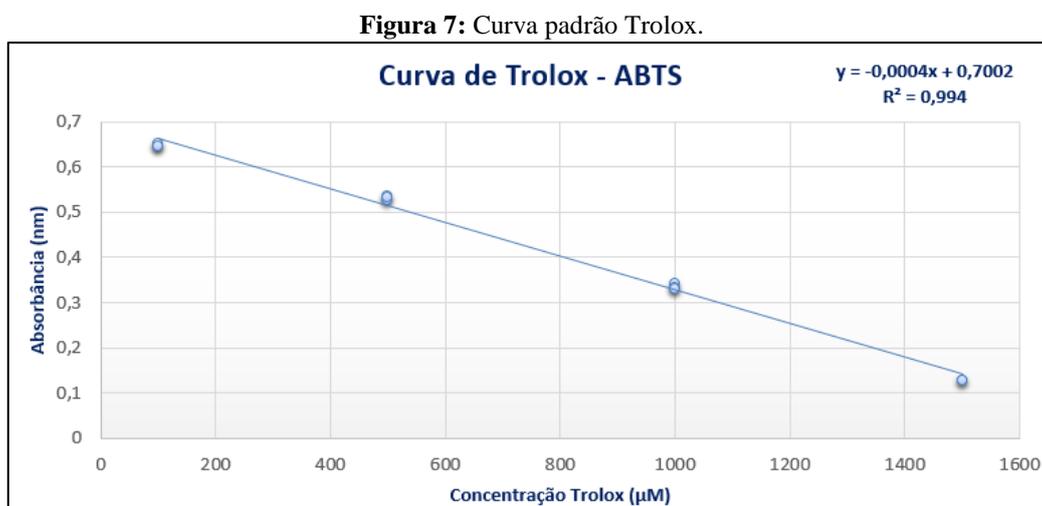
A curva de calibração para determinação da atividade antioxidante pela captura do radical livre DPPH, foi definida pela equação  $y = -0,0002x + 0,6644$  com um coeficiente de determinação ( $R^2$ ) 0,9938.

A atividade antioxidante total foi analisada através da capacidade dos antioxidantes presentes na amostra em sequestrar o radical estável DPPH•(2,2-difenil-1-picril-hidrazina) (BRAND-WILLIAMS, CUVELIER e BERSSET, 1995).

Alíquotas de 90 µL do extrato foram misturadas com 210 µL de etanol e 2.700 µL da solução de DPPH•, em triplicata. Uma curva padrão foi preparada utilizando Trolox em concentrações de 0,5 a 5 µg.mL<sup>-1</sup>. A análise foi realizada a um comprimento de onda de 517 nm, após deixar a solução reagir por 30 min, utilizando um espectrofotômetro UV-VIS (Thermo Fisher Scientific, modelo Evolution 60S). A quantificação da atividade antioxidante foi expressa como média ± desvio-padrão em mg Trolox.g<sup>-1</sup> extrato (capacidade antioxidante equivalente ao Trolox).

### 3.2.11. Atividade Antioxidante pelo método ABTS<sup>+</sup>

Utilizou-se nessa análise, uma variação das concentrações de 100 a 2000 ( $\mu\text{M}$ ) para construir a curva de calibração (Figura 7). A partir da reta obtida, realizou-se o cálculo da atividade antioxidante.



A curva de calibração para determinação da atividade antioxidante pela captura do radical ABTS<sup>+</sup>, foi definida pela equação  $y = -0,0004x + 0,7002$  com um coeficiente de determinação ( $R^2$ ) 0,994.

A atividade antioxidante foi determinada segundo Rufino *et al.* (2007) que consiste na eliminação dos radicais livres ABTS 2, 2'azinobis (ácido 3-etilbenzotiazolina-6-sulfônico) e realizada em triplicata.

Uma amostra de 30  $\mu\text{L}$  do extrato foi adicionada a 3,0 mL do radical ABTS<sup>+</sup>, em ambiente escuro. Após deixar reagir por 6 minutos, protegido da luz, sob agitação, a absorbância da solução ABTS foi medida a 734 nm com o espectrofotômetro Thermo Fisher Scientific, modelo Evolution 60S. A quantificação da atividade antioxidante, pelo método ABTS, foi expressa como média  $\pm$  desvio-padrão em  $\text{mg Trolox.g}^{-1}$  extrato (capacidade antioxidante equivalente ao Trolox).

### 3.3. SECAGEM DA POLPA DO NONI NO LEITO DE JORRO

#### 3.3.1. Seleção do Agente Carreador

O valor de sólidos solúveis totais obtido para a polpa do noni *in natura* é elevado, existindo a possibilidade de ocorrência do fenômeno de adesão da amostra no secador, o que pode causar baixo rendimento de pó e até problemas na operação do secador. Por isso a adição de um agente carreador.

Para determinar o melhor agente carreador para a secagem da polpa do noni, foram testados o amido de milho comercial (maizena) e a maltodextrina (SILVA JÚNIOR *et al.*, 2022; ARAUJO RODRIGUES *et al.* 2022; SOARES; PEREIRA, 2020; NASCIMENTO *et al.*, 2019; ALVES *et al.*, 2017; SOUSA *et al.*, 2016; SOUZA, 2009, MEDEIROS *et al.*, 2001).

Os ensaios foram realizados em estufa com circulação de ar SL – 102 da Solab, a 105 °C por 24 horas. As amostras foram colocadas em placa de Petri, onde 5 gramas da polpa do noni *in natura* foram adicionados ao agente carreador nas proporções de 0, 10, 20, 40, 60, 70, 80, 90 e 100%.

O critério de seleção do melhor agente carreador, como também da formulação ideal foram baseados na metodologia de Souza (2003), que trata dos aspectos visuais e teste de quebra do produto obtido após a secagem.

#### 3.3.2. Inertes

Para o processo de secagem da polpa do noni, foi utilizado como material inerte, 1,0 kg de partículas de polietileno de baixa densidade (PEBD) da marca Poliolefinas S.A (Figura 8). Desse material inerte, foram determinados o diâmetro médio, a densidade real, a densidade aparente e a porosidade do leito fixo.

**Figura 8:** Partículas inertes – PEBD.

#### Diâmetro médio

O cálculo do diâmetro médio foi feito a partir da medição das partículas em duas posições, empregando-se um paquímetro. O diâmetro médio foi calculado pela média das duas medidas. Foram usados um total de 25 partículas.

#### Densidade real ( $\rho_{real}$ )

Através do deslocamento de um líquido (óleo de soja), foi determinada a densidade real das partículas, a partir da relação entre a massa e o volume da amostra ocupado em uma proveta. O valor foi calculado pela Equação 5:

$$\rho_{real} = \frac{M_{amostra}}{V_f - V_i} \quad (5)$$

Na qual:

$\rho_{real}$  = densidade real;

$M_A$  = massa da amostra (g);

$V_f$  = volume final ocupado (óleo + amostra) (g);

$V_i$  = volume do óleo (cm<sup>3</sup>).

### Densidade aparente ( $\rho_{ap}$ )

Essa densidade foi determinada a partir da relação entre a medição da massa medida e o volume ocupado pela mesma em uma proveta.

$$\rho_{ap} = \frac{m_{amostra}}{V_{proveta}} \quad (6)$$

Na qual:

$\rho_{ap}$  = densidade aparente;

$m_{amostra}$  = massa da amostra (g);

$V_{proveta}$  = volume da proveta graduada (cm<sup>3</sup>).

### Porosidade do leito

Já a porosidade do leito estático ( $\varepsilon$ ) foi calculada pela Equação 7.

$$\varepsilon = 1 - \frac{\rho_{ap}}{\rho_{real}} \quad (7)$$

Na qual:

$\varepsilon$  = porosidade do leito;

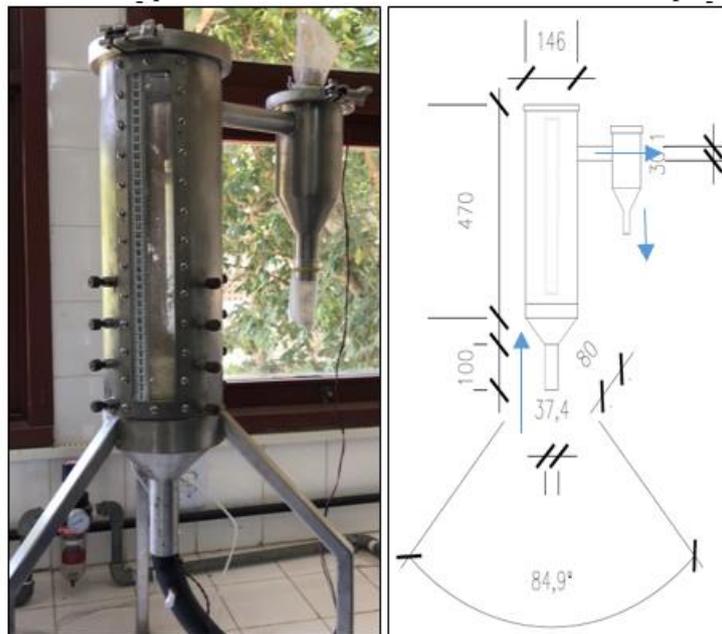
$\rho_{ap}$  = densidade aparente da amostra (g/mL);

$\rho_{real}$  = densidade real (g/mL).

## 3.4. UNIDADE PILOTO

Para a secagem da polpa de noni, foi utilizado um secador de leito de jorro (Figura 9). O equipamento é formado por uma coluna cilíndrica em aço inoxidável, com visor de acrílico, tendo uma altura de 470 mm e um diâmetro interno de 146 mm. A base é cônica, com um ângulo interno de 84,9° e a parede do cone tem comprimento de 80 mm. Na parte inferior do cone existe ainda mais uma coluna cilíndrica de 100 mm de comprimento e um diâmetro de 37,4 mm. Um duto cilíndrico na parte superior do leito de jorro, com um diâmetro de 30,1 mm que se conecta a um ciclone onde, ocorre a separação e coleta do pó.

**Figura 9:** Foto e esquema do secador Leito de Jorro utilizado nos experimentos.



Fonte: A autora (2023)

O aparato experimental do secador do leito de jorro é mostrado na Figura 10. O ar de secagem é fornecido ao sistema através de um compressor rotatório, modelo S100, marca EBERLE com potência de 4 HP que impulsiona o ar ao longo da tubulação em que estão acopladas as duas resistências tipo espiral, com potência total igual a 1750 Watts. Para controle da velocidade do ar que chega ao leito de jorro, existem duas válvulas: uma tipo globo de ½ pol., logo após a saída do soprador, e outra tipo gaveta de ½ pol. próxima à entrada do secador.

**Figura 10:** Fluxograma experimental do secador de leito de jorro.



- A. Chave do compressor,
- B. Ventilador radial,
- C. Medidor de vazão,
- D. Válvulas reguladoras,
- E. Aquecedor elétrico,
- F. Chave das resistências,
- G. Chave do sistema de controle,
- H. Secador de leito fixo,
- I. Secador de leito fluidizado,
- J. Secador de leito de jorro.

Fonte: PEREIRA (2020).

Para o controle da umidade e temperatura de entrada e saída do equipamento, existem sensores digitais DHT22 para aferição, permitindo leituras entre - 40 a +100 graus Celsius e umidade entre 0 a 100%, com uma precisão na leitura da umidade de  $\pm 2\%$  e na leitura da temperatura de  $\pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , uma resolução de 0.1, tempo de resposta 2s, dimensões 25x17,7 mm controlado pelo micro controlador Arduino ATmega328p. Já as medições de pressão na entrada e saída do leito foram realizadas com um manômetro digital da marca Cobra4 Mobile-link Phywe e a velocidade do ar foi monitorada na saída do ciclone com o auxílio de um anemômetro digital com sensor tipo hélice, da marca Lutron PROBE FOR 212-578 (AM-4201). A medição das alturas do anel e da fonte foram realizadas com o auxílio de uma fita métrica que ficava no visor de acrílico.

### 3.5. ENSAIOS FLUIDODINÂMICOS COM PARTÍCULAS INERTES E SEM SUSPENSÃO

Inicialmente, foi obtida a curva característica do leito de jorro apenas com as partículas inertes, seguindo a metodologia descrita por Medeiros (2001). O método consistiu em inicialmente carregar a coluna com 1,0 kg de polietileno de baixa densidade (PBD) e verificar a altura do inerte, pela fita métrica, que se encontra no visor de acrílico do leito de jorro. Em seguida, o sistema foi ligado e analisado nas temperaturas definidas no planejamento experimental (50, 60 e 70  $^{\circ}\text{C}$ ). Após a temperatura ser atingida, foi verificada a velocidade de ar máxima em que o leito de jorro poderia ser submetido sem que apresentasse instabilidade do sistema e sem escape de partículas de inerte através do ciclone de coleta de pó.

Após verificar a velocidade máxima e anotado os valores da queda de pressão (diferença entre a pressão de entrada e de saída), altura do jorro e altura do inerte, a velocidade do ar foi diminuída gradativamente e registrado os respectivos valores até a interrupção total do ar.

A medição da queda de pressão foi feita com o auxílio de um manômetro, por um orifício na entrada e no topo do leito de jorro. Em relação à altura da fonte e do anel, as medições se deram com o auxílio de uma fita métrica que se localizava no visor de acrílico.

A menor velocidade verificada, durante os ensaios, com formação da fonte foi registrada como a velocidade de jorro mínima.

### 3.6. PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL FATORIAL COMPLETO

Para os ensaios fluidodinâmicos da polpa do noni, foram realizados experimentos para verificar a influência da concentração do agente carreador e da temperatura de secagem. Essas foram as variáveis de entrada, também chamadas de variáveis independentes.

Os experimentos foram realizados a partir de um planejamento experimental fatorial completo  $2^2$ , com 3 repetições no ponto central, em um total de 7 experimentos, onde os valores não codificados foram definidos a partir de testes preliminares. Como variáveis dependentes, também chamadas de variáveis de saída: teor de umidade; atividade antioxidante e fenólicos totais.

O programa STATISTICA 7.0 foi utilizado para cálculos dos efeitos principais e de interações das variáveis independentes sobre as variáveis de resposta para determinação dos efeitos significativos ( $p < 0,05$ ).

A definição da faixa de temperatura de secagem (50 °C, 60 °C e 70 °C) foi baseada na literatura consultada, que sugere que essas temperaturas, consideradas baixas, foram mais eficientes na preservação das propriedades do noni (NASCIMENTO, 2018; MIRELES-ARRIAGA *et al.*, 2016; KRISHNAIAH *et al.*, 2015; POLA *et al.*, 2011; YANG *et al.*, 2007) quanto na secagem de diferentes polpas (BRAGA *et al.*, 2021; ALIZEHI *et al.*, 2020; DANTAS *et al.*, 2019; NASCIMENTO *et al.*, 2019; SANTOS *et al.*, 2018; OLIVEIRA JÚNIOR *et al.*, 2018; COSTA *et al.*, 2015; SANTOS *et al.*, 2015; MUSSI *et al.*, 2015; BRAGA; ROCHA, 2013).

Nas Tabelas 1 e 2 são mostradas as variáveis independentes (ou de entrada) e seus respectivos níveis e a matriz experimental para os experimentos de secagem, respectivamente.

**Tabela 1:** Valores codificados e não codificados das variáveis independentes.

Variáveis	Níveis		
	-1	0	+1
Concentração amido de milho (%)	15	20	25
Temperatura do ar de secagem (°C)	50	60	70

**Tabela 2:** Matriz experimental para os ensaios de secagem em leito de jorro

Experimento	Variáveis independentes	
	C (%)	T (°C)

1	15 (-1)	50,0 (-1)
2	25 (+1)	50,0 (-1)
3	15 (-1)	70,0 (+1)
4	25 (+1)	70,0 (+1)
5	20 (0)	60,0 (0)
6	20 (0)	60,0 (0)
7	20 (0)	60,0 (0)

C – Concentração do amido de milho (%); T – temperatura do ar de secagem (°C).

### 3.7. PREPARAÇÃO DA SUSPENSÃO PARA A SECAGEM EM LEITO DE JORRO

A partir de testes preliminares foi possível determinar a melhor suspensão para o processo de secagem da polpa do noni. A preparação da suspensão se deu inicialmente no preparo de um suco na proporção 1:1 de água destilada e polpa do noni. Em seguida, foi adicionado o agente carreador na concentração definida para planejamento experimental, onde foram misturados até que se verificasse uma suspensão homogênea.

### 3.8. ENSAIOS FLUIDODINÂMICOS COM ALIMENTAÇÃO DA SUSPENSÃO

Conforme a metodologia descrita por Medeiros (2001), o leito de jorro foi carregado com o inerte (1,0 kg), a temperatura do ar foi ajustada de acordo com o definido no planejamento experimental, e a velocidade do ar foi fixada em 8 m/s, definida nos ensaios fluidodinâmicos apenas com inertes.

Após ter alcançada a temperatura de trabalho e estabelecido o regime permanente, a alimentação do jorro com a suspensão foi iniciada. A alimentação se deu de forma manual com o auxílio de uma seringa e injetada no topo da coluna. O tempo de alimentação ficou definido da seguinte forma: inicialmente a cada 1 minuto foi adicionado 5 mL da suspensão durante 10 minutos, em seguida a cada 5 minutos até completar 60 minutos e a cada 10 minutos até os 220 minutos de secagem. A cada intervalo foram anotados os valores referentes a queda de pressão do sistema, a altura da fonte, a altura do jorro, a temperatura e a umidade do ar de saída. O procedimento foi realizado para todas as condições do planejamento experimental.

A medição da queda de pressão foi feita com o auxílio de um manômetro, por um orifício na entrada e no topo do leito de jorro. Em relação à altura da fonte e do anel, as medições se deram com o auxílio de uma fita métrica que se localizava no visor de acrílico.

Ao final do ensaio, o equipamento foi desligado, e realizado a pesagem do pó obtido no ciclone e acondicionado em embalagens de saco plástico de polietileno, hermeticamente fechadas e identificadas, em temperatura ambiente, para posterior análise.

### 3.9 PÓ DA POLPA DO NONI OBTIDO POR LIOFILIZAÇÃO

Para futuras comparações com o pó obtido pelo método de secagem no leito de jorro, foi realizada a caracterização do pó da polpa do noni obtido por liofilização.

A polpa de noni congelada, em freezer doméstico, e levada ao liofilizador (Liotop, modelo L101), para o processo de desidratação por 72 h, atingindo pressão final de 100 mmHg e temperatura do condensador de -50 °C.

### 3.10 ESTATÍSTICA

O programa STATISTICA versão 7.0, para Windows, foi utilizado para cálculos dos efeitos principais e de interações das variáveis independentes sobre as variáveis de resposta (teor de umidade, atividade antioxidante e fenólicos totais) para determinação dos efeitos significativos ( $p < 0,05$ ) e construção dos gráficos (superfícies de resposta).

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados serão apresentados e divididos em quatro tópicos de acordo com a sequência: Inicialmente, são apresentados os resultados referentes a caracterização físico-química da polpa do noni *in natura*. Em seguida, são apresentados os testes preliminares para determinação do agente carreador, inertes, como também o planejamento experimental fatorial completo. No terceiro tópico, os ensaios fluidodinâmicos com partículas inertes sem a suspensão e, por fim, os ensaios fluidodinâmicos com alimentação da suspensão. Finalmente, no quarto tópico são apresentados a caracterização físico-química do pó da polpa do noni, após o processo de secagem no leito de jorro e análise das variáveis dependentes.

### 4.1. CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DA POLPA DO NONI *IN NATURA*

A polpa do noni *in natura* foi caracterizada quanto à sua composição físico-química e os resultados das análises de atividade de água (aw), pH, teor de umidade, cinzas, sólidos solúveis totais (SST), acidez titulável total (ATT) e teor de ácido ascórbico estão apresentados nas Tabelas 3 e 4. Essas análises são de extrema importância para futuras comparações com o pó obtido após o processo de secagem.

Na Tabela 3, observa-se que o teor de umidade encontrado para a matéria-prima estudada foi de  $90,39 \pm 0,07$  (b.u), confirmando que a maior parte de sua composição é dada por água. Verificou-se, também, que o valor se encontra dentro da faixa dos valores reportados por outros autores, em torno de 89,16 – 91,91 (b.u). Foi verificado um alto valor na atividade de água (aw), de 0,983, valor esse próximo ao encontrado por Correia *et al.* (2011) de 0,93. A atividade de água é de grande importância, já que a partir dela é possível verificar a possibilidade do crescimento de bactérias, bolores e leveduras (GURGEL *et al.*, 2015). Seu valor tem variação entre 0 a 1 e produtos com teor de atividade de água (aw) inferior a 0,6 apresentam uma maior dificuldade ao crescimento microbiano. A partir de 0,65, inicia a proliferação de microrganismos específicos, sendo que até 0,75, somente algumas bactérias halófitas, leveduras e fungos xerofílicos podem se desenvolver (BEAUCHAT, 1983) e, portanto, mostrando a necessidade da produção do pó da polpa do noni para diminuição do teor de atividade de água.

**Tabela 3:** Caracterização da polpa do noni *in natura* (teor de umidade, atividade de água, pH e cinzas).

Referência	Parâmetros Analisados			
	Teor de umidade (g água/g amostra) (b.u)	Atividade de água (aw)	pH	Cinzas (%)
Presente trabalho	90,39 ± 0,07	0,983±0,001	4,53 ± 0,03	0,426 ± 0,06
FARIAS <i>et al.</i> (2020)	NE	NE	4,41 ± 0,05	NE
RAMPAZZO <i>et al.</i> (2018)	NE	NE	4,50	NE
PALIOTO <i>et al.</i> (2015)	89, 16 ± 0,04	NE	NE	0,75 ± 0,07
SECRETI; OSHIRO; OLIVEIRA (2015)	NE	NE	4,32	NE
BELTRÃO; SOUZA; SILVA (2014)	91,19	NE	4,52	0,62
FARIA <i>et al.</i> (2014)	90,66 ± 0,01	NE	3,54 ± 0,19	0,66 ± 0,04
NERY <i>et al.</i> (2013)	NE	NE	4,86	NE
SILVA <i>et al.</i> (2012)	NE	NE	4,66	NE
CORREIA <i>et al.</i> (2011)	91,91± 0,06	0,930 ± 0,004	4,25 ± 0,01	0,63 ± 0,03
WEST, DENG E JENSEN (2011)	NE	NE	NE	0,54 ± 0,19
CANUTO <i>et al.</i> (2010)	90,2 ± 0,1	NE	4,1 ± 0,2	NE

pH – Potencial hidrogeniônico.; NE – não especificado.

Em relação ao pH (Tabela 3) o valor de 4,53 mostra que a polpa do noni é ácida. Resultados semelhantes foram encontrados por Rampazzo et al. (2018) e Beltrão; Souza e Silva (2014), de 4,52 e 4,50, respectivamente. Comparado com outros autores, se encontra dentro de uma faixa do pH de 3,54 – 4,86.

Cinzas é o resíduo inorgânico que permanece no material após sua queima em altas temperaturas e que são transformados em CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O e NO<sub>2</sub>. Dentre os principais minerais presentes nas cinzas, tem-se: potássio; sódio; cálcio; magnésio; enxofre; fósforo (CECCHI, 2003). Assim, a cinza é o ponto de partida para a análise de minerais específicos (IAL, 2008; ARAÚJO *et al.*, 2006). Analisando a Tabela 3, foi encontrada uma fração de cinzas na polpa do noni menor que às dos demais autores, porém mais

próximo ao valor encontrado por West, Deng e Jensen (2011), de 0,54. A Tabela 4 apresenta a caracterização da polpa do noni.

**Tabela 4:** Caracterização da polpa do noni *in natura* (sólidos solúveis totais – SST, acidez total titulável – ATT e vitamina C – Vit. C).

Referência	Parâmetros Analisados		
	SST (°Brix)	ATT (g ácido cítrico/100g)	Ácido Ascórbico (mg/100g de polpa)
Presente trabalho	9,80 ± 0,60	0,43 ± 0,02	56,00 ± 2,00
FARIAS <i>et al.</i> (2020)	8,67 ± 0,10	0,57 ± 0,01	195,85 ± 3,49
RAMPAZZO <i>et al.</i> (2018)	7,10 ± 0,65	0,35 ± 0,65	NE
PALIOTO <i>et al.</i> (2015)	NE	NE	12,16 ± 0,51
SECRETI; OSHIRO; OLIVEIRA (2015)	9,29	0,46	115,48
BELTRÃO; SOUZA; SILVA (2014)	9,21	0,65	123,24
FARIA <i>et al.</i> (2014)	9,20 ± 0,00	0,44 ± 0,00	NE
NERY <i>et al.</i> (2013)	10,60	0,53	78,20
SILVA <i>et al.</i> (2012)	10,33	0,39	101,41
CORREIA <i>et al.</i> (2011)	9,20 ± 0,40	0,63 ± 0,01	122,54 ± 1,35
CANUTO <i>et al.</i> (2010)	9,0 ± 0,0	0,32 ± 0,00	51,20 ± 0,00

NE – Não especificado.

O teor de sólidos solúveis totais (SST) obtido foi de  $9,8 \pm 0,59$  °Brix, próximos aos valores obtidos pelos demais autores (Tabela 4). Essa variação depende do estágio de maturação do fruto e da forma de cultivo.

Na maioria dos frutos o acúmulo de SST, durante o processo de amadurecimento, é ocasionado pela degradação de amido (SILVA *et al.*, 2012). Porém, as frutas que apresentam altos teores de açúcares podem causar caramelização e aderência nas paredes do secador, tornando o processo inviável ou resultando na diminuição do rendimento do processo (MORAES; PINTO, 2015; FERRARI; RIBEIRO; AGUIRRE, 2012). Já as polpas de frutas que são ricas em amido apresentam uma boa estabilidade da operação e eficiência. Desta forma, definir a composição da suspensão antes de iniciar o processo de

secagem se torna primordial para a fluidodinâmica do leite (PEREIRA; GODOI; ROCHA, 2010).

Com relação à acidez total titulável, o valor encontrado foi de  $0,43 \pm 0,02$  g ácido cítrico/100g, que também se encontra próximo aos valores encontrados pelos demais autores (Tabela 4), onde tiveram uma variação entre 0,32 e 0,65 g ácido cítrico/100g. Segundo Secretti; Oshiro; Oliveira (2015), como o fruto do noni apresenta altos teores de sólidos solúveis totais, é esperado baixos índices de acidez total titulável.

A polpa do noni analisada apresentou um teor de ácido ascórbico de  $56,00 \pm 2,00$  mg/100 g de polpa, valor este próximo ao encontrado por Canuto *et al.* (2010) na polpa do noni proveniente da região Centro-Sul do Estado de Roraima. Entretanto esse valor foi maior que o obtido por Palioto *et al.* (2015) de 12,16 mg/100 g de polpa e menor que o encontrado pelos demais autores citados na Tabela 4. A diferença nos valores encontrados pode ser explicada pelo estágio de maturação em que cada autor analisou o fruto; essa explicação é confirmada por Beltrão, Souza e Silva (2014) que verificaram que o teor de ácido ascórbico aumentou com o avanço da maturação da polpa do noni.

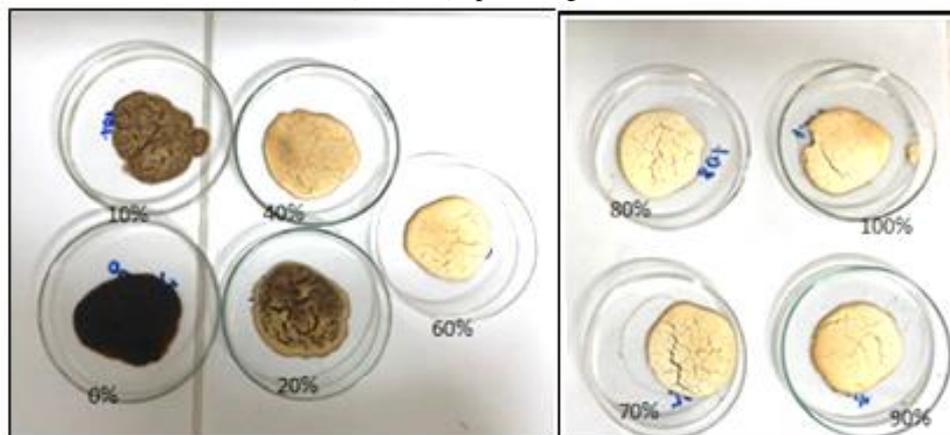
## 4.2. SECAGEM DA POLPA DO NONI NO LEITO DE JORRO

### 4.2.1. Seleção do Agente Carreador

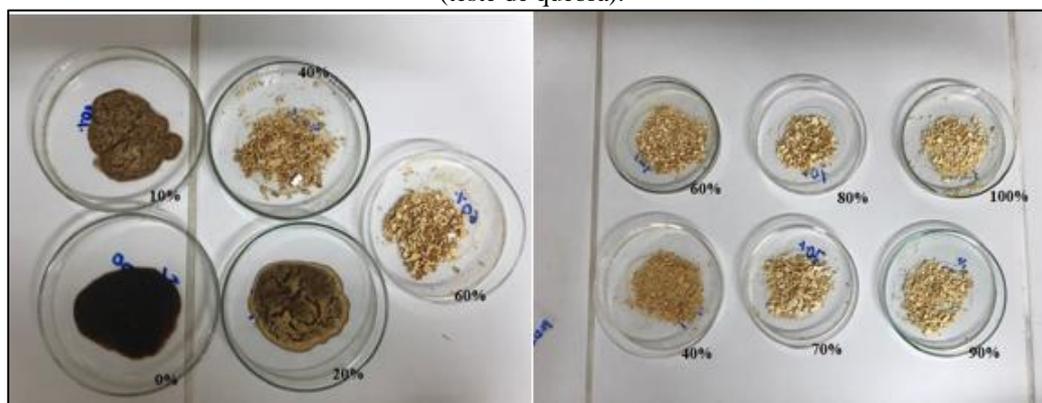
Nas Figuras 11 e 12 são apresentadas as amostras de polpa do noni com o amido de milho comercial (Maizena), nas proporções definidas anteriormente, após 24 horas de secagem na estufa, com circulação de ar, e após o teste de quebra, respectivamente.

A partir da Figura 11 observa-se que, no aspecto visual, a coloração foi gradativamente ficando mais clara, à medida que a concentração de amido de milho comercial foi aumentada. Pode-se destacar, ainda, que a partir de 60% não se verifica uma grande variação na sua coloração. Já em relação ao teste de quebra (Figura 12), foi verificado uma maior facilidade para retirar o pó à medida que a concentração foi aumentada, onde a partir de 40% a quebra pode ser considerada fácil e a partir de 60% já ocorria o desprendimento da amostra no simples fato de tocar na placa Petri.

**Figura 11:** Proporções de amostras (10 g) de polpa de noni com o percentual de adição de Amido de Milho Comercial (Maizena) após secagem em estufa.

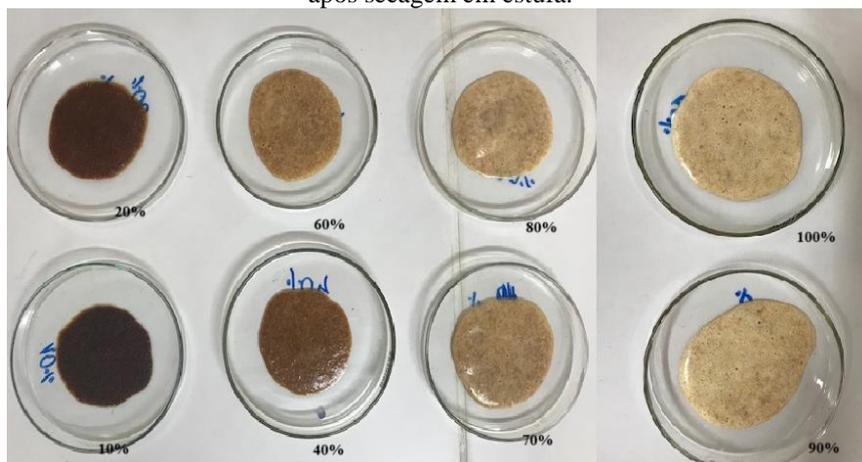


**Figura 12:** Amostras de polpa de noni com adição de amido de comercial (Maizena), após a raspagem (teste de quebra).

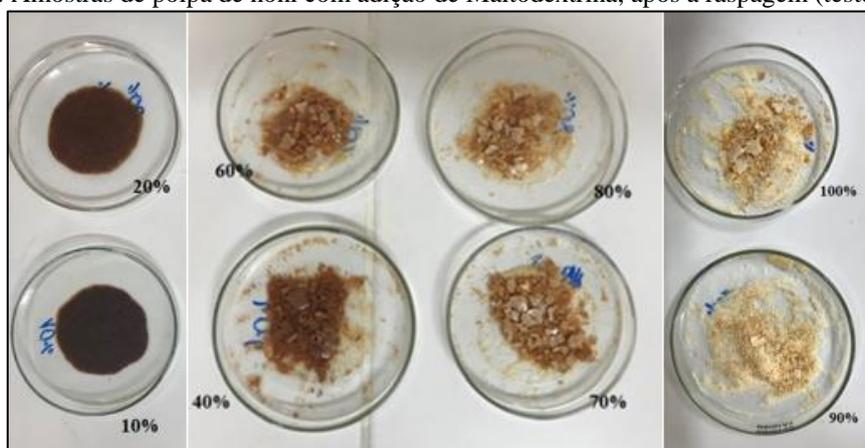


Nas Figuras 13 e 14 são apresentadas as amostras de polpa do noni com a maltodextrina nas proporções definidas anteriormente após 24 horas de secagem na estufa e o teste de quebra da polpa seca, respectivamente. Analisando a Figura 13, foi observado o mesmo comportamento, ou seja, a coloração das amostras de polpa de noni fica mais clara à medida que aumenta a concentração da maltodextrina, porém, ressalta-se que a coloração da suspensão seca para a maltodextrina se mostrou mais escura quando comparada com o amido de milho comercial (Figura 11). Em relação ao teste de quebra (Figura 14), nenhuma das concentrações testadas foi de fácil remoção, ao contrário, apresentaram bastante dificuldade e só foi possível a remoção da placa a partir de 40%.

**Figura 13:** Proporções de amostras (10 g) de polpa de noni com o percentual de adição de maltodextrina após secagem em estufa.



**Figura 14:** Amostras de polpa de noni com adição de Maltodextrina, após a raspagem (teste de quebra).



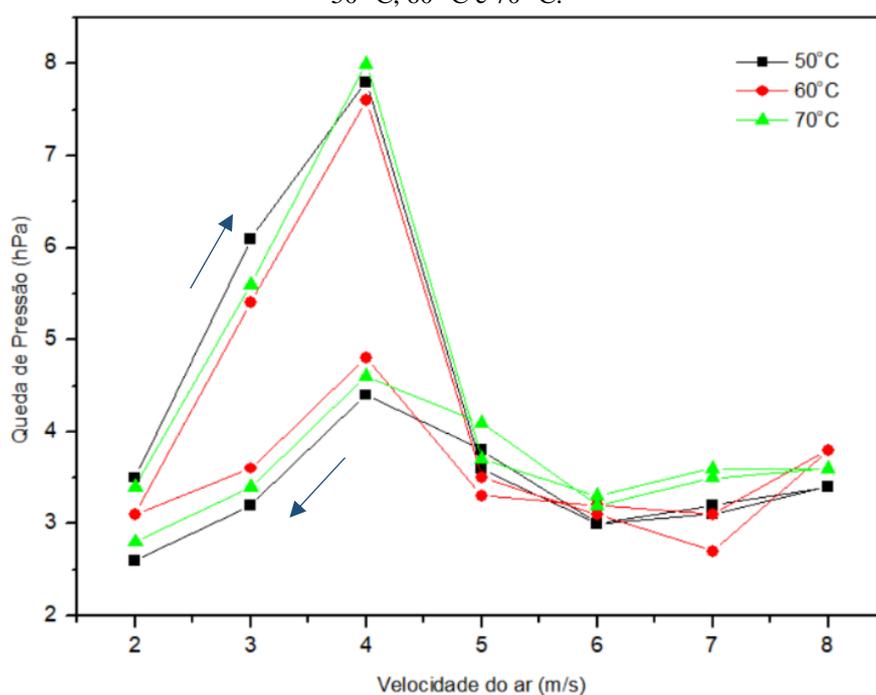
Após analisar os dois agentes carreadores, foi decidido utilizar o amido de milho comercial (Maizena) por apresentar uma maior facilidade de desprendimento e um aspecto visual (coloração) mais parecida com a coloração da polpa do noni. Em relação à concentração, foram realizados testes no leito de jorro a 40% para, em seguida, definir a faixa de concentração ideal.

#### 4.3. ENSAIOS FLUIDODINÂMICOS COM PARTÍCULAS INERTES E SEM SUSPENSÃO

Para a secagem da polpa do noni em leito de jorro convencional, a coluna do leito de jorro foi carregada com 1 kg de polietileno de baixa densidade (PEBD), que foi caracterizada anteriormente, e apresenta um diâmetro médio de  $0,3 \pm 0,02$  cm, densidade real  $0,85 \pm 0,01$  g/cm<sup>3</sup>, densidade aparente  $0,51 \pm 0,01$  g/cm<sup>3</sup> e uma porosidade de  $0,40 \pm$

0,01. A carga do material inerte (PEBD) em repouso apresenta uma altura de 3 cm no visor do equipamento. Na Figura 15 é mostrado o comportamento do leito de jorro composto apenas por inerte (queda de pressão ( $\Delta P$ ) em função da velocidade do ar crescente e decrescente) para determinar os parâmetros fluidodinâmicos (velocidade de jorro mínimo, queda de pressão máxima do leito e queda de pressão de jorro estável) e operacionais para a secagem da polpa, com a finalidade de obter um regime estável durante todo o processo. Além de verificar a possível influência da temperatura nos parâmetros fluidodinâmicos.

**Figura 15:** Comportamento da queda de pressão em função da velocidade do ar para as temperaturas de 50 °C, 60 °C e 70 °C.



Pela Figura 15 foi observado que as curvas fluidodinâmicas possuem perfis típicos, tanto para a curva crescente como para a curva decrescente no leito de jorro, como mostrado por Mathur e Gishler (1955).

Observando a curva de leito de jorro, quando da redução da velocidade do ar, as partículas apresentaram elevação a partir de 5 m/s e que, ao atingir uma velocidade superior a 8 m/s, foi observado um jorro intenso com elutriação dos inertes para o coletor do ciclone. Ou seja, o material inerte se encontra na região de arraste para velocidades superiores a 8 m/s.

Pelas curvas mostradas na Figura 15, também foi possível determinar os valores experimentais da queda de pressão máxima ( $\Delta P_M$ ), velocidade mínima do ar ( $V_m$ ) e a

queda de pressão de jorro estável ( $\Delta P_S$ ) nas três temperaturas analisadas, sendo esses valores mostrados na Tabela 5.

**Tabela 5:** Valores médios e desvios-padrão de  $\Delta P_M$ ,  $V_m$  e  $\Delta P_S$  para as três temperaturas na curva crescente.

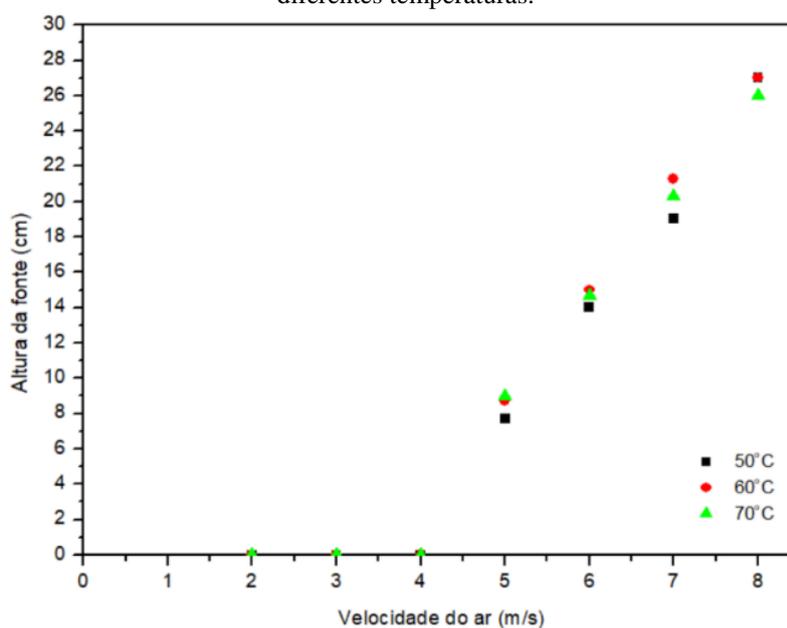
T (°C)	$\Delta P_M$ (hPa)	$V_m$ (m/s)	$\Delta P_S$ (hPa)
50	$7,400 \pm 0,327^a$	$5,0 \pm 0,0^b$	$3,633 \pm 0,016^c$
60	$7,367 \pm 0,403^a$	$5,0 \pm 0,0^b$	$3,533 \pm 0,042^c$
70	$7,900 \pm 0,216^a$	$5,0 \pm 0,0^b$	$3,867 \pm 0,029^c$

Médias seguidas de mesma letra na linha vertical não diferem estatisticamente entre si ( $p < 0,050$ ) pelo teste de Tukey. \* $\Delta P_M$  – queda de pressão máxima;  $V_m$  - velocidade mínima do ar;  $\Delta P_S$  - queda de pressão de jorro estável.

De acordo com os resultados da Tabela 5, observa-se que para as diferentes temperaturas de secagem, o leito de jorro apresentou o mesmo comportamento ao analisar os parâmetros de queda de pressão máxima ( $\Delta P_M$ ), velocidade mínima do ar ( $V_m$ ) e a queda de pressão de jorro estável ( $\Delta P_S$ ) quando o mesmo se encontrava apenas com o inerte de polietileno de baixa densidade. Este comportamento foi confirmado ao aplicar o teste de Tukey para uma significância de 5%, onde os valores não apresentaram diferença significativa para cada variável de operação analisada.

Na Figura 16 são mostradas as variações na altura da fonte no leito de jorro para as diferentes temperaturas em função da velocidade do ar.

**Figura 16:** Comportamento da altura da fonte no leito de jorro em função da velocidade do ar para as diferentes temperaturas.



Na Figura 16 foi observado que até a velocidade de 4 m/s o leito teve comportamento de leito fixo, ou seja, não foi verificada a presença de fonte. A partir de 5 m/s a altura do leito foi modificada com o aparecimento da fonte, cuja altura variou de 7,70 cm até 27 cm para a velocidade máxima.

Na Tabela 6 são mostrados os valores médios e os desvios padrão da altura da fonte (cm) para as três temperaturas de secagem (50, 60 e 70 °C) ao variar a velocidade do ar na entrada no leito de jorro.

**Tabela 6:** Valores médios e os desvios padrão da altura da fonte (cm) para as três temperaturas de secagem (50, 60 e 70°C).

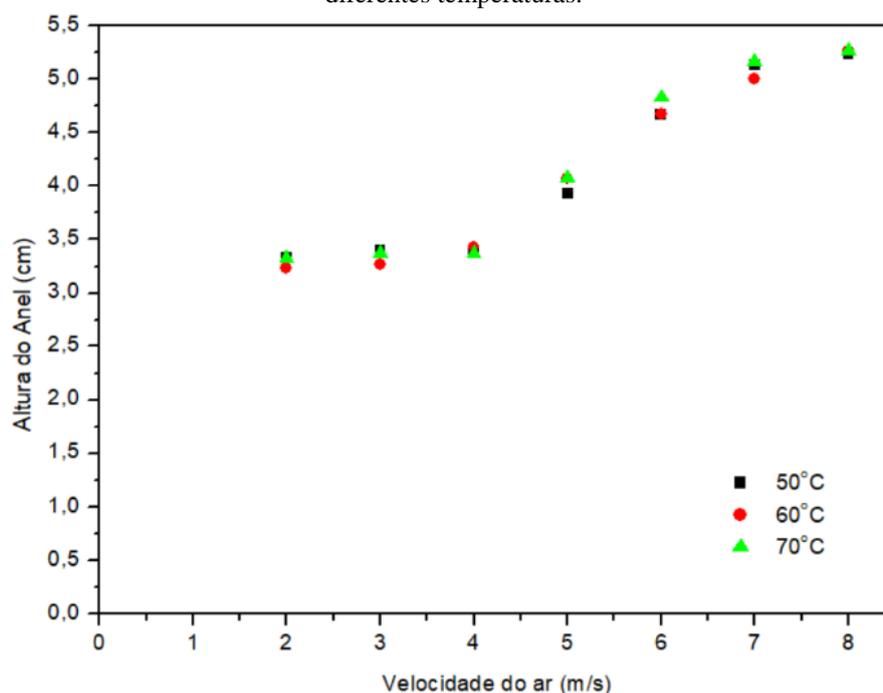
Altura da fonte (cm)					
T = 50°C		T = 60°C		T = 70°C	
Velocidade do ar (m/s)	Média ± desvio padrão	Velocidade do ar (m/s)	Média ± desvio padrão	Velocidade do ar (m/s)	Média ± desvio padrão
2	0,0 ± 0,0 <sup>a</sup>	2	0,0 ± 0,0 <sup>a</sup>	2	0,0 ± 0,0 <sup>a</sup>
3	0,0 ± 0,0 <sup>b</sup>	3	0,0 ± 0,0 <sup>b</sup>	3	0,0 ± 0,0 <sup>b</sup>
4	0,0 ± 0,0 <sup>c</sup>	4	0,0 ± 0,0 <sup>c</sup>	4	0,0 ± 0,0 <sup>c</sup>
5	7,7 ± 0,6 <sup>d</sup>	5	8,7 ± 1,2 <sup>d</sup>	5	9,0 ± 1,7 <sup>d</sup>
6	14,0 ± 3,1 <sup>e</sup>	6	15,0 ± 1,7 <sup>e</sup>	6	14,7 ± 1,5 <sup>e</sup>
7	19,0 ± 3,5 <sup>f</sup>	7	21,3 ± 2,5 <sup>f</sup>	7	20,3 ± 1,2 <sup>f</sup>
8	27,0 ± 2,7 <sup>g</sup>	8	27,0 ± 1,7 <sup>g</sup>	8	26,0 ± 1,7 <sup>g</sup>

Médias seguidas de mesma letra na linha horizontal não diferem estatisticamente entre si ( $p < 0,050$ ) pelo teste de Tukey.

Pela Tabela 6, observa-se que não houve variação significativa para as diferentes temperaturas quando comparados na mesma velocidade do ar (m/s), para uma significância de 5%. Ainda, em relação à altura da fonte, sabe-se que sua análise é de fundamental importância para a avaliação da sua fluidodinâmica e que fontes oscilatórias nos eixos axial, radial e angular podem promover a instabilidade no processo (ALMEIDA, 2009). Portanto, definir bem a faixa de operação estável da fonte do jorro apenas com inertes se torna importante para que se tenha uma altura ideal para o processo de secagem da suspensão. Como explicado por Patel *et al.* (1986) e Schneider e Brigwater (1993), ocorre o aumento das forças interpartículas no leito, causado pela presença da suspensão, e trabalhar com baixa altura de fonte torna o processo instável, podendo gerar até o seu colapso.

Na Figura 17 são mostradas as variações na altura do anel no leito de jorro para as diferentes temperaturas em função da velocidade do ar.

**Figura 17:** Comportamento da altura do anel no leito de jorro em função da velocidade do ar para as diferentes temperaturas.



Pela Figura 17, foi observada que a altura do anel não apresentou variação expressiva até a velocidade de 4 m/s, ficando em torno de 3,4 cm, onde não existia a presença do jorro. Porém, quando a fonte (na velocidade de 5 m/s) foi iniciada, ocorreu variação na altura do anel para aproximadamente 4,0 cm e, à medida que a velocidade do ar era aumentada, a altura do anel também aumentou. Para a velocidade de 8 m/s, a altura do anel chegou a 5,3 cm, nas três temperaturas. A Tabela 7 a seguir, mostra os valores obtidos para melhor visualização dos dados.

**Tabela 7:** Variações na altura do anel no leito de jorro para as diferentes temperaturas em função da velocidade do ar (m/s).

Altura do anel (cm)					
T = 50°C		T = 60°C		T = 70°C	
Velocidade do ar (m/s)	Média ± desvio padrão	Velocidade do ar (m/s)	Média ± desvio padrão	Velocidade do ar (m/s)	Média ± desvio padrão
2	3,33 ± 0,5774 <sup>a</sup>	2	3,23 ± 0,4041 <sup>a</sup>	2	3,33 ± 0,5774 <sup>a</sup>
3	3,40 ± 0,5292 <sup>b</sup>	3	3,27 ± 0,3786 <sup>b</sup>	3	3,37 ± 0,5508 <sup>b</sup>
4	3,40 ± 0,5292 <sup>c</sup>	4	3,43 ± 0,4933 <sup>c</sup>	4	3,37 ± 0,5508 <sup>c</sup>
5	3,93 ± 0,4041 <sup>d</sup>	5	4,07 ± 0,5132 <sup>d</sup>	5	4,07 ± 0,5132 <sup>d</sup>
6	4,67 ± 0,2887 <sup>e</sup>	6	4,67 ± 0,2887 <sup>e</sup>	6	4,83 ± 0,5774 <sup>e</sup>
7	5,13 ± 0,2309 <sup>f</sup>	7	5,00 ± 0,0000 <sup>f</sup>	7	5,17 ± 0,2887 <sup>f</sup>
8	5,23 ± 0,2517 <sup>g</sup>	8	5,27 ± 0,2517 <sup>g</sup>	8	5,27 ± 0,2517 <sup>g</sup>

Médias seguidas de mesma letra na linha horizontal não diferem estatisticamente entre si ( $p < 0,050$ ) pelo teste de Tukey.

Pela Tabela 7, observa-se que não houve variação significativa para as diferentes temperaturas quando comparados na mesma velocidade do ar (m/s), para uma significância de 5% quando analisado a altura do anel.

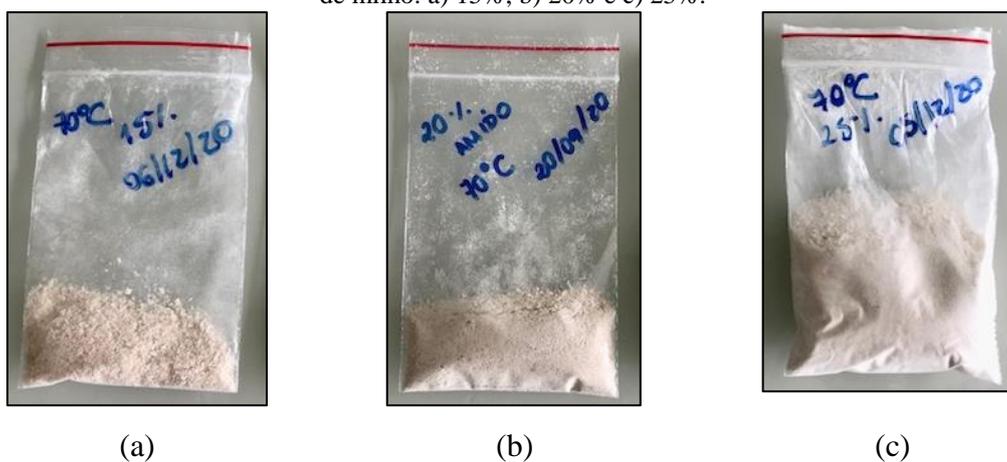
#### 4.4 PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL FATORIAL COMPLETO

Após a escolha do melhor agente carreador para a secagem da polpa do noni e definido um valor preliminar de 40% de concentração de amido de milho, foram realizados testes no leito de jorro para verificar se seria possível produzir o pó da polpa do noni nessa concentração e a possibilidade de diminuição da concentração para que fosse utilizado o mínimo de agente carreador na polpa do noni.

Inicialmente, a suspensão polpa *in natura* + amido de milho foi preparada, porém, não foi possível realizar a secagem no leito de jorro, uma vez que essa suspensão era relativamente espessa e assim a sua adição de forma controlada favoreceu o colapso do jorro. Então, foi testado diluir a polpa do noni *in natura* na proporção 1:1 de polpa e água destilada; assim foi feita uma nova suspensão com polpa *in natura* diluída + amido de milho. Essa nova suspensão foi adicionada ao leito de forma controlada e foi observado que não ocorreu o colapso do mesmo.

Logo, após a definição da diluição da polpa do noni, foram testadas outras concentrações de amido de milho para a produção do pó, como mostrado na Figura 18.

**Figura 18:** Pó da polpa do noni produzido na temperatura de 70 °C em diferentes concentrações de amido de milho: a) 15%; b) 20% e c) 25%.



#### 4.5 ENSAIOS FLUIDODINÂMICOS COM ALIMENTAÇÃO DA SUSPENSÃO

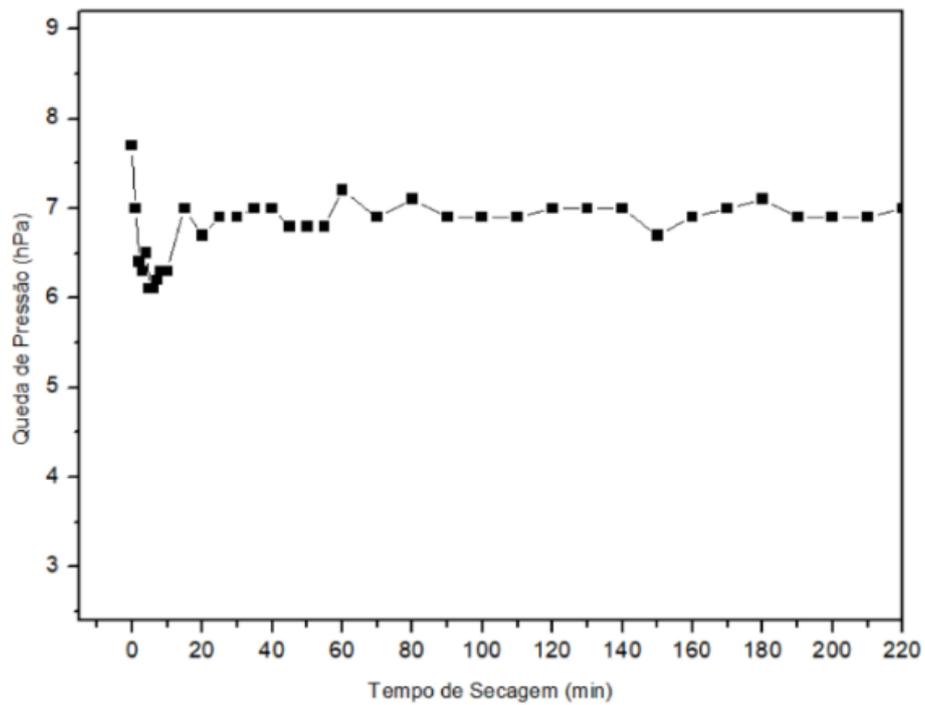
A presença de uma pasta ou suspensão pode alterar os parâmetros fluidodinâmicos, visto que a formação de forças coesivas entre as partículas pode gerar modificação nos padrões de circulação de sólidos e fluidos. Assim, para uma secagem eficaz, a circulação de sólidos e a estabilidade dinâmica devem ser preservadas no leito, com a suspensão, para que se mantenha um bom contato ar-sólido para garantir que as forças dinâmicas superem as forças de adesão (PERAZZINI *et al.*, 2017).

Como verificado nos ensaios fluidodinâmicos apenas com inertes, a determinação da velocidade de ar ideal teria que ser na faixa entre 5 e 8 m/s, já que acima de 8 m/s foi verificado a elutriação das partículas para o coletor, e para velocidades abaixo de 5 m/s, não foi verificado a presença da fonte. Dessa forma, a partir de testes, ficou definido uma velocidade fixa de 8 m/s para que fosse possível realizar a secagem da suspensão para todo o planejamento experimental.

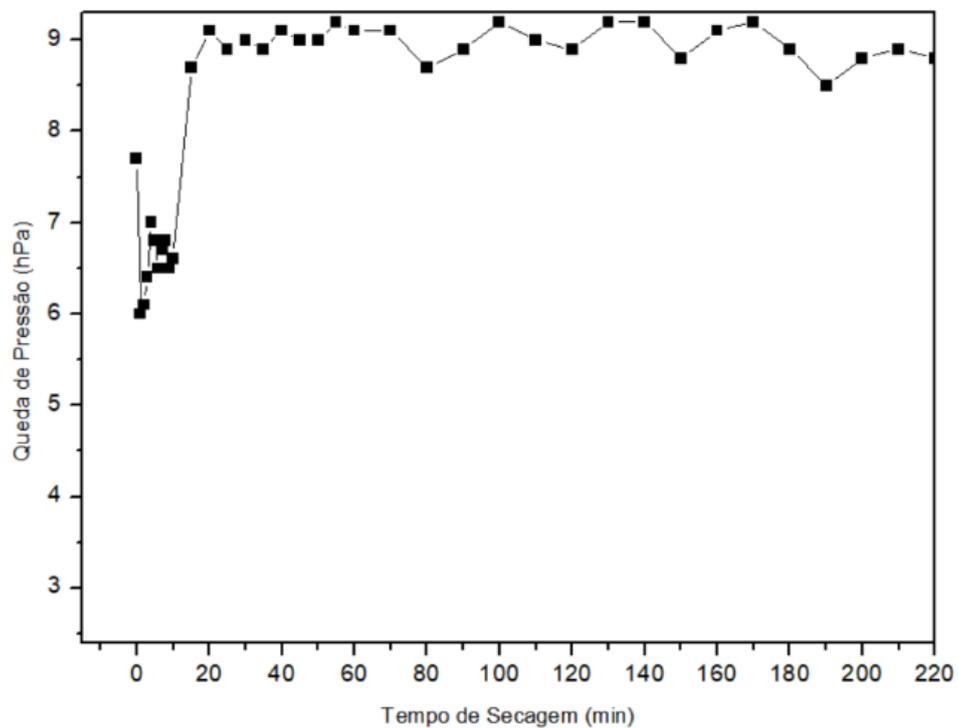
Freire *et al.* (2012) relatam que a quantidade de suspensão no leito deve ser colocada de forma cuidadosa e controlada para evitar o seu colapso que é causado pela instabilidade dinâmica do fluido, pelo crescimento de partículas ou aglomeração. Assim, a taxa de alimentação da suspensão geralmente é mantida em valores baixos ou moderados. Seguindo a recomendação de Freire *et al.* (2012), a alimentação da suspensão no leito de jorro foi realizada em intervalos de tempo, que foram determinados em testes preliminares e as variáveis analisadas, nos intervalos, para observar o seu comportamento fluidodinâmico.

Nas Figuras 19 a 23 são mostradas as variações da queda de pressão ( $\Delta P$ ) em função do tempo de secagem para todo o planejamento fatorial experimental completo.

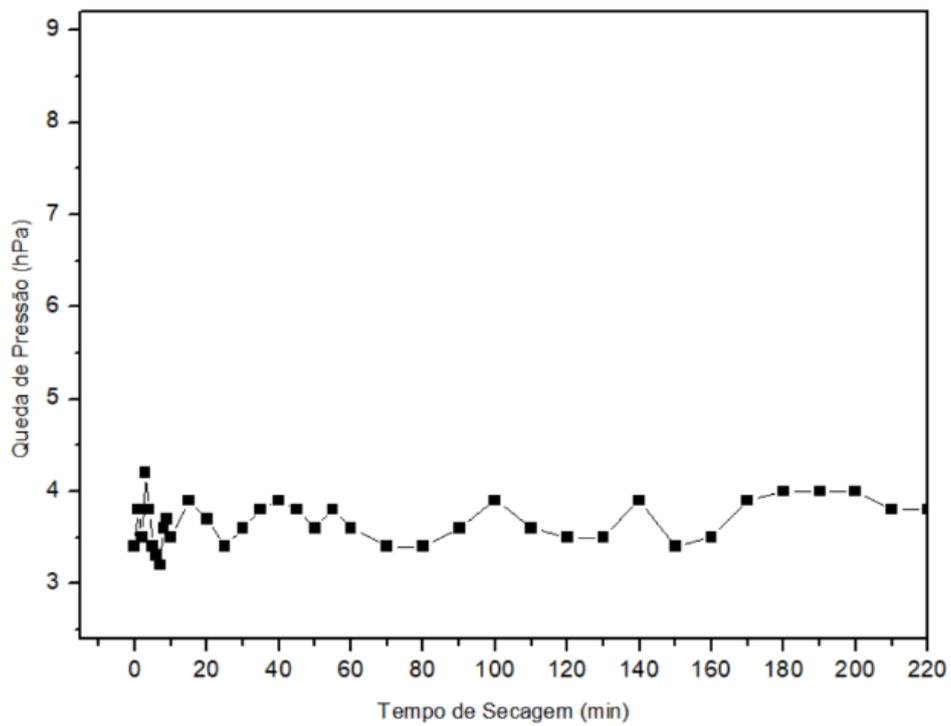
**Figura 19:** Variações na queda de pressão em função do tempo de secagem para a temperatura de 50 °C e 15% de amido de milho (Experimento 1).



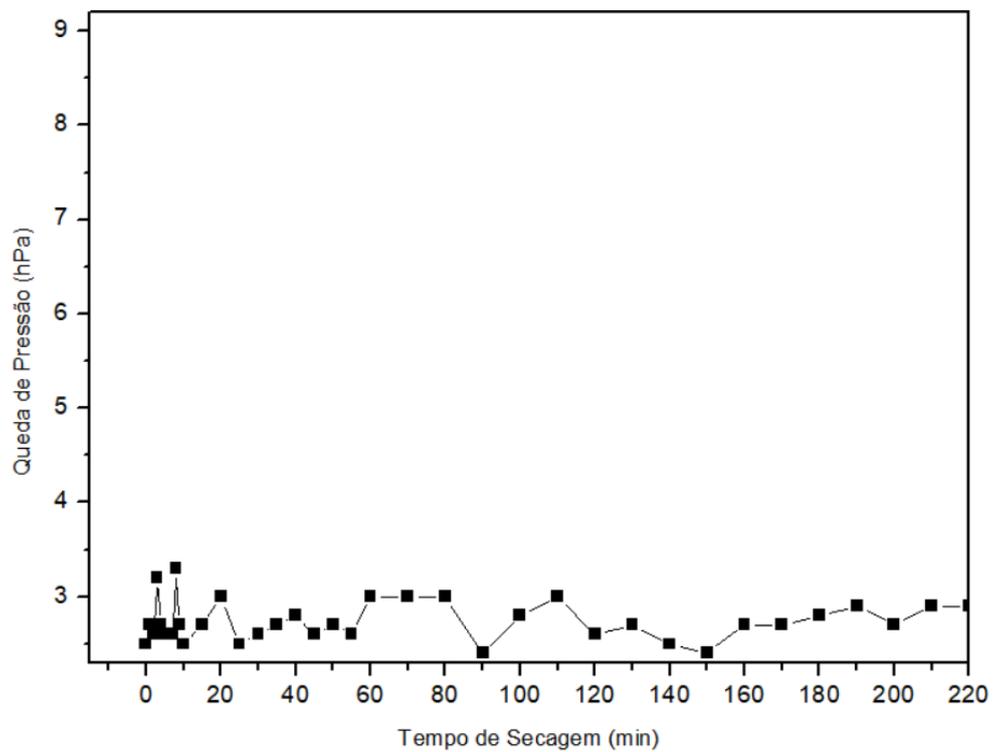
**Figura 20:** Variações na queda de pressão em função do tempo de secagem para a temperatura de 50 °C e 25% de amido de milho (Experimento 2).



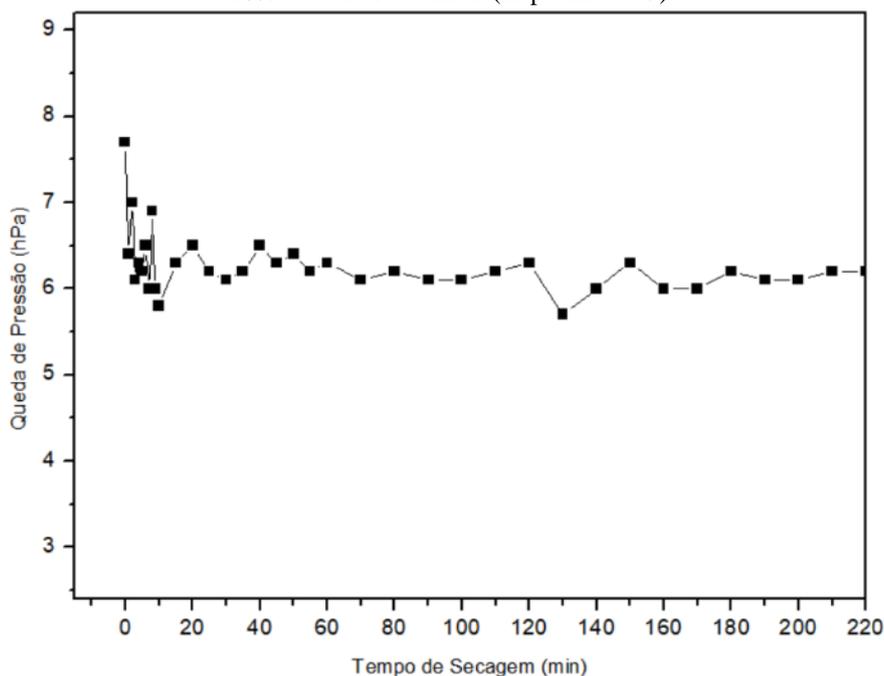
**Figura 21:** Variações na queda de pressão em função do tempo de secagem para a temperatura de 70 °C e 15% de amido de milho (Experimento 3).



**Figura 22:** Variações na queda de pressão em função do tempo de secagem para a temperatura de 70 °C e 25% de amido de milho (Experimento 4).



**Figura 23:** Variações na queda de pressão em função do tempo de secagem para a temperatura de 60 °C e 20% de amido de milho (Experimento 5).



Pela Figura 19, foi observado que, a partir da adição da suspensão no leito de jorro, ocorreu uma diminuição na queda de pressão ( $\Delta P$ ), que pode ser verificada a partir do primeiro minuto de secagem, demonstrando instabilidade durante os primeiros 15 minutos de operação. Já a partir dos 20 minutos, observou-se uma estabilidade do processo e a queda de pressão se manteve mais constante até o final da secagem, ficando em torno de 6,7 – 7,2 hPa. O mesmo comportamento foi verificado na Figura 23, porém com uma queda de pressão menor após a estabilização, entre 5,8 – 6,5 hPa.

Rocha *et al.* (2011) verificaram também mudanças na dinâmica dos fluidos minutos após a injeção da polpa no leito de inerte. Para quase todos os experimentos realizados, o regime de fluxo do leito de jorro se estabilizou com 10 minutos após a injeção, ou seja, nesse período a maior parte da umidade da polpa evaporou. Dantas *et al.* (2019) também encontraram uma diminuição na queda de pressão ao secar a polpa de acerola com concentrado de whey-protein. A mesma comprovação foi mostrada por Bortolotti *et al.* (2013), em que injeção da suspensão gerou uma diminuição na queda de pressão, como resposta.

Para Spitzner Neto e Freire (1997) a diminuição no  $\Delta P$  é explicada pela aglomeração, que em conjunto com a viscosidade da polpa, pode comprometer a circulação de partículas no leito, ocorrendo o aumento na vazão de ar na região de entrada. Para a taxa de fluxo de ar, ocorre o seu aumento por conta de uma maior resistência na

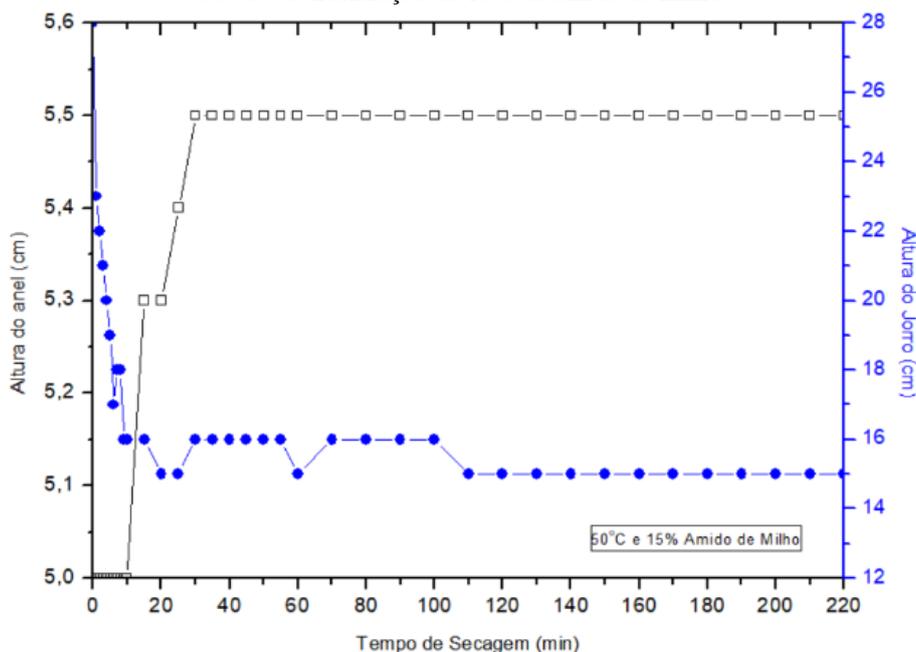
região anular e como consequência uma diminuição da queda de pressão no leito. Assim, quanto maior a instabilidade dinâmica do fluido provocada pela polpa, maior é a redução na  $\Delta P$ .

Já para a Figura 20, verificou-se também uma diminuição acentuada na queda de pressão nos primeiros 15 minutos e uma estabilização após 20 minutos do processo, porém, um comportamento inverso aos citados anteriormente foi encontrado. Houve um aumento na queda de pressão, após estabilização. O mesmo foi encontrado por Brito *et al.* (2017) e Nascimento *et al.* (2015) e, como explicação dada pelos autores, esse efeito ocorreu devido a maior resistência ao fluxo causada pelo aumento da suspensão, resultando em uma maior queda de pressão e maior velocidade mínima.

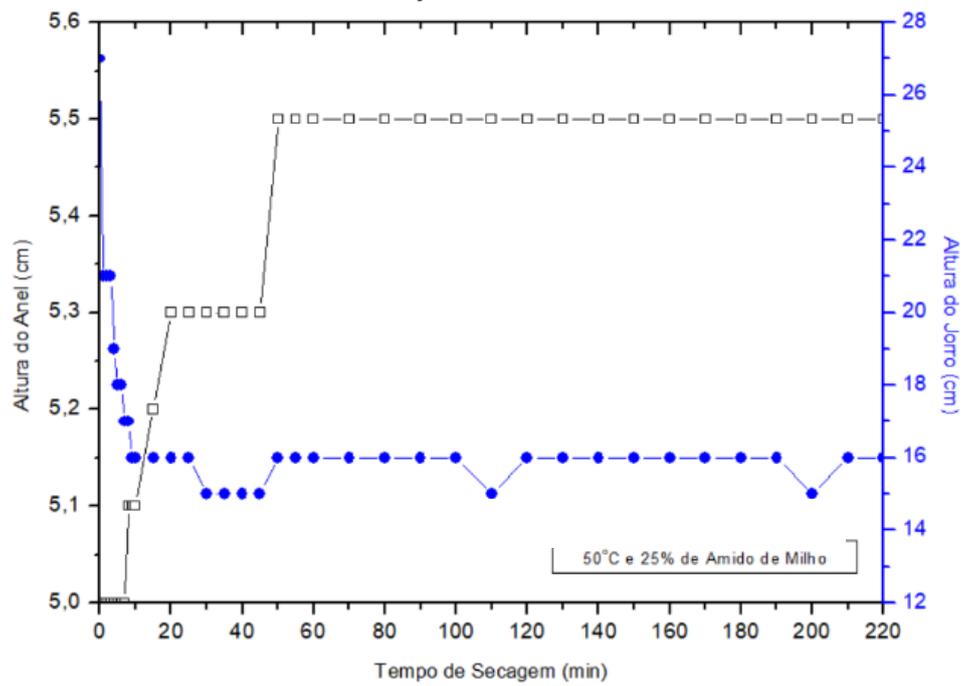
Nas Figuras 21 e 22, observou-se pouca variação na queda de pressão durante todo o processo de secagem. Provavelmente, por conta da elevada temperatura, 70 °C, ocorreu uma maior estabilidade do processo decorrente de uma maior taxa de transferência de calor entre a suspensão e a partícula inerte, mesmo ocorrendo a variação na concentração do amido de milho.

Nas Figuras 24 a 28 são mostradas as curvas referentes às variações na altura do jorro e na altura do anel durante os experimentos de secagem.

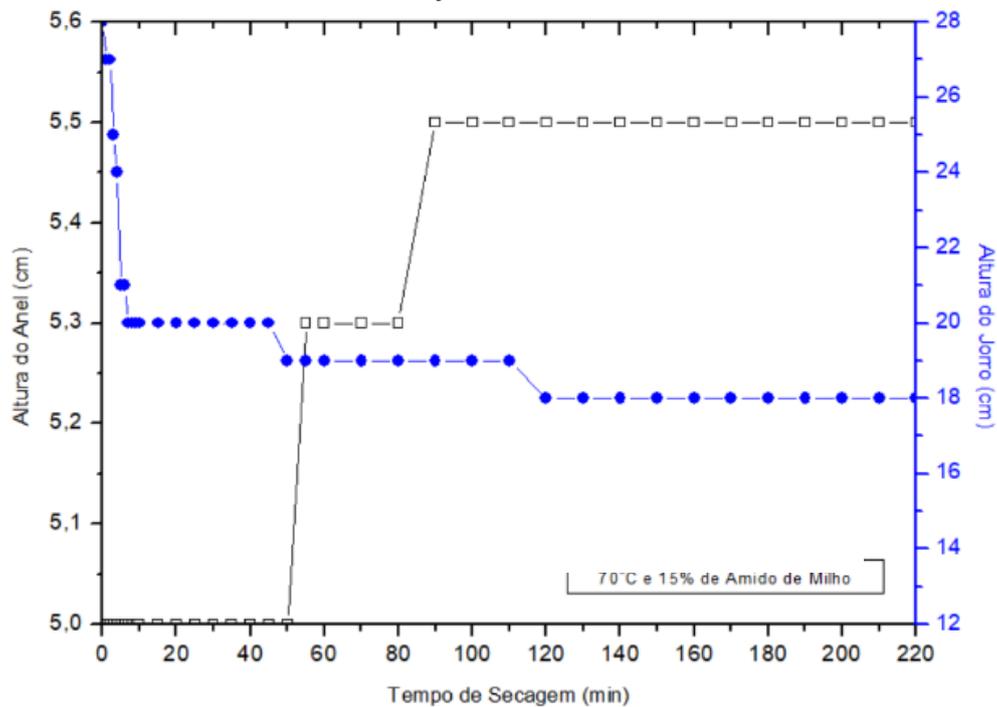
**Figura 24:** Variações na altura do jorro e do anel em função do tempo de secagem para a temperatura de 50 °C e concentração de 15% de amido de milho.



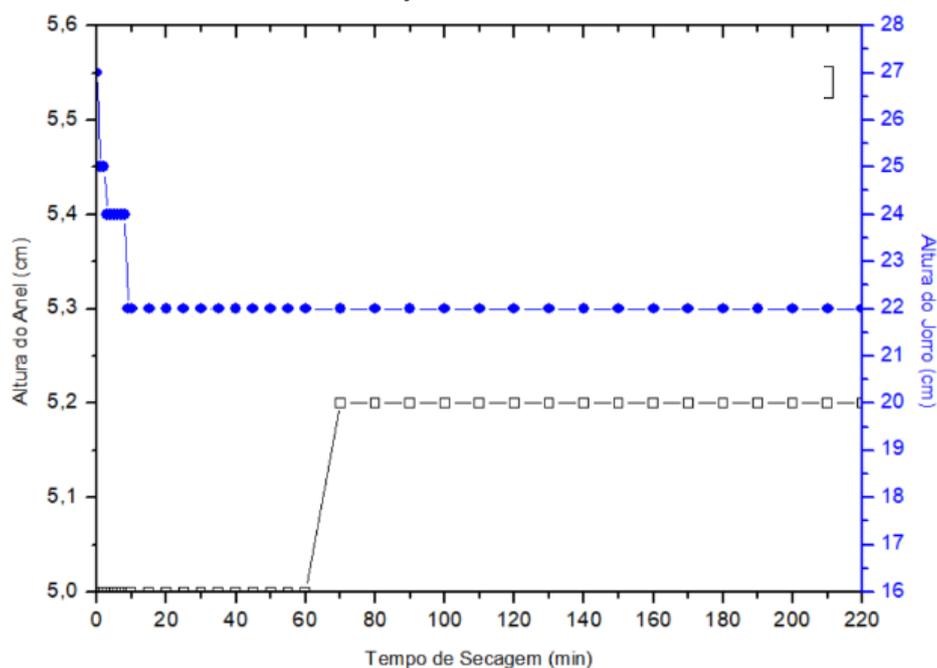
**Figura 25:** Variações na altura do jorro e do anel em função do tempo de secagem para a temperatura de 50 °C e concentração de 25% de amido de milho.



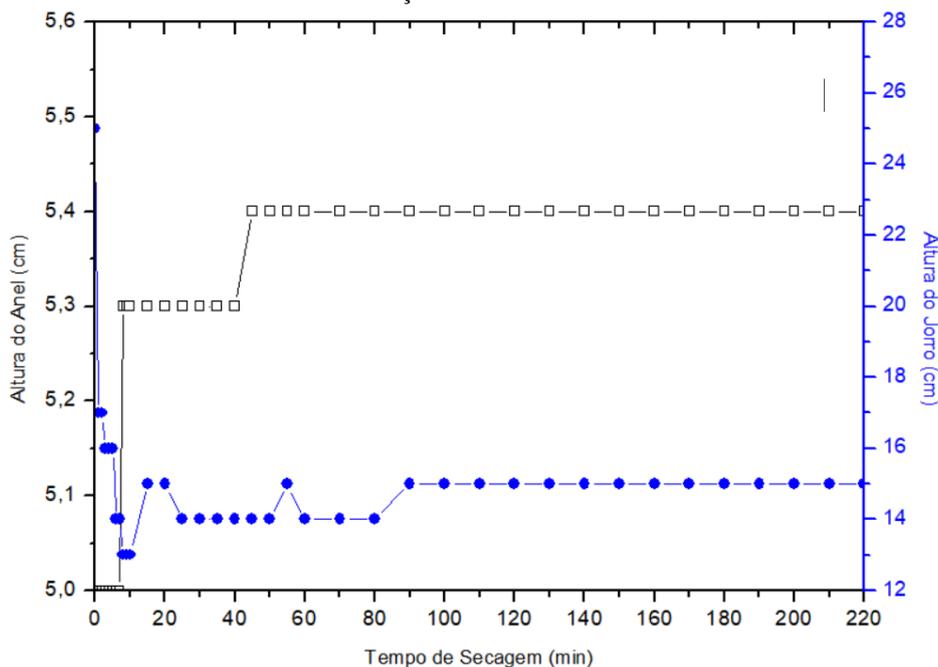
**Figura 26:** Variações na altura do jorro e do anel em função do tempo de secagem para a temperatura de 70 °C e concentração de 15% de amido de milho.



**Figura 27:** Variações na altura do jorro e do anel em função do tempo de secagem para a temperatura de 70 °C e concentração de 25% de amido de milho.



**Figura 28:** Variações na altura do jorro e do anel em função do tempo de secagem para a temperatura de 60 °C e concentração de 20% de amido de milho.



Como pode ser visto, em todas as Figuras, ocorreu a diminuição na altura do jorro para ambas as concentrações de amido de milho. Na Figura 24, foi observado que a estabilização da altura do jorro ocorreu após 110 minutos do processo e, na Figura 25, após 50 minutos de processo, com alturas de 15 e 16 cm, respectivamente. Na Figura 26 foi observado que a estabilização da altura do jorro (18 cm) ocorreu aos 120 minutos de

processo e, na Figura 27 a estabilização da altura do jorro (22 cm) ocorreu com apenas 10 minutos de alimentação, provavelmente pelas condições do processo, em que uma maior temperatura tenha gerado altas taxas de transferência de calor, como também um melhor contato entre a suspensão e as partículas inertes, devido a uma alta concentração de agente carreador. E para a Figura 28 a estabilização da altura do jorro (15 cm) ocorreu a partir dos 90 minutos de alimentação da suspensão.

Já para a altura do anel, foram observadas pequenas variações, sendo a menor variação encontrada para as condições de 70 °C e 25% de amido de milho, com uma altura do anel de 5,2 cm.

Durante o processo de secagem também foi observado que, para a concentração de 15% de amido de milho e temperatura de 50 °C, a quantidade de pó produzido foi pequena, provavelmente pela baixa concentração de agente carreador em conjunto com uma baixa temperatura, mas que foi possível obter um jorro estável (Figura 24).

Para Patel *et al.* (1986) e Schneider e Bridgwater (1993) é possível manter um jorro estável em baixas alturas da fonte e, como explicação, tem-se que esse comportamento é causado por elevadas forças interpartículas no leito em presença da suspensão.

Assim como verificado por Pereira (2020), ao trabalhar com polpa do juá, à medida que ocorreu o aumento na altura do anel, foi observado uma diminuição na altura da fonte. Já Rocha *et al.* (2011), ao trabalhar com diferentes polpas, observaram um comportamento oposto, em que com a expansão do anel foi verificado um aumento da altura da fonte. Braga (2014) ao empregar a pasta leite-polpa de amora [50% : 50% (V/V)], constatou uma gradual diminuição da velocidade de circulação dos inertes e uma diminuição da altura da fonte e como explicação a alta viscosidade aparente dificultou a secagem da pasta.

Outra possível explicação dada por Silva (2006) para a diminuição da altura do jorro, é pelo processo de recobrimento das partículas, à medida que o processo segue, as partículas são recobertas e tendem a ficar mais pesadas, e como consequência, a diminuição da altura da fonte e uma menor exposição de partículas expostas ao processo.

Na Tabela 8 são mostrados os valores obtidos referentes às alturas do anel e do jorro para as condições operacionais do planejamento experimental fatorial completo para o tempo final de secagem de 220 minutos.

**Tabela 8:** Resultado das variáveis dependentes na secagem no leito de jorro da polpa do noni para o tempo final de secagem de 220 minutos em triplicata.

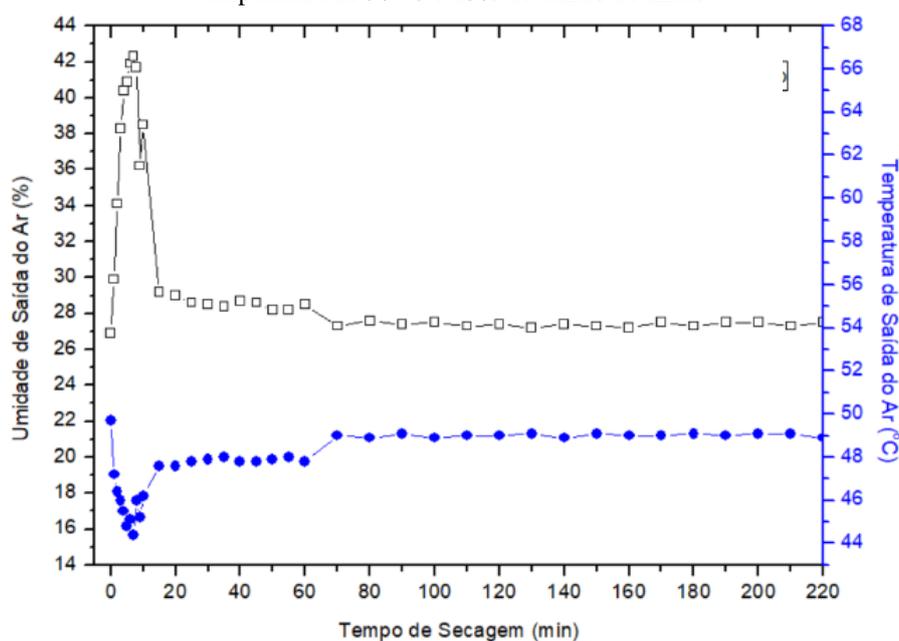
Experimento	Variáveis Independentes		Variáveis Dependentes	
	C (%)	T (°C)	Altura do Anel (cm)	Altura do Jorro (cm)
1	15	50,0	5,5 <sup>a</sup> ± 0,00	15,0 <sup>a</sup> ± 0,00
2	25	50,0	5,5 <sup>a</sup> ± 0,06	15,7 <sup>a</sup> ± 0,58
3	15	70,0	5,5 <sup>a</sup> ± 0,00	18,0 <sup>b</sup> ± 0,00
4	25	70,0	5,3 <sup>a</sup> ± 0,17	21,7 <sup>c</sup> ± 0,58
5	20	60,0	5,47 <sup>a</sup> ± 0,06	15,33 <sup>a</sup> ± 0,58

Médias seguidas de mesma letra na linha horizontal não diferem estatisticamente entre si ( $p < 0,05$ ) pelo teste de Tukey. C – Concentração do amido de milho; T – temperatura de secagem.

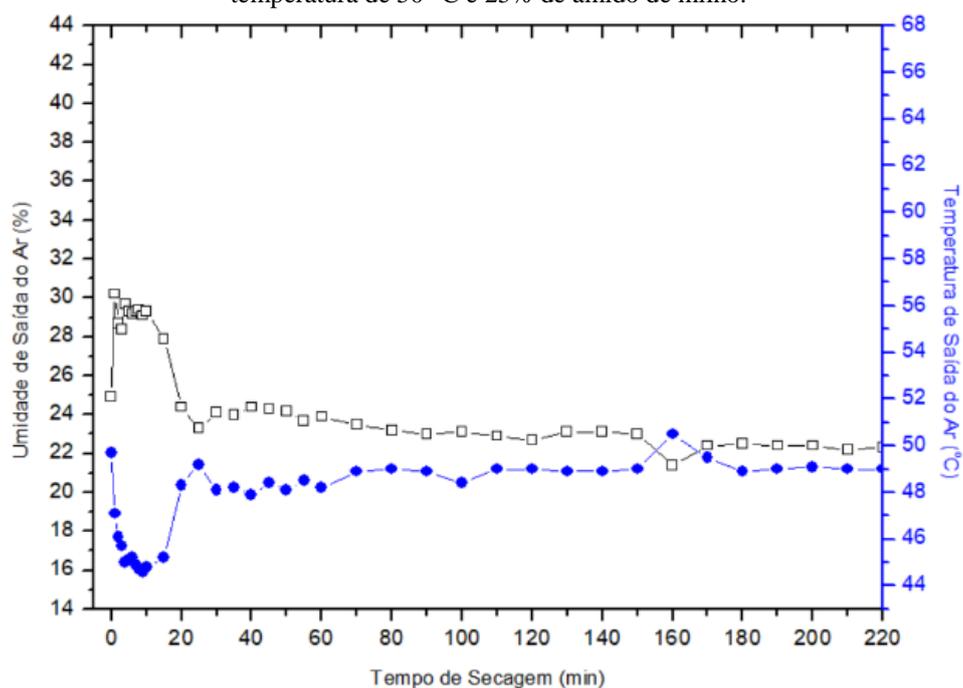
Pela Tabela 8, observa-se que não houve variação significativa para a altura do anel na produção do pó para as diferentes condições de secagem. Já para a altura do jorro, observa-se uma variação significativa ( $p < 0,05$ ) ao trabalhar com uma temperatura mais alta.

A influência da suspensão sobre a umidade de saída do ar (%) e temperatura de saída do ar (°C) no leito de jorro durante o processo de secagem é mostrada nas Figuras 29 a 33.

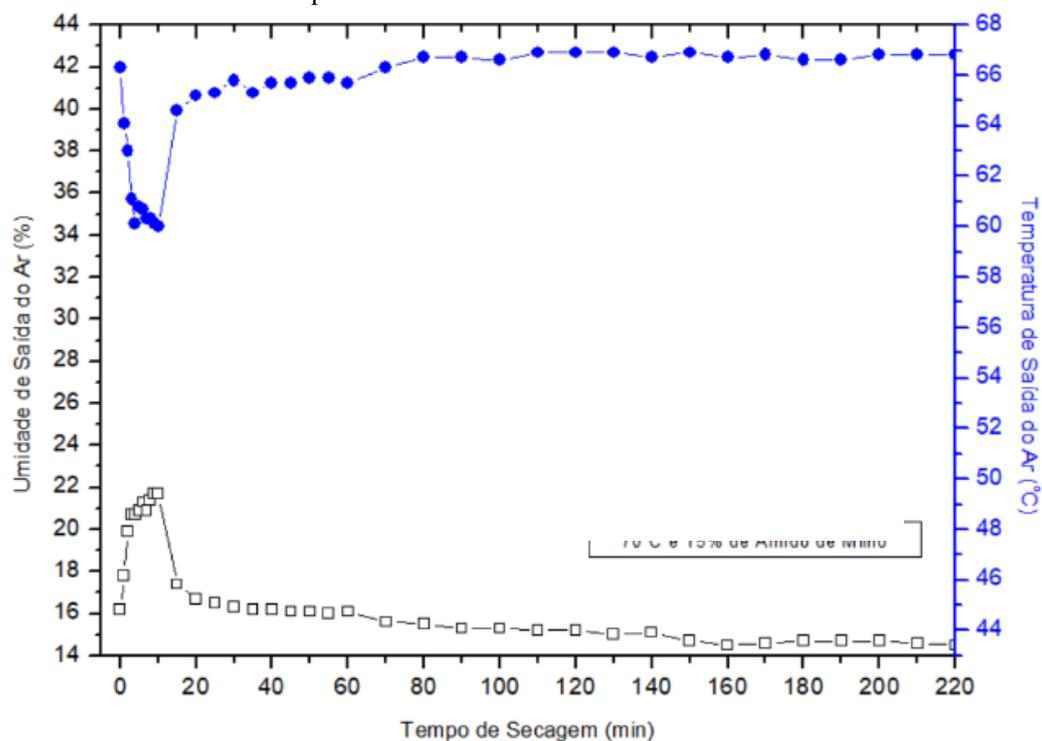
**Figura 29:** Variações na umidade e temperatura de saída do ar em função do tempo de secagem para a temperatura de 50 °C e 15% de amido de milho.



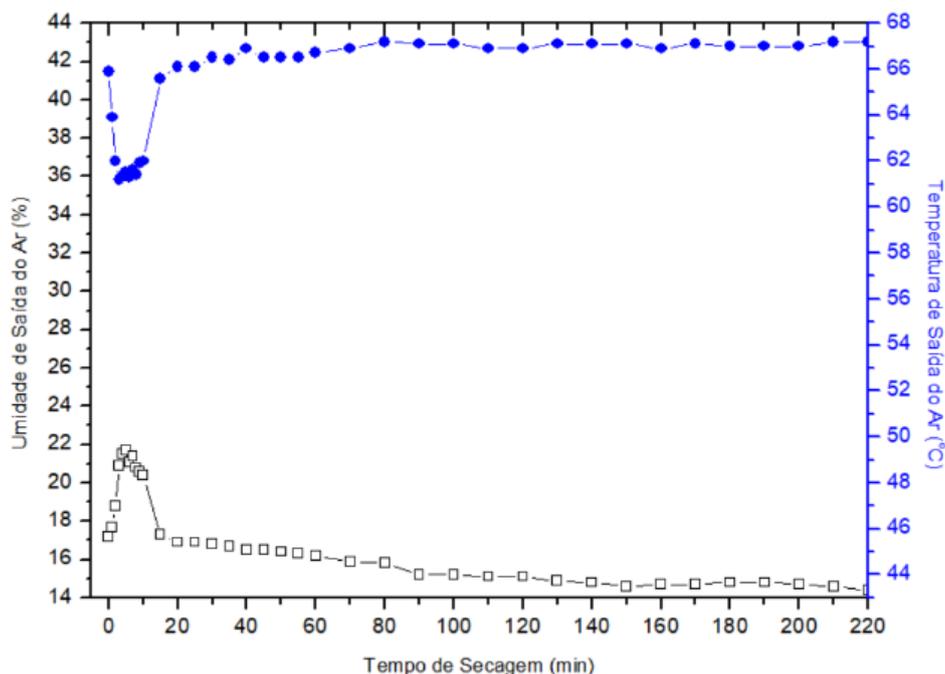
**Figura 30:** Variações na umidade e temperatura de saída do ar em função do tempo de secagem para a temperatura de 50 °C e 25% de amido de milho.



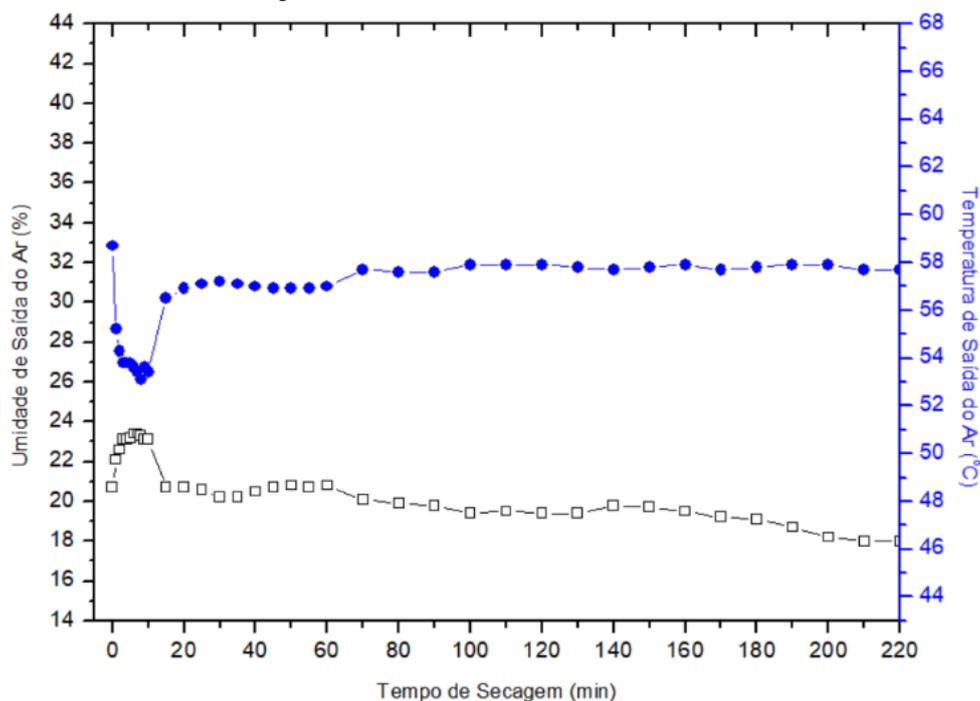
**Figura 31:** Variações na umidade e temperatura de saída em função do tempo de secagem para a temperatura de 70 °C e 15% de amido de milho.



**Figura 32:** Variações na umidade de saída em função do tempo de secagem para a temperatura de 70 °C e 25% de amido de milho.



**Figura 33:** Variações na umidade e temperatura de saída do ar em função do tempo de secagem para a temperatura de 60 °C e 20% de amido de milho.



O comportamento da umidade e temperatura do ar na saída do secador foi o esperado. Ou seja, à medida que a suspensão foi adicionada ocorreu o aumento na umidade de saída do ar –  $X_{ar}$  (%), e conseqüentemente, a diminuição na temperatura de saída do ar –  $T_{ar}$  (°C). Porém, a partir de determinado tempo, foi verificado a

estabilidade nas duas variáveis, e em seguida, a diminuição na umidade e, de forma inversa, o aumento da temperatura de saída do ar.

Comparando as Figuras 29 a 33, as condições que apresentaram menor valor na umidade (Xar) e na temperatura (Tar) foram as condições do experimento 4 (T = 70 °C e C = 25% de amido de milho), com valores de 14,3% e 67,3 °C, respectivamente. Já a maior umidade encontrada foi para as condições do experimento 1 (T = 50 °C e C = 15% de amido de milho), com o valor de 27,2%.

Na Tabela 9 são apresentados os valores referentes à umidade e à temperatura de saída do ar para as condições operacionais do planejamento experimental fatorial completo no tempo final de secagem de 220 minutos.

**Tabela 9:** Resultado das variáveis dependentes na secagem no leito de jorro da polpa do noni para o tempo final de secagem de 220 minutos.

Experimento	Variáveis Independentes		Variáveis Dependentes	
	C (%)	T (°C)	Xar (bs)	Tar (°C)
1	15	50,0	27,4 <sup>a</sup> ± 0,15	49,0 <sup>b</sup> ± 0,12
2	25	50,0	22,3 <sup>b</sup> ± 0,20	49,1 <sup>b</sup> ± 0,10
3	15	70,0	14,6 <sup>d</sup> ± 0,10	66,8 <sup>a</sup> ± 0,06
4	25	70,0	14,5 <sup>d</sup> ± 0,20	67,1 <sup>a</sup> ± 0,21
5	20	60,0	18,0 <sup>c</sup> ± 0,20	57,7 <sup>c</sup> ± 0,15

Médias seguidas de mesma letra na linha horizontal não diferem estatisticamente entre si ( $p < 0,050$ ) pelo teste de Tukey. C – Concentração do amido de milho; T – temperatura de secagem; Xar – Umidade de saída do ar; Tar – temperatura de saída do ar.

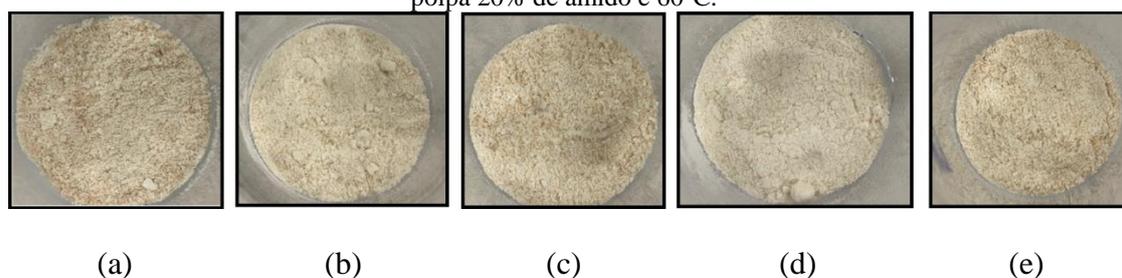
Pela Tabela 9, observa-se que houve variação significativa para a umidade de saída do ar (Xar), na produção do pó, para as diferentes condições de secagem. Assim como para a temperatura de saída do ar, com uma significância de 5%. Observa-se, também, que em todos os experimentos de secagem foi verificado que a temperatura teve influência no valor da umidade de saída do ar, o que já era esperado, onde uma maior temperatura de secagem iria acarretar em uma maior temperatura de saída do ar e, conseqüentemente, em uma menor umidade de saída do ar.

#### 4.6 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DO PÓ DA POLPA DO NONI OBTIDO POR LEITO DE JORRO E POR LIOFILIZAÇÃO

Após o processo de secagem da polpa do noni no leite de jorro, e no liofilizador, as amostras foram caracterizadas quanto à sua composição físico-química para as análises de pH, atividade de água ( $a_w$ ), acidez titulável total (ATT), cinzas, sólidos solúveis totais (SST), e teor de ácido ascórbico, para verificar o efeito das condições de secagem nas propriedades físico-química da polpa do noni em pó.

Na Figura 34 é mostrado o pó obtido para a polpa do noni através da secagem no leite de jorro para as diferentes concentrações do agente carreador (15%, 20% e 25%) e diferentes temperaturas aplicadas (50 °C, 60 °C e 70°C).

**Figura 34:** Pós obtidos experimentalmente: (a) pó da polpa 15% de amido e 50 °C; (b) pó da polpa 25% de amido e 50 °C; (c) pó da polpa 15% de amido e 70 °C; (d) pó da polpa 25% de amido e 70 °C e (e) pó da polpa 20% de amido e 60°C.



Qualitativamente, percebe-se que o pó da polpa do noni sofreu uma variação na sua coloração, e também, na sua granulometria, onde o aumento da concentração do agente carreador (Maizena) gerou um pó mais branco e mais fino. Porém, todas as amostras possuem uma textura fina, quando manipulada.

Os efeitos das concentrações do amido de milho (maizena) e da temperatura do ar de secagem nas propriedades físico-química do pó da polpa do noni estão apresentados nas Tabelas 10 e 11.

**Tabela 10:** Caracterização do pó da polpa do noni para atividade de água ( $a_w$ ), ATT e pH.

Experimentos	pH	$a_w$	ATT (g ácido cítrico /100g)
Liofilizado	4,02 ± 0,04	0,140 ± 0,003	4,75 ± 0,060
1 (15% e 50°C)	4,06 <sup>a</sup> ± 0,005	0,182 <sup>a</sup> ± 0,003	1,35 <sup>a</sup> ± 0,050
2 (25% e 50°C)	4,22 <sup>b</sup> ± 0,009	0,178 <sup>a</sup> ± 0,003	0,81 <sup>bcd</sup> ± 0,060
3 (15% e 70°C)	4,06 <sup>a</sup> ± 0,005	0,201 <sup>c</sup> ± 0,002	1,33 <sup>a</sup> ± 0,060
4 (25% e 70°C)	4,21 <sup>b</sup> ± 0,014	0,181 <sup>a</sup> ± 0,002	0,68 <sup>b</sup> ± 0,060

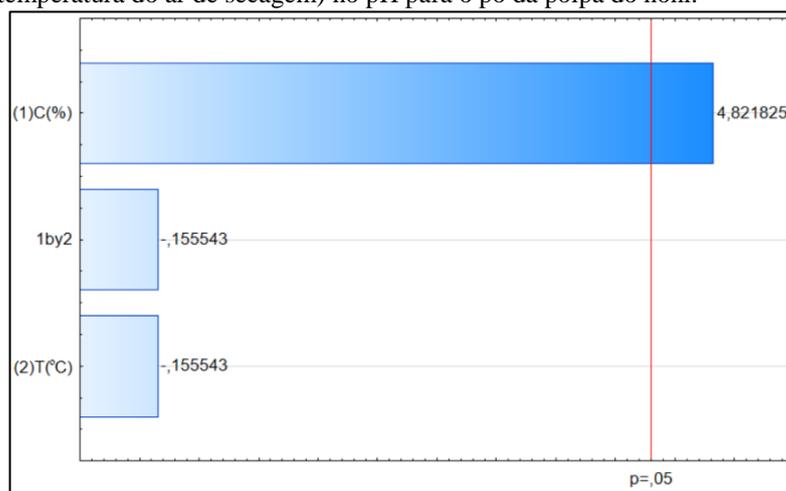
5 (20% e 60°C)	4,25 <sup>b</sup> ± 0,039	0,148 <sup>b</sup> ± 0,002	0,92 <sup>c</sup> ± 0,030
6 (20% e 60°C)	4,24 <sup>b</sup> ± 0,031	0,150 <sup>b</sup> ± 0,001	0,92 <sup>c</sup> ± 0,020
7 (20% e 60°C)	4,19 <sup>b</sup> ± 0,009	0,150 <sup>b</sup> ± 0,001	0,93 <sup>c</sup> ± 0,030

Médias seguidas de mesma letra na linha vertical não diferem estatisticamente entre si ( $p \leq 0,050$ ) pelo teste de Tukey. ATT – acidez titulável total. aw – atividade de água.

Para que o microrganismo consiga se desenvolver no produto é necessário que ele encontre condições favoráveis. A atividade de água (aw), o pH e a acidez são algumas dessas condições que possuem grande influência no tipo e diversidade microbiana capaz de se desenvolver nos produtos. Produtos de baixa acidez são considerados mais suscetíveis à deterioração, onde a maioria dos deterioradores se multiplicam otimamente em pH próximo à neutralidade (6,6 a 7,5) (VILAR *et al*, 2021; BORGES; SGANZERLA; ZAMBIAZI, 2006; JAY; LOESSNER; GOLDEN, 2005; VELD, 1996). Assim, em relação ao pH para os pós do noni, foi verificado um leve aumento da acidez, variando entre 4,06 – 4,28, quando comparado com o valor para o noni *in natura* (4,53). Valores semelhantes foram encontrados para o liofilizado (4,02), mostrando que o processo utilizado para a secagem pode representar uma barreira a multiplicação microbiana no produto.

Observa-se, também, que os valores de pH foram significativamente afetados apenas pela concentração de amido de milho (maizena) com p-valor  $\leq 0,05$ . A influência da concentração no pH pode ser visualizada no diagrama de Pareto (Figura 34), onde é possível observar que a variável independente concentração de amido de milho (C) apresentou efeito positivo, ou seja, maiores concentrações de amido de milho conduziram a maiores valores de pH, conforme pode ser observado nos resultados apresentados na Tabela 10. O mesmo comportamento foi verificado por Castro *et al.* (2017), ao estudar a farinha de taro (*Colocasia esculenta*), sendo relatado uma diminuição no pH no processo de secagem no leito de jorro e, por Madrau *et al* (2009), na secagem de damascos. Já Almeida *et al.* (2020) encontrou um leve aumento no pH, ao obter a farinha da batata doce no leito de jorro, em que o aumento da temperatura de 60 °C para 70 °C gerou também um aumento no pH dos pós, sendo eles de 6,25 para 6,48, respectivamente.

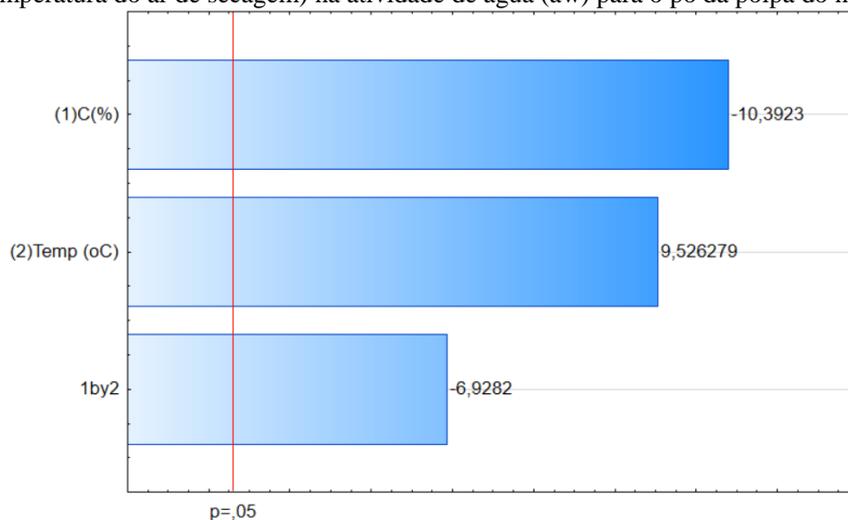
**Figura 34:** Diagrama de Pareto para os efeitos das variáveis (concentração de amido de milho e temperatura do ar de secagem) no pH para o pó da polpa do noni.



Em relação à atividade de água ( $a_w$ ), é possível observar que, de acordo com o teste de Tukey, os valores diferem entre si em diferentes condições experimentais usadas no planejamento fatorial (Tabela 10). Observa-se, também, que ao comparar os valores obtidos com a atividade de água para a polpa *in natura* (0,983), todos tiveram altas reduções, onde o maior valor encontrado de atividade de água foi para o experimento 4 com concentração de 25% e temperatura de secagem de 70 °C, com valor de  $0,201 \pm 0,002$ . Segundo Beauchat (1983), valores inferiores a 0,6 apresentam uma maior dificuldade ao crescimento microbiano, conseqüentemente gerando uma maior estabilidade microbiológica dos produtos, já que há menos água livre disponível, e também uma redução dos custos para seu armazenamento, transporte e uma vida de prateleira mais longa. Comparando o valor do liofilizado (0,140) com os experimentos, observa-se que o leite de jorro foi bastante eficiente na redução da atividade de água para a polpa do noni + maizena com valores chegando próximo do liofilizado, como mostra o experimento 5, com valor de 0,148 para atividade de água.

Assim como para o pH, a atividade de água ( $a_w$ ) foi significativamente influenciada pelas condições de secagem, como também pela interação entre as duas variáveis. E como pode ser visualizado pelo gráfico de Pareto (Figura 35). Em relação à concentração de amido de milho, observa-se que a influência se deu de forma negativa, ou seja, quanto maior a concentração de amido de milho utilizada, menor foi a atividade de água ( $a_w$ ) obtida.

**Figura 35:** Diagrama de Pareto para os efeitos das variáveis (concentração de amido de milho e temperatura do ar de secagem) na atividade de água (aw) para o pó da polpa do noni.



Soares; Pereira (2020) não verificaram influência da concentração da maltodextrina e clara de ovo na secagem da polpa do jambolão para a atividade de água (aw), com valor de 0,25. Foi verificado apenas que os agentes utilizados tiveram influência em relação à umidade do pó. Almeida *et al.* (2020) obtiveram uma farinha da batata doce com atividade de água reduzida, sendo inferior a 0,2 e diferindo estatisticamente em relação às temperaturas aplicadas. Alves *et al.* (2016), ao trabalharem com leite de jorro, obtiveram um pó de suco de laranja com uma atividade de água (aw) de 0,212 ao utilizar goma arábica e uma atividade de água (aw) de 0,197 ao utilizar maltodextrina como agente carreador. Araújo *et al.* (2015), ao secarem acerola com maltodextrina, não verificaram influência da temperatura de secagem e do agente carreador na atividade de água (aw). Oliveira *et al.* (2015) obtiveram uma atividade de água de 0,313 para a polpa do fruto de mandacaru em pó com 10% de maltodextrina.

A influência negativa em relação a concentração do agente carreador também foi verificada por Almeida; Silva; Ferreira (2021) e Quek; Chok; Swedlund (2007), onde o aumento da concentração do agente carreador gerou uma diminuição na atividade de água (aw). Em relação a temperatura de secagem, observa-se uma influência de forma positiva, onde o aumento da temperatura de secagem do ar gera um aumento na atividade de água (aw) presente na amostra. Como possível explicação, tem-se a característica do amido, quando o mesmo é aquecido na presença de água, as ligações entre as moléculas de amilose e amilopectina se tornam mais fracas e a água vai penetrando progressivamente no seu interior, fazendo-as crescer de forma irreversível. Desta forma, dificultando a maior eficiência da temperatura do ar de secagem para a retirada da água existente na

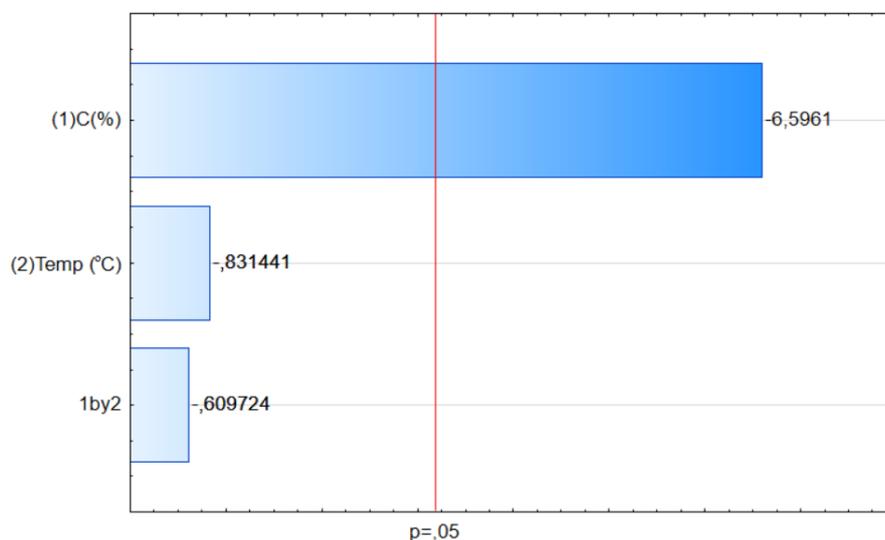
suspensão estudada (polpa do noni + amido de milho). Essa temperatura de aquecimento em questão, segundo Damodaran; Parkin; Fennema (2010), para o amido de milho comum, se dá em torno de 62-80 °C, o que corrobora com a temperatura de 70 °C utilizada neste trabalho.

A partir dessa explicação, pode-se então compreender que a superfície de contato entre as partículas e a suspensão pode não ser o suficiente para reduzir o teor de água na suspensão (polpa + amido de milho) e, conseqüentemente, mantendo a atividade de água do produto final mais elevada. Porras-Saavedra *et al.* (2015) ao estudarem a secagem para obtenção do pó de proteína de soja, também obtiveram maiores valores para atividade de água (*aw*).

Para a acidez titulável total (ATT), observa-se um aumento da acidez ao realizar os processos de secagem. Para a polpa *in natura*, o valor encontrado foi de 0,43 g ácido cítrico/100 g e 4,755 g ácido cítrico/100 g na polpa liofilizada (Tabela 10). Para a secagem da polpa no leito de jorro, observa-se uma variação de valores entre 0,68 – 1,35g ácido cítrico/100g. Observa-se também que a acidez titulável para o pó foi maior do que para a polpa *in natura*, o que garante o sabor ácido característico da fruta quando este pó é reconstituído, sendo também um fator desfavorável para o crescimento microbiano.

Ainda da Tabela 10, observa-se que os resultados obtidos para a acidez titulável total (ATT) foram significativamente influenciados pelas condições de secagem para uma significância de 5%. Para uma melhor análise dessa influência, pode-se verificar no gráfico de Pareto, na Figura 36 a seguir.

**Figura 36:** Diagrama de Pareto para os efeitos das variáveis (concentração de amido de milho e temperatura do ar de secagem) na acidez titulável total (ATT) para o pó da polpa do noni.



Em relação à concentração de amido de milho, observa-se que a influência se deu de forma negativa, ou seja, quanto maior a concentração de amido de milho utilizada, menor foi a acidez. Já em relação a temperatura e a interação entre as duas variáveis não foi verificada influência para 95% de confiança.

Almeida *et al.* (2020), ao trabalharem com batata-doce, verificaram uma diminuição da acidez à medida que a temperatura foi elevada e uma diminuição em relação a batata-doce *in natura*. Para Araújo *et al.* (2015), a acidez tende a diminuir com o aumento da temperatura de secagem, visto que os ácidos orgânicos se oxidam com a temperatura e se eleva a evaporação da água. Assim, como provável explicação para o aumento da acidez verificado na polpa do noni, a presença do amido de milho pode ter feito uma proteção em relação a temperatura, evitando que ocorresse a oxidação dos ácidos orgânicos, conseqüentemente dificultando a diminuição da acidez.

Na Tabela 11 são apresentados os valores médios do teor de cinzas, sólidos solúveis totais (SST) e teor de ácido ascórbico do pó da polpa do noni, para cada um dos experimentos realizados.

**Tabela 11:** Caracterização do pó da polpa do noni para teor de cinzas, sólidos solúveis totais (SST) e ácido ascórbico.

Experimentos	Cinzas (%)	TSS (° Brix)	Ácido ascórbico (mg/100 g amostra)
Liofilizado	4,08 ± 0,070	77,33 ± 0,943	87,64 ± 0,792
1 (15% e 50°C)	0,78 <sup>ac</sup> ± 0,016	12,67 <sup>a</sup> ± 0,471	21,00 <sup>a</sup> ± 0,690
2 (25% e 50°C)	0,76 <sup>ac</sup> ± 0,120	12,33 <sup>a</sup> ± 0,471	5,04 <sup>b</sup> ± 0,000
3 (15% e 70°C)	1,88 <sup>b</sup> ± 0,126	12,33 <sup>a</sup> ± 0,471	12,32 <sup>c</sup> ± 0,790
4 (25% e 70°C)	0,73 <sup>c</sup> ± 0,052	12,33 <sup>a</sup> ± 0,471	5,88 <sup>bd</sup> ± 0,690
5 (20% e 60°C)	1,17 <sup>a</sup> ± 0,052	13,33 <sup>a</sup> ± 0,471	9,52 <sup>e</sup> ± 0,790
6 (20% e 60°C)	1,16 <sup>a</sup> ± 0,040	13,67 <sup>a</sup> ± 0,471	9,24 <sup>e</sup> ± 0,690
7 (20% e 60°C)	1,16 <sup>a</sup> ± 0,047	13,00 <sup>a</sup> ± 0,000	9,24 <sup>e</sup> ± 0,690

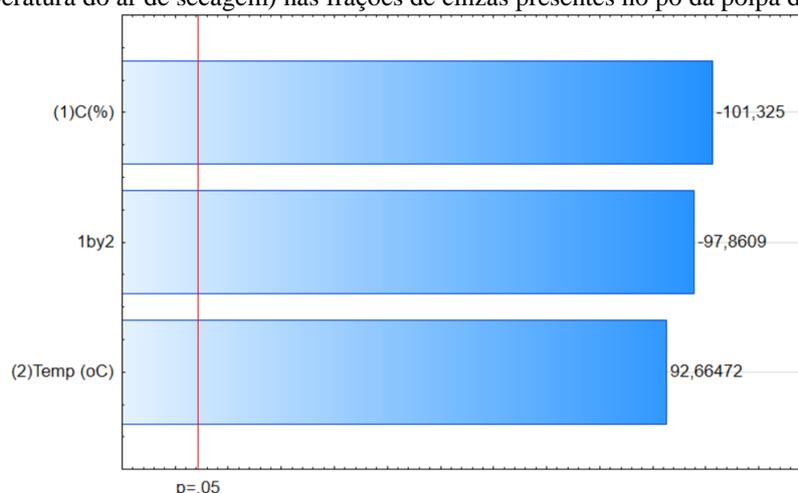
Médias seguidas de mesma letra na linha vertical não diferem estatisticamente entre si ( $p \leq 0,050$ ) pelo teste de Tukey. SST – sólidos solúveis totais.

Sabe-se que determinar o teor de cinzas em uma amostra significa verificar a presença de minerais, principalmente potássio, sódio, cálcio, enxofre, magnésio e fósforo. Analisando a Tabela 11, é possível verificar que houve um aumento na fração de cinzas para todas as amostras analisadas quando comparado com a fração presente na polpa do noni *in natura* (0,412) e menor teor de cinzas em relação a polpa liofilizada. Ainda,

observa-se que a concentração do agente carreador interferiu de forma negativa na fração de cinzas, já que a maior fração foi obtida ao utilizar a concentração de 15% (experimento 3) e quando a concentração é aumentada para 20% observa-se, pelos experimentos centrais (5, 6, 7), que a fração diminuiu. Essa confirmação pode ser vista pelo Gráfico de Pareto (Figura 37), em que a concentração foi a que mais influenciou na fração de cinzas e de forma negativa para uma confiança de 95%. Além da concentração, a variável temperatura de secagem e a interação entre as variáveis também se mostraram com alta influência na presença de cinzas das amostras. A interação também se deu de forma negativa, já a temperatura de secagem de forma positiva, ou seja, maior a temperatura utilizada, maior a fração de cinzas no pó.

Almeida *et al.* (2020), após o processo de secagem no leito de jorro, obtiveram uma farinha da batata-doce com um teor de cinzas superior ao valor encontrado *in natura*. Ao aplicarem diferentes temperaturas, também verificaram uma influência positiva, ou seja, o aumento da temperatura, gerou um aumento na fração de cinzas, sendo o maior valor de 1,78% para temperatura de 80 °C. Peixoto (2017), ao trabalhar com a polpa do noni liofilizado, encontrou um teor máximo de 2,16%. COSTA *et al.* (2015), ao secarem a polpa de açaí no leito de jorro, também verificaram um aumento no teor de cinzas, com um valor de 1,55%. Entretanto, diferentemente dos trabalhos citados, Nascimento *et al.* (2019) encontraram um pó da bacaba em leito de jorro com uma pequena redução da fração de cinzas, quando comparado ao *in natura*.

**Figura 37:** Diagrama de Pareto para os efeitos das variáveis (concentração de amido de milho e temperatura do ar de secagem) nas frações de cinzas presentes no pó da polpa do noni.



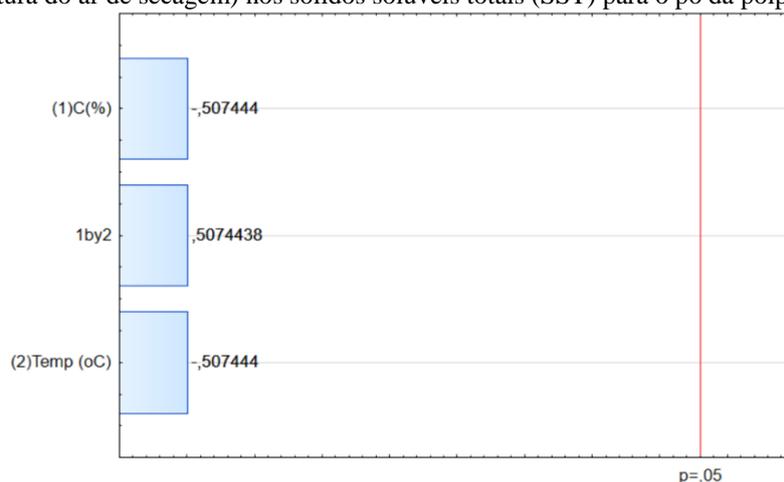
Para os sólidos solúveis totais, as amostras (Tabela 11) não apresentaram diferenças significativas entre si. Em relação à polpa *in natura* ( $10 \pm 0,53$  °Brix) é verificado um

aumento no teor de sólidos solúveis totais com a secagem. Para a polpa de noni liofilizada ( $77,33 \pm 0,943$  °Brix), houve um aumento de quase oito vezes no teor de sólidos solúveis totais.

O aumento no teor de sólidos solúveis totais se dá em função da eliminação de grande parte da água, durante o processo de secagem, o que resulta em uma maior concentração de sólidos presentes. Esse mesmo comportamento também foi verificado por Albuquerque (2021), Almeida *et al.* (2020) e Oliveira *et al.* (2020), ao secarem e polpa de umbu-cajá, batata-doce e folha de graviola, respectivamente.

A partir do gráfico de Pareto, pode-se confirmar que nem a concentração do amido de milho e nem a temperatura do ar de secagem interferiram no teor de sólidos solúveis nas amostras analisadas para um nível de confiança de 95%.

**Figura 38:** Diagrama de Pareto para os efeitos das variáveis (concentração de amido de milho e temperatura do ar de secagem) nos sólidos solúveis totais (SST) para o pó da polpa do noni.

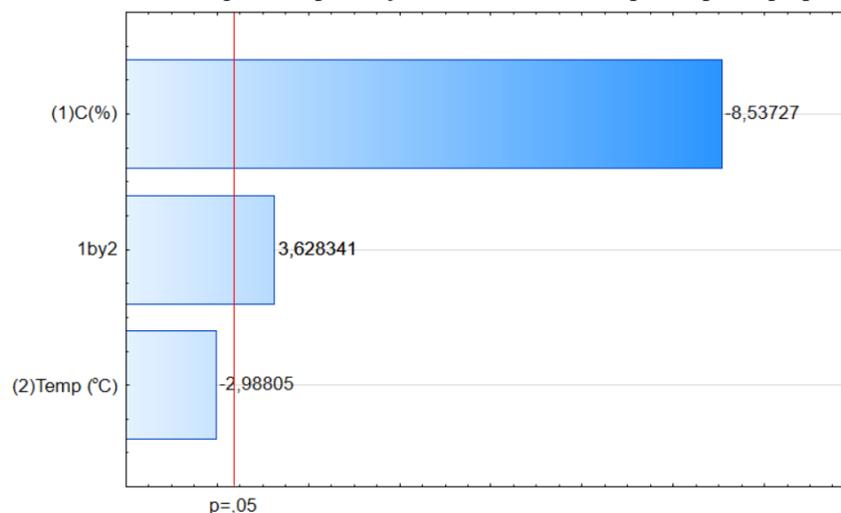


Entretanto, a secagem da polpa por leito de jorro resultou em perdas significativas no teor de ácido ascórbico (Tabela 11), quando comparado com a polpa *in natura* (Tabela 4), com um valor de  $56,00 \pm 2,00$ . Comparando com o teor de ácido ascórbico da polpa do noni liofilizada, seu valor foi mais elevado que a *in natura*, o que implica que o processo de liofilização, por trabalhar com temperaturas mais baixas, tendem a conservar as propriedades da fruta ou demonstrando que o processo de remoção de água pode ter concentrado as propriedades. Além disso, pode ser verificado pela Tabela 11, que quando se utiliza uma baixa concentração de agente carreador, a perda de ácido ascórbico é menor, sendo esse comportamento confirmado pelo Gráfico de Pareto (Figura 39), ou seja, a influência se dá de forma negativa para uma significância de 5%. Assim como a

iteração das duas variáveis, temperatura e concentração do agente carreador, em que se verificou uma influência de forma positiva na presença de vitamina C dos pós.

A degradação do ácido ascórbico pode ser influenciada por diversos fatores, sendo um de maior relevância, o aumento da temperatura no processo de secagem (TOME; AUGUSTINHA, 2018). Tome e Augustinha (2018) ainda observaram que o teor foi mais preservado na farinha obtida a temperatura de secagem a 40 °C, contudo, a polpa com secagem a 50 °C obteve um maior teor de ácido ascórbico, quando comparadas a obtida a 40 °C. E como justificativa, devido ao longo tempo necessário para secagem da polpa a 40 °C, o qual possibilitou um maior tempo de contato das amostras com a temperatura de secagem, ocorrendo assim uma maior degradação de ácido ascórbico. Já Castro *et al.* (2017), não encontraram diferença significativa ao secar farinha de taro no leito de jorro. Como explicação, os autores acreditam que, apesar do ácido ascórbico ser um composto termossensível, a sua concentração nas farinhas se manteve praticamente inalterada com o processo de secagem, devido ao binômio tempo x temperatura, uma vez que a secagem em leito de jorro apresenta a vantagem de aumento da área de contato do produto durante a secagem, mantendo sua exposição a temperaturas elevadas. O que pode explicar porque a temperatura de secagem, no planejamento experimental fatorial completo, não se mostrou estatisticamente significativa para a influência na presença de ácido ascórbico na secagem da polpa do noni, como mostra a Figura 39. Já em relação a concentração do agente carreador, sua influência se deu de forma negativa, ou seja, quanto maior a concentração do agente carreador menor será o teor de ácido ascórbico no pó.

**Figura 39:** Diagrama de Pareto para os efeitos das variáveis (concentração de amido de milho e temperatura do ar de secagem) na presença de Ácido ascórbico para o pó da polpa do noni.



#### 4.7 ANÁLISE ESTATÍSTICA DA INFLUÊNCIA DAS VARIÁVEIS INDEPENDENTES

A partir dos resultados da secagem da polpa do noni no leito de jorro foi realizada uma análise estatística para verificar os efeitos das variáveis independentes e de suas interações sobre as variáveis dependentes (respostas).

##### 4.7.1 Teor de umidade em base úmida

Os teores de umidade em base úmida encontrados para o planejamento experimental fatorial completo e para a polpa liofilizada se encontram na Tabela 12.

**Tabela 12:** Resultado da variável dependente, teor de umidade, na secagem no leito de jorro para a polpa do noni (*Morinda citrifolia* L.).

Experimento	Variáveis independentes		Variável Dependente
	C(%)	T(°C)	X (g água/ g amostra) (b.u)
Liofilizado	-	-	18,59 ± 0,18
1 (15% e 50°C)	15	50,0	8,02 <sup>a</sup> ± 0,27
2 (25% e 50°C)	25	50,0	6,78 <sup>b</sup> ± 0,27
3 (15% e 70°C)	15	70,0	7,30 <sup>b</sup> ± 0,22
4 (25% e 70°C)	25	70,0	6,97 <sup>b</sup> ± 0,45
5 (20% e 60°C)	20	60,0	6,78 <sup>b</sup> ± 0,01
6 (20% e 60°C)	20	60,0	6,77 <sup>b</sup> ± 0,02
7 (20% e 60°C)	20	60,0	6,80 <sup>b</sup> ± 0,05

C – Concentração do agente carreador (%); T – temperatura do ar de secagem (°C); X<sub>bu</sub> – teor de umidade em base úmida. Médias seguidas de mesma letra na linha vertical não diferem estatisticamente entre si ( $p \leq 0,050$ ) pelo teste de Tukey.

Analisando a Tabela 12, observa-se que os teores de umidade para as condições realizadas não foram estatisticamente diferentes, exceto para o experimento 1.

Em relação aos valores encontrados, quando comparado com o teor de umidade para a polpa do noni *in natura* (Tabela 4), houve uma redução em torno de 90%. Ao comparar o teor de umidade da polpa liofilizada com o planejamento fatorial, observa-se que o leito de jorro se mostrou mais eficiente para a redução da água presente na polpa do noni.

Observa-se, também, que os valores encontrados estão na faixa verificada por outros autores ao utilizar o leito de jorro para produção de pós. Dentre eles, tem-se Silva Júnior *et al.* (2022), que ao produzirem uma mistura de acerola-ceriguela em pó, pelo secador leito de jorro, encontraram um teor de umidade de 5,49 (b.u) a uma temperatura de secagem de 75 °C e 15% de maltodextrina como agente carreador. Paiva *et al.* (2021), que produziram o pó de beterraba pelo secador leito de jorro, encontraram um teor de umidade de 6,75 (b.u) para o pó com 10% de amido de milho com uma temperatura de secagem de 70 °C. Almeida *et al.* (2020) encontraram umidade de 5,68 (b.u) na temperatura de 70 °C. Soares; Pereira (2020) obtiveram uma umidade no pó da polpa de 8 (b.u) na temperatura de 70 °C para a polpa do jambolão. Pola *et al.* (2011), pesquisando os efeitos do processamento de secagem em bandejas na polpa do noni (*Morinda citrifolia* L.), encontraram um teor de umidade de 5,096 (b.u) para uma temperatura de secagem de 55 °C durante 8 horas de processamento. Krishnaiah *et al.* (2012), que estudaram a variável resposta teor de umidade para o processo de secagem do noni (*Morinda citrifolia* L.), ao utilizar maltodextrina como agente carreador e temperatura de 90 °C, encontraram um teor de 11,50 (b.u), e que, analisaram também em temperaturas mais altas e ao secar a polpa do noni a 140 °C, o teor de umidade chegou a 4,20 (b.u).

Apesar das diferentes condições empregadas nos sete ensaios só ter apresentado diferença estatística para o experimento 1, foi verificada uma influência das variáveis em relação ao teor de umidade, tanto para a temperatura de ar de secagem, como para a concentração do agente carreador e também da interação entre as duas variáveis para um valor  $p < 0,05$  e uma confiança de 95%.

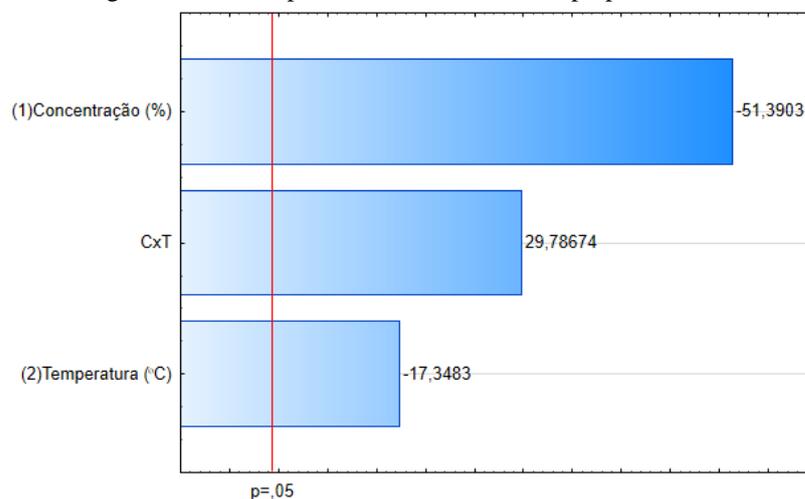
Observa-se que quando a concentração do amido de milho e a temperatura de secagem é aumentada, o teor da umidade reduz. Em relação à interação das variáveis, tem-se que quanto maior o valor, maior será o teor de umidade. Essa influência pode ser observada na Tabela 13, considerando o intervalo de 95% de confiança e com um  $p$ -valor  $\leq 0,05$ .

**Tabela 13:** Efeito da influência das variáveis independentes na umidade do pó do noni.

Fatores	Efeito	Coef. de regressão	Erro Puro	Valor-T	Valor-p
Média	7,060000	14,88500	0,005774	1222,828	0,000001
Concentração	-0,785000	-0,35150	0,015275	-51,390	0,000378
Temperatura	-0,265000	-0,10425	0,015275	-17,348	0,003306
Conc. x Temp.	0,455000	0,00455	0,015275	29,787	0,001125

Para melhor visualização, na Figura 40 é mostrado o diagrama de Pareto para o teor de umidade (em base úmida), onde é possível observar que as variáveis independentes, concentração do agente carreador (C), a temperatura de secagem (T) e a combinação são estatisticamente significativas no nível de confiança de 95% ( $p < 0,05$ ).

**Figura 40:** Diagrama de Pareto para o teor de umidade da polpa do noni seca.



Para a variável resposta teor de umidade, observou-se que a concentração do agente carreador (Maizena) exerce influência de sinal negativo sobre a mesma, de modo que quanto menor a concentração do agente carreador maior será o teor de umidade do pó. Da mesma forma, observou-se a influência de sinal negativo para a temperatura de secagem. Já para a interação entre a concentração do agente carreador e a temperatura de secagem, a influência se deu de forma positiva, onde quanto maior a concentração e a temperatura de secagem maior será o teor de umidade do pó. Esses resultados são consistentes com outros autores (KRISHNAIAH *et al.*, 2012; QUEK; CHOK; SWEDLUND, 2007; GOULA *et al.*, 2004).

O modelo estatístico para o teor de umidade da polpa do noni (*Morinda citrifolia* L.) foi obtido por regressão linear múltipla dos dados experimentais do processo de secagem e o mesmo é apresentado na Equação 8.

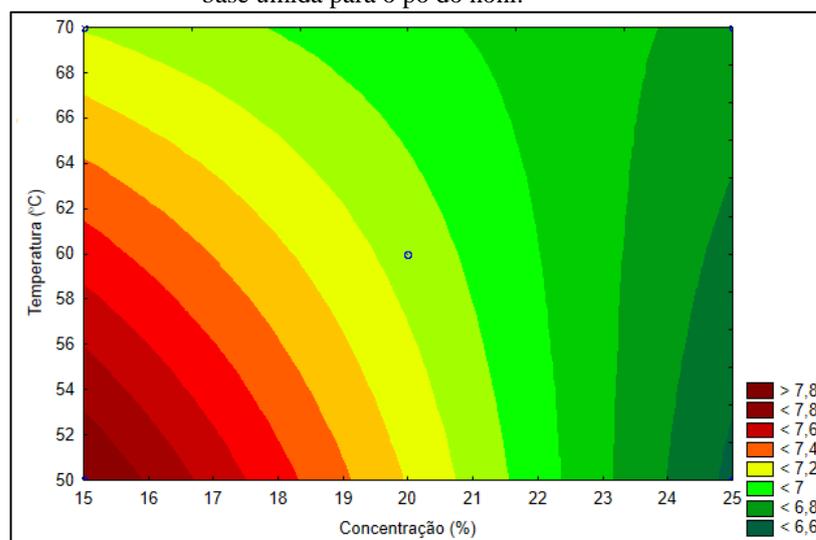
$$X_{bu} = 14,88500 - 0,35150C - 0,10425T + 0,00455C * T \quad (8)$$

Este modelo possui um coeficiente de determinação ( $R^2$ ) de 0,68952 e um erro puro de 0,0002333, para um nível de confiança de 95%.

Com o objetivo de observar melhor as condições experimentais que conduzem a menores teores de umidade, foi gerado o gráfico de contorno (Figura 41), onde se pode

visualizar que ao manter a concentração do agente carreador baixa, existe uma maior tendência a altas umidades mesmo variando a temperatura de secagem, então desde que seja mantido a concentração do agente carreador alta no processo, bons resultados são esperados para a umidade tanto para uma temperatura baixa como para uma temperatura de secagem alta.

**Figura 41:** Gráfico de contorno demonstrando as melhores condições para um baixo teor de umidade em base úmida para o pó do noni.



#### 4.7.2 Compostos Fenólicos Totais

Na Tabela 14 são mostrados os resultados obtidos para a presença de compostos fenólicos nos pós obtidos na secagem para a polpa do noni (*Morinda citrifolia* L.) utilizando o metanol nos extratos, como também para a polpa liofilizada.

**Tabela 14:** Valores médios de fenólicos totais para as amostras do pó da polpa do noni para o planejamento fatorial completo.

Experimento	Variáveis independentes		Variável Dependente
	C(%)	T(°C)	mg EAG/100 g pó
<i>in natura</i>	-	-	3054,45 ± 17,72
Liofilizado	-	-	3208,3 ± 18,57
1 (15% e 50°C)	15	50,0	1237,73 <sup>a</sup> ± 1,94
2 (25% e 50°C)	25	50,0	1233,40 <sup>a</sup> ± 3,91
3 (15% e 70°C)	15	70,0	1411,73 <sup>c</sup> ± 9,71
4 (25% e 70°C)	25	70,0	1318,00 <sup>d</sup> ± 17,55
5 (20% e 60°C)	20	60,0	1160,77 <sup>b</sup> ± 5,85

6 (20% e 60°C)	20	60,0	1159,21 <sup>b</sup> ± 2,63
7 (20% e 60°C)	20	60,0	1160,13 <sup>b</sup> ± 3,21

C – Concentração do agente carreador (%); T – temperatura do ar de secagem (°C); mg EAG/100g de extrato – fenólicos totais. Médias seguidas de mesma letra na linha vertical não diferem estatisticamente entre si ( $p \leq 0,050$ ) pelo teste de Tukey.

De acordo com a Tabela 14, pode-se inferir que para todas as amostras analisadas foi encontrado um alto teor de compostos fenólicos ao utilizar um extrato metanólico, com uma concentração mínima de 1159,21mg EAG/100g para as condições centrais do experimento (20% e 60 °C) e o de valor de 1411,73 mg EAG/100g para a concentração de 15% e uma temperatura de secagem de 70 °C. Pelo Teste de Tukey ( $p < 0,05$ ), observa-se que o teor de fenólicos totais para todo o planejamento foi significativo.

Em relação a polpa do noni liofilizado, altos teores de fenólicos totais foram encontrados e, quando comparado com o presente estudo, o teor de fenólicos totais foi maior no liofilizado, com um valor de 3208,3 mg EAG/100 g de pó. Como explicação para os maiores teores de fenólicos na amostra liofilizada do que na amostra fresca, tem-se que o processo de remoção de água pode ter concentrado os compostos bioativos presentes nos extratos metanólicos analisados. Observa-se que para os pós obtidos por leite de jorro, o processo de aquecimento pode ter interferido causando diminuição na concentração de fenólicos, comprovando que os compostos fenólicos são susceptíveis à variação de temperatura e sensíveis a altas temperaturas conforme explicado por Vickery; Vickery (1981).

Krishnaiah *et al.* (2012) realizaram um estudo com a polpa do noni para verificar a influência da variação da temperatura de secagem e concentração de maltodextrina no teor de compostos fenólicos presentes nos pós. O processo utilizado foi a secagem por atomização (*spray drying*), sendo verificado uma concentração máxima e mínima de compostos fenólicos de 1800 e 5400 mg EAG/g, respectivamente, com temperaturas variando entre 90 a 140 °C e utilizando um extrato metanólico. Peixoto (2017) ao determinar a presença de compostos fenólicos, na polpa do noni liofilizada, encontrou um valor de 6,26 mg EAG/100 g no extrato etanólico. Pola *et al* (2011), encontraram um teor de 0,35 µM EAG/g utilizando extrato metílico na secagem do noni (*Morinda citrifolia* L.) em bandejas vazadas e temperatura de secagem de 55 °C. Nascimento (2018) utilizou o método de secagem em camada de espuma para obter o pó da polpa do noni, em relação a presença de fenólicos totais, foi encontrado um valor máximo de 476,61 mg EAG/100 g para temperatura de secagem de 50 °C, 2% de albumina como emulsificante e como

solvente o metanol. E Mireles-Arriaga *et al* (2016) ao secar a polpa do noni em fatias, encontrou um teor de compostos fenólicos de 25,28 g EAG/g dm para a temperatura de 50 °C.

Porém, a comparação dos resultados obtidos com outros pesquisadores se torna bastante complicado devido às diversas formas de se obter o extrato (como por exemplo, o tipo de solvente e a concentração utilizados), metodologia utilizada para determinação, além das diversas formas que os resultados podem ser expressos, gerando uma falta de padronização e, conseqüentemente, também dificultando a interpretação dos resultados. Assim, não é possível dizer se os valores encontrados para esta pesquisa são maiores ou menores que os autores citados anteriormente.

Assim como para o teor de umidade, foi verificado a influência das variáveis independentes em relação aos compostos fenólicos totais (resposta). Como mostrado na Tabela 15, foi observado que as duas variáveis exercem influência sobre os compostos fenólicos totais e também a interação entre as duas, para um valor  $p \leq 0,05$  e uma confiança de 95%.

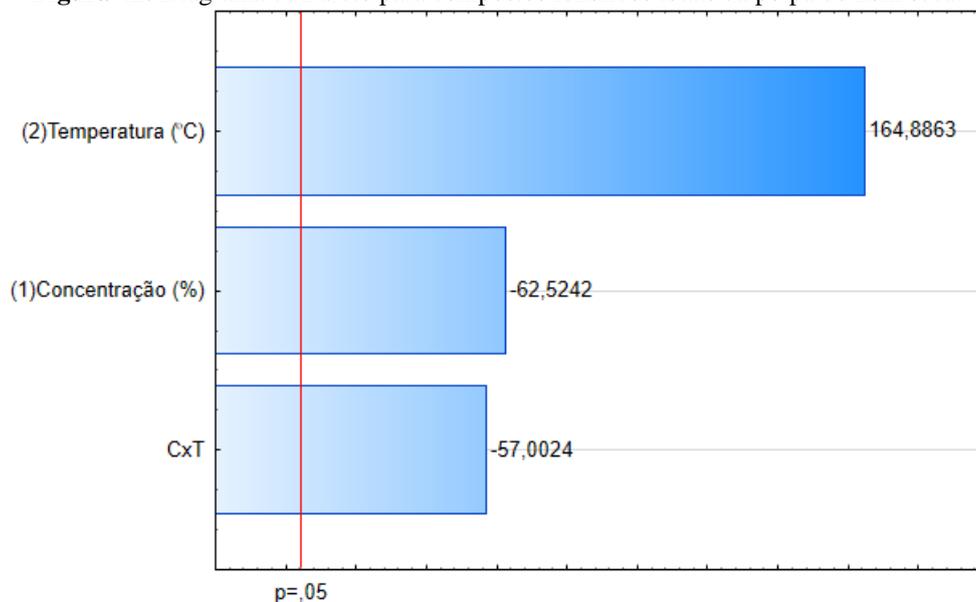
Em relação à variável concentração do amido de milho e a interação entre a concentração e a temperatura de secagem essa influência se dá com o sinal negativo, ou seja, quanto maior for as condições das variáveis, menor será o teor de fenólicos totais. Esses resultados são consistentes com outros autores (NASCIMENTO *et al.*, 2019; FUJITA *et al.*, 2013); enquanto Silva Júnior *et al.* (2022) verificaram que o aumento na concentração do agente carreador foi favorável para a obtenção de uma quantidade total elevada de teor fenólico. Já em relação a temperatura de secagem, sua influência se deu com sinal positivo, ou seja, quanto maior for o seu valor, maior será a presença de compostos fenólicos totais na amostra. Como possível explicação, provavelmente ao trabalhar com temperaturas mais altas ocorre um menor tempo para que ocorra a secagem e conseqüentemente uma menor degradação dos componentes.

**Tabela 15:** Efeito da influência das variáveis independentes nos compostos fenólicos totais do pó do noni.

Fatores	Efeito	Coef. de regressão	Erro Puro	Valor-T	Valor-p
Média	1240,139	413,8986	0,296	4184,130	0,000000
Concentração	-49,030	21,9170	0,784	-62,524	0,000256
Temperatura	129,300	15,4050	0,784	164,886	0,000037
Conc. x Temp.	-44,700	-0,4470	0,784	-57,002	0,000308

Para melhor visualização, na Figura 42 é mostrado o diagrama de Pareto para compostos fenólicos totais, onde é possível observar que as variáveis independentes, concentração do agente carreador (C), a temperatura de secagem (T) e a combinação são estatisticamente significativas no nível de confiança de 95% ( $p \leq 0,05$ ).

**Figura 42:** Diagrama de Pareto para compostos fenólicos totais da polpa do noni seca.



O modelo estatístico para compostos fenólicos totais da polpa do noni (*Morinda citrifolia* L.) em pó foi obtido por regressão linear múltipla dos dados experimentais do processo de secagem e o mesmo é apresentado na Equação 9.

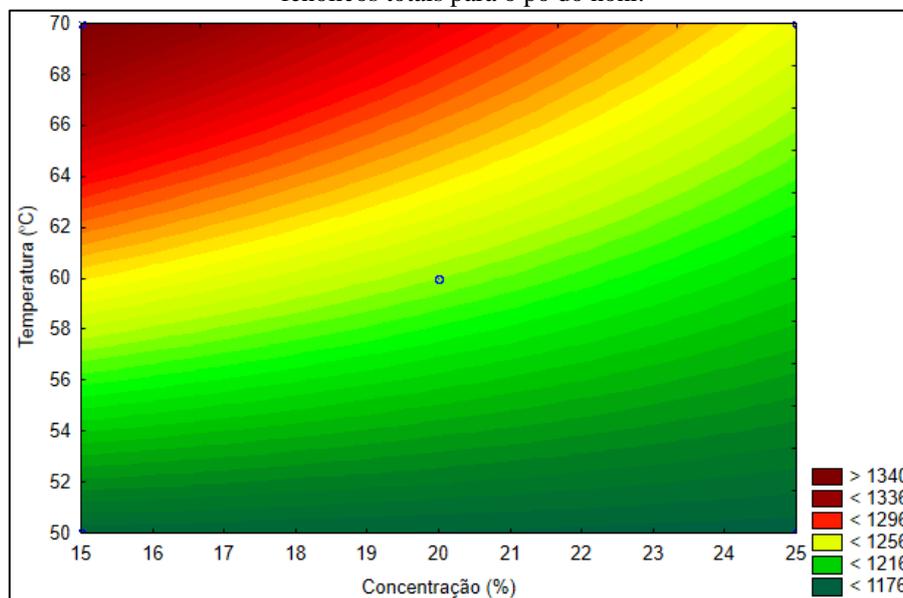
$$\mathbf{mg\ GAE/100g = 413,8986 + 21,9170C + 15,4050T - 0,4470\ C * T} \quad (9)$$

Este modelo possui um coeficiente de determinação ( $R^2$ ) de 0,38536 e um erro puro de 0,61493, para um nível de confiança de 95%.

Com o objetivo de observar melhor as condições experimentais que conduzem a maiores teores de compostos fenólicos totais, foi gerado o gráfico de contorno (Figura 43), onde pode-se visualizar que ao variar a concentração do agente carreador e manter a temperatura de secagem abaixo de 60 °C, baixos valores de fenólicos totais serão esperados. Porém, ao trabalhar com a temperatura de secagem acima de 60 °C e qualquer concentração de amido de milho, maiores valores de compostos fenólicos vão ser esperados, e como condição ideal, para obter valores maior que 1340 mg GAE/100g de

pó, assim, seria interessante utilizar as condições de 15% de amido de milho e 70 °C para a temperatura de secagem.

**Figura 43:** Gráfico de contorno demonstrando as melhores condições para um alto teor de compostos fenólicos totais para o pó do noni.



#### 4.7.3 Atividade Antioxidante - DPPH

A presença de antioxidantes pode ser de grande benefício para melhorar a qualidade de vida das pessoas, uma vez que têm a capacidade de proteger o organismo de radicais livre e, conseqüentemente, prevenindo várias doenças. Em relação a presença de antioxidantes no pó do noni, o primeiro método utilizado foi o DPPH, que teve seu valor expresso em TEAC (Atividade Antioxidante Total Equivalente Trolox).

Na Tabela 16 são mostrados os resultados obtidos para a presença da atividade antioxidante nos pós obtidos na secagem para a polpa do noni (*Morinda citrifolia* L.) utilizando o metanol nos extratos.

**Tabela 16:** Valores médios de atividade antioxidante pela captura do radical livre DPPH para as amostras do pó da polpa do noni.

Experimento	Variáveis independentes		Variável Dependente
	C(%)	T(°C)	mg TE /g extrato
<i>in natura</i>	-	-	5,23 ± 0,12
Liofilizado	-	-	7,53 ± 0,22
1 (15% e 50°C)	15	50,0	17,87 <sup>a</sup> ± 0,21
2 (25% e 50°C)	25	50,0	16,87 <sup>b</sup> ± 0,54

3 (15% e 70°C)	15	70,0	15,13 <sup>c</sup> ± 0,35
4 (25% e 70°C)	25	70,0	17,19 <sup>ab</sup> ± 0,13
5 (20% e 60°C)	20	60,0	16,27 <sup>b</sup> ± 0,25
6 (20% e 60°C)	20	60,0	16,39 <sup>b</sup> ± 0,13
7 (20% e 60°C)	20	60,0	16,36 <sup>b</sup> ± 0,18

C – Concentração do agente carreador (%); T – temperatura do ar de secagem (°C); mg TE /g extrato – DPPH. Médias seguidas de mesma letra na linha vertical não diferem estatisticamente entre si ( $p \leq 0,050$ ) pelo teste de Tukey.

Como se pode observar pela Tabela 16, o experimento 1 (15% concentração do agente carreador e temperatura de secagem igual a 50 °C) foi o que indicou a maior presença de atividade antioxidante (17,87 mg TE /g extrato), entre todos os experimentos feitos, mostrando ser a melhor combinação entre os parâmetros para extração de substâncias com propriedade antioxidante. Já o experimento 3 (15% concentração do agente carreador e temperatura de secagem igual a 70 °C) foi o que demonstrou menor atividade antioxidante (15,13 mg TE /g extrato). Qualitativamente, comparando as duas condições, observa-se que as duas possuem a mesma concentração de amido de milho e houve variação apenas da temperatura de secagem, demonstrando que o aumento da temperatura gerou uma diminuição na atividade antioxidante, ou seja, na capacidade de reduzir. Quando comparadas com as polpas frescas, observa-se que as amostras liofilizadas e as polpas secas de noni apresentaram aumento na concentração de AA (DPPH), o que se deve essencialmente à perda de umidade promovida pelo processo de secagem.

Krishnaiah *et al* (2009), observaram o mesmo comportamento ao secar a polpa do noni em *spray dryer*, com menor extração de propriedades antioxidantes pelo método DPPH observado quando a temperatura de secagem foi aumentada de 50 °C para 70 °C. Segundo os autores, isto pode ser devido à degradação dos componentes ativos quando em contato com temperaturas mais alta.

Yang *et al.* (2007), realizaram um processo de desidratação no purê do noni e observaram que os compostos fenólicos presentes se mostraram mais resistentes ao tratamento térmico do que os demais compostos antioxidantes não fenólicos. Esta ideia contribui para o verificado na análise da capacidade antioxidante nesta pesquisa, onde a sua capacidade em sequestrar o radical estável DPPH foi reduzida com o aumento da temperatura de secagem, ou seja, nem toda as propriedades antioxidantes presentes nos pós obtidos são necessariamente compostos fenólicos.

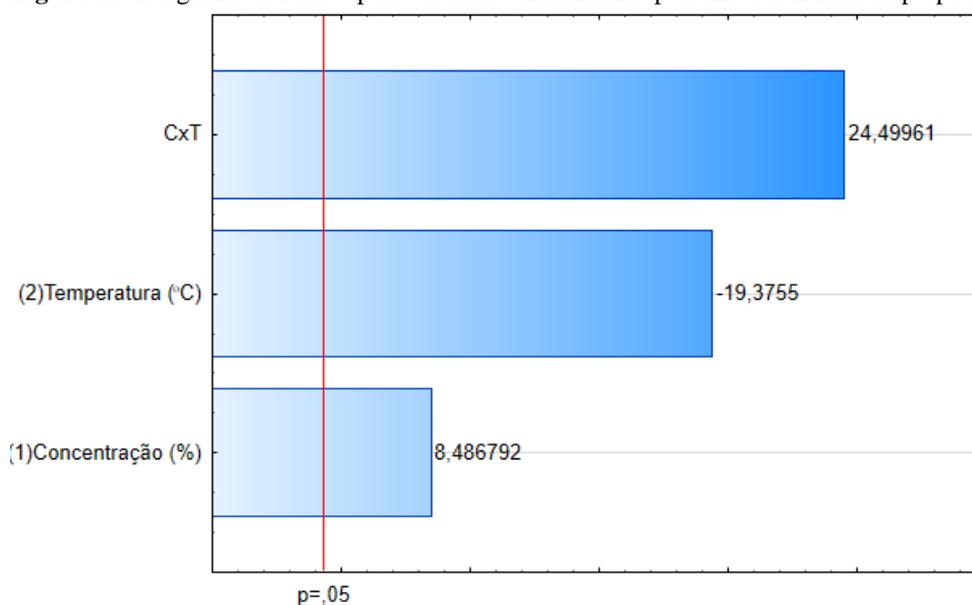
Outros autores estudaram também a presença de componentes com propriedades antioxidantes na polpa do noni após um processo de secagem. Dentre eles, tem-se a Barros *et al.* (2015), que estudaram a secagem da polpa do noni em secador de radiação com lâmpadas refletores. Os valores encontrados pelos autores demonstram que o extrato de acetato mostrou maior capacidade de absorção de substâncias antioxidantes, em relação ao extrato etanólico e com valores na faixa de 13,50 a 26,56 mg Trolox/g amostra. Pola *et al.* (2011), avaliaram o potencial antioxidante por meio do método de DPPH da polpa do noni seco em fatias e seu resultado obtido foi de 79,83%, expresso em atividade sequestrante de radicais (%ASR), na temperatura de 55 °C e solvente sendo o álcool metílico. Peixoto (2017), ao liofilizar a polpa do noni, determinou a presença da atividade antioxidante total com resultados expressos em EC<sub>50</sub> (concentração de antioxidante necessária para inibir 50% do radical DPPH) e obteve o extrato alcoólico com um valor baixo de 0,4090 mg/mL. Regal *et al.* (2020), mensuraram a atividade antioxidante do pó liofilizado do *Asparagopsis taxiformis*, com valor médio de 34 AA Eq/100 g pó seco (resultado expresso em mg de equivalentes de ácido ascórbico) encontrado para o seu extrato etanólico. E Krishnaiah *et al.* (2012), no processo *spray drying*, expressou a atividade antioxidante presente no pó da polpa do noni com um valor mínimo de 5,20% e um máximo de 28,36% ao variar a temperatura entre 90 °C e 140 °C e utilizar maltodextrina como agente carreador.

Analisando a influência das variáveis concentração do agente carreador e da temperatura de secagem em relação a atividade antioxidante pelo método DPPH (resposta), para um nível de confiança de 95%, foi observado pela Tabela 17 que a concentração do agente carreador e a interação entre a concentração e a temperatura de secagem do ar exercem influência de sinal positivo em relação a atividade antioxidante, ou seja, maiores valores das variáveis fornecerão maiores valores de atividade antioxidante. Já a variável temperatura de secagem interferiu de forma negativa na capacidade antioxidante do pó, ou seja, quanto maior a temperatura de secagem menor a presença da atividade antioxidante, o que corrobora com o dito anteriormente ao comparar a maior e a menor atividade antioxidante encontrada e consistentes com outros autores (KRISHNAIAH *et al.*, 2012; KRISHNAIAH *et al.*, 2009; YANG *et al.*, 2007).

**Tabela 17:** Efeito da influência das variáveis independentes na atividade antioxidante pelo método DPPH para o pó do noni.

Fatores	Efeito	Coef. de regressão	Erro Puro	Valor-T	Valor-p
Média	16,58286	37,51286	0,023604	702,5481	0,000002
Concentração	0,53000	-0,86500	0,062450	8,4868	0,013601
Temperatura	-1,21000	-0,36650	0,062450	-19,3755	0,002653
Conc. x Temp.	1,53000	0,01530	0,062450	24,4996	0,001662

Na Figura 44 é mostrado o diagrama de Pareto para a atividade antioxidante pelo método DPPH. Para as variáveis analisadas, todas mostraram que são estatisticamente significativas no nível de confiança de 95% para  $p\text{-valor} \leq 0,05$ . A interação entre a concentração do agente carreador e a temperatura de secagem foi a que mostrou a maior significância, seguido da temperatura de secagem e da concentração do agente carreador.

**Figura 44:** Diagrama de Pareto para atividade antioxidante pelo método DPPH da polpa do noni seca.

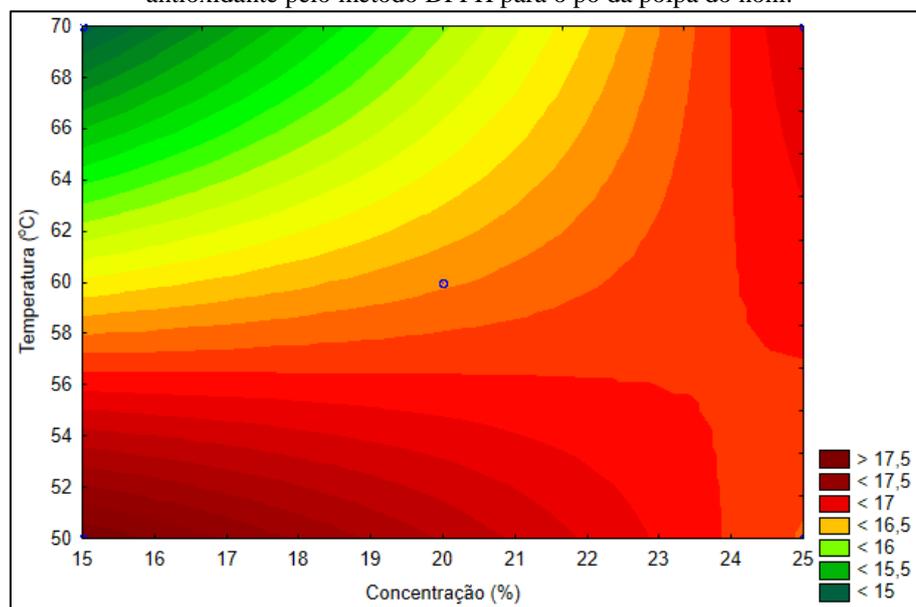
O modelo estatístico para a atividade antioxidante da polpa do noni (*Morinda citrifolia* L.) em pó foi obtido por regressão linear múltipla dos dados experimentais do processo de secagem e o mesmo é apresentado na Equação 10.

$$DPPH \text{ (mg TE /g extrato)} = 37,51286 - 0,86500C - 0,36650T + 0,01530C * T \quad (10)$$

Este modelo possui um coeficiente de determinação ( $R^2$ ) de 0,92791 e um erro puro de 0,0039, para um nível de confiança de 95%.

Pelo gráfico de contorno (Figura 45), confirma-se que trabalhar com temperatura alta de secagem irá influenciar de forma negativa na presença da atividade antioxidante no pó, desta forma, sugere-se trabalhar com temperaturas inferiores a 60 °C, mesmo que variando a concentração do amido de milho. Já a condição ideal, é interessante trabalhar com as condições mínimas do planejamento experimental fatorial completo (Temperatura de secagem de 50°C e concentração de 15%) para obter teores de atividade antioxidante em torno de 17,87 mg TE /g extrato.

**Figura 45:** Gráfico de contorno demonstrando as melhores condições para um alto teor da atividade antioxidante pelo método DPPH para o pó da polpa do noni.



#### 4.7.4 Atividade Antioxidante – ABTS<sup>+</sup>

Para avaliar se um composto é ou não antioxidante, é necessário realizar mais de uma metodologia para uma caracterização de forma mais completa. Como explicação, tem-se que para a aplicação de apenas um método não é possível realizar a identificação de todos ou de classe específica de antioxidantes naturais, devido a diversos fatores.

ABTS pode ser solubilizado em meios orgânicos e aquosos, nos quais a atividade antioxidante pode ser determinada, dependendo da natureza dos compostos antioxidantes. Já pelo método DPPH, a solubilização só pode ser feita em meios orgânicos, especificamente alcoólicos (RE *et al.*, 1999). Villaño *et al.* (2006) constataram que os ácidos fenólicos siríngico, vanílico e p-cumárico, e a procianidina B3 apresentam uma alta atividade antioxidante quando determinado pelo método DPPH, porém não reagem

com o radical ABTS<sup>+</sup>. Por isso, a importância de determinar a presença de atividade antioxidante por mais de um método.

O segundo método utilizado nesta pesquisa para verificar a presença de propriedades antioxidantes no pó do noni foi o ABTS<sup>+</sup>, com seu valor expresso em TEAC (Atividade Antioxidante Total Equivalente ao Trolox). Este método consiste na captura do radical ABTS<sup>+</sup> (2,2' azinobis(3-etilbenzotiazolidina-6-ácido sulfônico)).

Na Tabela 18 são mostrados os resultados obtidos para a presença de propriedades antioxidantes pelo método ABTS<sup>+</sup> nos da polpa do noni (*Morinda citrifolia* L.) utilizando o metanol como solvente nos extratos.

A capacidade antioxidante da polpa do noni em pó pelo método ABTS apresentou diferença significativa ( $p > 0,05$ ) entre as amostras. Comparando os resultados, pode-se observar que, embora os dois métodos empregados tenham apresentado atividade antioxidante, uma maior atividade foi observada quando se utilizou o método DPPH (Tabela 16). A capacidade antioxidante por ABTS do noni fresco foi de  $10,29 \pm 0,27$  mg TE/g extrato e verificado um teor de  $8,91 \pm 0,10$  mg TE/g extrato para o noni liofilizado, sendo este valor inferior ao encontrado para a polpa do noni seca no leito de jorro (Tabela 18).

**Tabela 18:** Valores médios de atividade antioxidante pela captura do radical ABTS<sup>+</sup> para as amostras do pó da polpa do noni.

Experimento	Variáveis independentes		Variável Dependente
	C(%)	T(°C)	mg TE /g extrato
<i>in natura</i>	-	-	$10,29 \pm 0,27$
Liofilizado	-	-	$8,91 \pm 0,10$
1	15	50,0	$10,35^a \pm 0,08$
2	25	50,0	$11,00^a \pm 0,30$
3	15	70,0	$11,08^a \pm 0,24$
4	25	70,0	$10,69^a \pm 0,11$
5	20	60,0	$9,33^b \pm 0,30$
6	20	60,0	$9,34^b \pm 0,26$
7	20	60,0	$9,35^b \pm 0,24$

C – Concentração do agente carreador (%); T – temperatura do ar de secagem (°C); mg TE /g extrato – ABTS<sup>+</sup>. Médias seguidas de mesma letra na linha vertical não diferem estatisticamente entre si ( $p \leq 0,050$ ) pelo teste de Tukey.

Para as diferentes temperaturas de secagem e concentração do agente carreador, observa-se pela Tabela 18 que, inicialmente, ao aumentar a temperatura de secagem, para 60 °C, houve uma diminuição na presença de atividade antioxidante. Isto pode ser explicado devido à volatilização dos componentes ativos ao aumentar a temperatura de secagem. Porém, ao trabalhar com a temperatura mais alta (70 °C), não foi verificado a diminuição da atividade, quando comparado com a temperatura de 50 °C. Provavelmente, isto se deve ao efeito protetor do uso do amido de milho (agente carreador) em combinação com a temperatura alta de secagem (70 °C), acarretando em menor tempo para a secagem e, conseqüentemente, diminuindo a degradação, retendo assim componentes ativos durante a secagem no leito de jorro. Este mesmo comportamento foi verificado por Leite Neta *et al.* (2019), Igual *et al.* (2014) e Krishnaiah *et al.* (2009).

Yang *et al.* (2010), pelo método ABTS, encontraram um pó da polpa do noni com uma atividade antioxidante de 15 mg VCEAC/g pó na temperatura de 50 °C. Quando comparado este valor com o encontrado na Tabela 18 (10,35 mg TE/g pó), observa-se que foi maior, porém o tempo de secagem para obtenção do pó por Yang *et al.* (2010) foram de 24 horas. Já o processo de leito de jorro utilizado nesta pesquisa, levou em torno de 4 horas para a temperatura de 50 °C e ambos os métodos utilizando o solvente metanol para a extração. Já Peixoto (2017), para a polpa do noni liofilizada, encontrou um valor de 39,11 µmol TE /g pó, utilizando metanol/água na proporção de 70:30 como solvente para a extração.

Assim, conclui-se que altos valores foram encontrados pelo método de secagem no leito de jorro quando comparados com métodos mais caros, como a secagem por liofilização e com um método que necessita de um tempo longo para realizar o processo de secagem (secagem em leito fixo - bandejas).

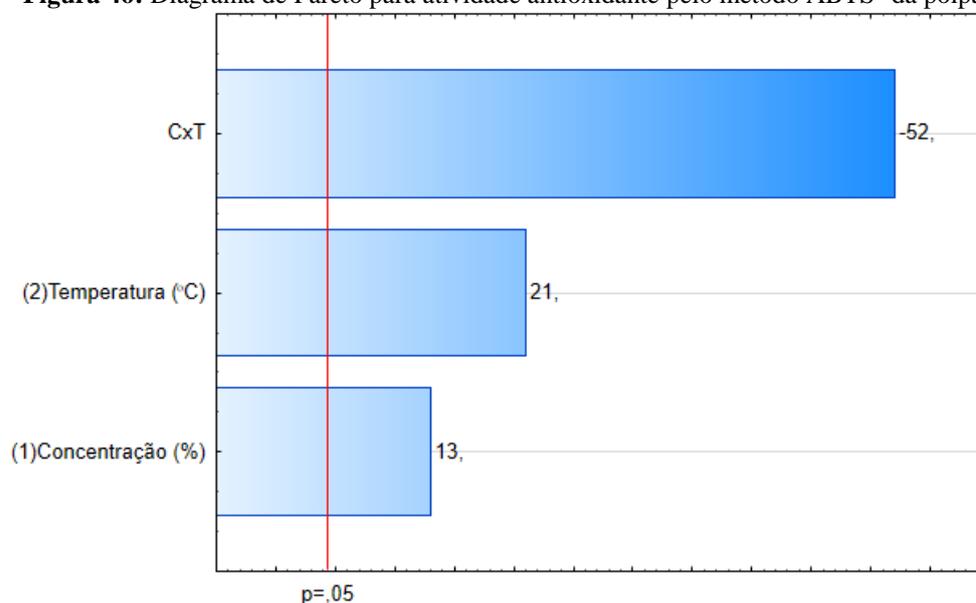
Em relação à influência das variáveis independentes, observa-se pela Tabela 19 que a concentração do amido de milho e a temperatura de secagem também influenciaram na determinação da presença de propriedades antioxidantes nas amostras analisadas. Além da influência de cada variável, a interação das duas variáveis também foi significativa para um nível de confiança de 95%, com p-valor  $\leq 0,05$ .

**Tabela 19:** Efeito da influência das variáveis independentes na atividade antioxidante pelo método ABTS<sup>+</sup> para o pó do noni.

Fatores	Efeito	Coef. de regressão	Erro Puro	Valor-T	Valor-p
Média	10,16286	3,032857	0,003780	2688,839	0,000000
Concentração	0,13000	0,325000	0,010000	13,000	0,005865
Temperatura	0,21000	0,114500	0,010000	21,000	0,002260
Conc. x Temp.	-0,52000	-0,005200	0,010000	-52,000	0,000370

O gráfico de Pareto (Figura 46) mostra uma melhor visualização do tamanho da influência das variáveis na propriedade antioxidante da polpa do noni.

**Figura 46:** Diagrama de Pareto para atividade antioxidante pelo método ABTS<sup>+</sup> da polpa do noni seca.



A interação das variáveis independentes foram as que demonstraram a maior influência sobre a atividade antioxidante pelo método ABTS<sup>+</sup>, com um valor -52,00, ou seja, de forma negativa, assim, quanto menor for os seus valores, maior será a presença da atividade antioxidante na amostra. Já a temperatura de secagem e a concentração do agente carreador tiveram influência de forma positiva, com valores de 21,00 e 13,00 respectivamente, ou seja, quanto maior for a temperatura de secagem ou a concentração do agente carreador, maior será a presença da atividade antioxidante na amostra.

O modelo estatístico para a atividade antioxidante da polpa do noni (*Morinda citrifolia* L.) em pó foi obtido por regressão linear múltipla dos dados experimentais do processo de secagem e o mesmo é apresentado na Equação 11.

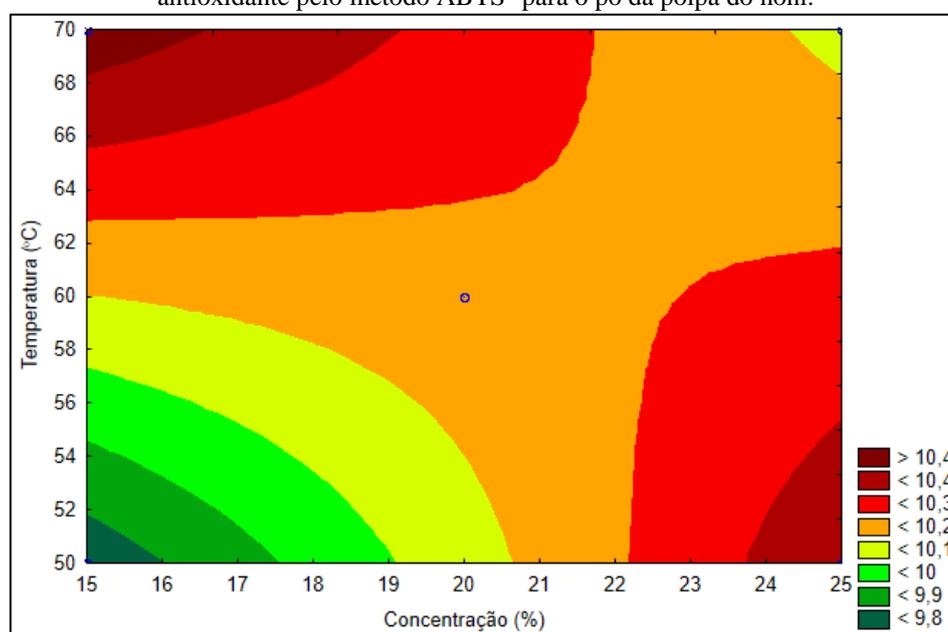
**ABTS (mg TE /g extrato)**

$$= 3,032857 + 0,325000C + 0,114500T - 0,005200C * T \quad (11)$$

Este modelo possui um coeficiente de determinação ( $R^2$ ) de 0,08527 e um erro puro de 0,0001, para um nível de confiança de 95%.

Pelo gráfico de contorno (Figura 47) é possível estabelecer as condições de funcionamento desejáveis para obter os melhores valores de resposta para a atividade antioxidante pelo método ABTS<sup>+</sup>.

**Figura 47:** Gráfico de contorno demonstrando as melhores condições para um alto teor da atividade antioxidante pelo método ABTS<sup>+</sup> para o pó da polpa do noni.



Inicialmente, pode-se confirmar pelo gráfico de contorno (Figura 47), que ao trabalhar com temperaturas de secagem mais altas, maior será a presença de atividade antioxidante, da mesma forma observa-se para a concentração do agente carreador. E para a interação das variáveis também pode-se confirmar, que menor a temperatura e menor a concentração, menor será a capacidade antioxidante do pó.

Em relação às melhores condições de secagem, trabalhar com temperaturas superiores a 60 °C são mais desejáveis se a concentração do agente carreador for menor que 20%. Porém, se desejar trabalhar com temperaturas mais baixas, maior deverá ser a concentração de agente carreador utilizado, de preferência superior a 20%.

## 5. CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS

### 5.1. CONCLUSÕES

A polpa do noni *in natura* apresentou características físico-químicas semelhantes ao encontrado na literatura: alto teor de água. Confirmando que a maior parte de sua composição é dada por água; leve acidez e fração de cinzas que demonstraram a presença de minerais na sua composição; alto valor de sólidos solúveis totais (SST), mostrando necessidade de utilização de agente carreador; a acidez total titulável (ATT), além de uma boa quantidade de compostos bioativos, mostrando seu potencial em auxiliar a prevenção e tratamento de doenças.

O processo de secagem apresentou comportamento estável para todo o planejamento fatorial completo, não havendo colapso em momento algum, apesar de ter sido verificado que a presença da suspensão gerou uma interferência no comportamento dinâmico do leito.

Na caracterização do pó produzido em todos os experimentos, foi verificado que a atividade de água (*aw*) foi mantida abaixo de 0,25, mostrando dificuldade ao crescimento microbiano. Em relação aos compostos bioativos as amostras apresentaram ação antioxidante para o método DPPH, com o maior valor de 17,87 mg TE/g e de 11,08 mg TE/g pelo método ABTS. Para fenólicos totais, um teor de 1411,73 mg EAG/100g de pó, e perdas significativas no teor de ácido ascórbico para todas as amostras, com variação entre 5,04 – 21,00 mg/100g amostra, quando comparado com a polpa *in natura* (56,00 mg/100 g amostra).

Os resultados obtidos neste estudo mostram que para todas as condições de secagem foi possível obter um pó com baixa umidade, e com alta presença de atividade antioxidante e compostos fenólicos. Embora a temperatura de secagem, isoladamente, demonstre interferir na presença da atividade antioxidante do noni, observou-se nos experimentos que melhores resultados são obtidos quando se trabalha com condições mais altas de concentração do carreador e temperatura de secagem (25% e 70 °C). Isso se deve ao efeito protetor do uso do carreador em combinação com a alta temperatura de secagem (70 °C), retendo os componentes ativos durante a secagem no leito de jorro.

Por fim, a aplicação do processo de secagem do noni no leito de jorro se mostrou bastante eficiente, quando comparado com as propriedades físico-químicas do pó do noni

liofilizado, podendo ser uma técnica alternativa e com um processo mais econômico. Trazendo ainda uma nova opção de produto/matéria-prima para a indústria farmacêutica.

## 5.2. PERSPECTIVAS PARA ESTUDOS FUTUROS

Este estudo mostrou-se valioso para a obtenção de um pó de qualidade e valor nutricional ao aplicar o método de secagem em leito de jorro, abrindo assim perspectivas para sua utilização na indústria alimentícia, por exemplo como aditivo alimentar, e na indústria farmacêutica.

É evidente que um trabalho de pesquisa científica abre novas frentes de investigação. Sendo assim, alguns pontos serão destacados como perspectivas futuras:

1. Estudo do armazenamento do pó seco para verificar se as propriedades físicas e físico-químicas serão mantidas ao longo do tempo;
2. O estudo das isotermas de adsorção para prever o comportamento da cinética de secagem e as condições de armazenamento;
3. Realizar um estudo energético no secador, visando sua otimização e comparação com outros secadores;
4. Estudo econômico da secagem da polpa do noni a altas temperaturas e realizar a caracterização das propriedades físicas e físico-químicas do pó obtido.
5. A elaboração de um produto (medicamento) à base da polpa do noni em pó, para uso em seres humanos, onde seguindo as normas brasileiras deverá seguir as seguintes etapas:
  - Pesquisa experimental ou fase pré-clínica: Antes de começar os testes em seres humanos, os pesquisadores realizam testes em células e em animais.
  - Pesquisa clínica: Nesta fase o objetivo principal é testar a segurança e a eficácia deste novo medicamento em seres humanos.

## REFERÊNCIAS

- ABOU ASSI, R.; DARWIS, Y.; ABDULBAQI, I. M.; KHAN, A. A.; VUANGHAO, L.; LAGHARI, M. H. *Morinda citrifolia* (Noni): A comprehensive review on its industrial uses, pharmacological activities, and clinical trials. **Arabian Journal of Chemistry**, v. 10, n. 5, p. 691-707, 2015.
- ACHOUR, M. BRAVO, L. SARRIÁ, B. FREDJ, M. B. NOUIRA, M. MTIRAOU, A. SAGUEM, S. MATEOS, R. Bioavailability and nutrikinetics of rosemary tea phenolic compounds in humans. **Food Research International**, v. 139, 2021.
- ALBUQUERQUE, A. P. **Secagem da polpa de umbu-cajá com adição de cultura probiótica em leite de jorro e liofilizador**. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola), Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2021. 130 p.
- ALIZEHI, M. H. NIAKOUSARI, M. FAZAEI, M. IRAJI, M. Modeling of vacuum- and ultrasound-assisted osmodehydration of carrot cubes followed by combined infrared and spouted bed drying using artificial neural network and regression models. **Journal Food Process Engineering**, v. 43, n. 12, p. 1-16, 2020.
- ALMEIDA, T. C. SILVA, V. A. FERREIRA, H. S. Efeito do agente carreador na obtenção e caracterização do suco da laranja (*citrus sinensis*) por atomização. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 2, 2021.
- ALMEIDA, R. L. J.; SANTOS, N. C.; SILVA, V. M. A.; RIBEIRO, V. H. A.; LUIZ, M. R. BARROS, E. R.; NUNES, J. S.; NASCIMENTO, A. R. B.; CAVALCANTI, J. A.; NOGUEIRA, H. C. N. Obtaining powdered sweet potato in spouted bed and influence of drying temperature on physicochemical properties. **Research, Society and Development**, v. 9, n.4, 2020.
- ALMEIDA, A. R. F.; FREIRE, F. B.; FREIRE, J. T. Transient analysis of pasty material drying in a spouted bed of inert particles. **Drying Technology: An International Journal**, v. 28, n. 3, p. 330 – 340, 2010.
- ALMEIDA, A. R. F. **Análise da secagem de pastas em leite de jorro**. Tese (Doutorado em Engenharia Química), Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2009. 202p.
- ALVES, N. N.; SANCHO, S. O.; SILVA, A. R. A.; DESOBRY, S.; COSTA, J. M. C.; RODRIGUES, S. Spouted bed as an efficient processing for probiotic orange juice drying. **Food Research International**, v. 101, p. 54 – 60, 2017.
- 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, T. P.; NICOLETI, J. F. Influência das variáveis de processo sobre a secagem osmo convectiva de pimentão verde. **Rev. Bras. Tecnol. Agroindustrial**, v. 10, n. 1, p. 2022-2037, 2016.

ANUGWEJE, K. C. Micronutrient and phytochemical screening of a commercial *Morinda citrifolia* L. juice and a popular blackcurrant fruit juice commonly used by athletes in Nigeria. **World Rural Observ.** v. 7, n. 1, 40-48, 2015.

ARAUJO RODRIGUES, T. J. ALBUQUERQUE, A. P. SILVA, L. R. SILVA, H. A. PASQUALI, M. A. B. ARAUJO, G. T. ROCHA, A. P. T. Production of probiotic Cajá fruit (*Spondias mombin*) powder using *Bifidobacterium animalis* ssp. lactis B94 via spouted bed. **Food Science and Technology**, v. 42, 2022.

ARAÚJO, C. S. P.; ANDRADE, F. H. A.; GALDINO, P. O.; PINTO, M. S. C. Desidratação de batata-doce para produção de farinha. **Agropecuária Científica do Semiárido Campina Grande**, v. 11, n. 4, p. 33-41, 2015.

ARAUJO, A. D. A.; COELHO, R. M. D.; FONTES, C. P. M. L.; SILVA, A. R. A.; COSTA, J. M. C.; RODRIGUES, S. Production and spouted bed drying of acerola juice containing oligosaccharides. **Food and Bioproducts Processing**, v. 94, p. 565–571, 2015.

ARAÚJO, A. A. S.; MERCURI, L. P.; SEIXAS, S. R. S.; STORPIRTIS, S.; MATOS, J. R. Determinação dos teores de umidade e cinzas de amostras comerciais de guaraná utilizando métodos convencionais e análise térmica. **Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas**, v. 42, n. 2, 2006.

ARROTÉIA, D. R.; BARBALHO, B. G.; CARA, G. C.; RISOLÉO, V.; SANTOS, L. C.; TESTA, F. A. G.; CONDOTTA, R. Estudo do processo de secagem da linhaça em leito fluidizado e em leito de jorro. **The Journal of Engineering and Exact Sciences**, v. 3, n. 2, p. 215 – 224, 2017.

BAPTESTINI, F. M.; CORRÊA, P. C.; OLIVEIRA, G. H. H.; ALMEIDA, L. F. J.; VASGAS-ELÍAS, G. A. Constant and decreasing periods of pineapple slices dried by infrared. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 11, n. 1, p. 53-59, 2016.

BARBOSA, A.; COSTA, I. C. M.; ZUCOLOTTI, S. M., GIORDANI, R. Q. *Morinda citrifolia*: fatos e riscos sobre o uso do noni. **Revista Fitos**, v. 11, n.2, p. 119-249, 2017.

BARRET, N.; FANE, A. Drying liquid materials in a spouted bed. **Drying's 89**, Ed. A. A. Mujumdar, Hemisphere Publishing Corpo., New York, p. 415 – 420, 1990.

BARROS, H. C.; SILVA, N. M. M.; BRASIL, D. S. B.; FARIA, L. J. G. Secagem de noni em secador de radiação com lâmpadas refletoras, utilizando planejamento composto central rotacional. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 04, 2015.

BASAR, S.; UHLENHUT, K.; HOGGER, P.; SCHONE, F.; WESTENDORF, J. Analgesic and anti-inflammatory activity of *Morinda citrifolia* L. (Noni) fruit. **Phytotherapy research**, v. 24, p. 38-42, 2010.

BATISTA JÚNIOR, R.; SANTOS, K. G.; VIEIRA NETO, J. L. CFD-DEM simulation studies in a conical spouted bed. **Revista Brasileira de Ciência, Tecnologia e Inovação**, v. 4, n. 3, p. 284 – 294, 2019.

BATISTA, J. N. M.; BRITO, R. C.; BÉTTEGA, R. Influence of inlet air distributor geometry on the fluid dynamics of conical spouted beds: a CFD study. **Chemical Industry & Chemical Engineering Quarterly**, v. 24, n. 4, p. 369 – 378, 2018.

BEAUCHAT, L. Influence of  $a_w$  on growth, metabolic activities and survival of yeasts and molds. **Journal of Food Protection**, v. 46, n. 2, p. 135 – 141, 1983.

BELTRÃO, F. A. S.; SOUZA, K. P.; SILVA, J. M. Caracterização de noni (*Morinda Citrifolia* L). **Revista Engenharia Ambiental**, v. 11, n. 1, p. 38-44, 2014.

BEZERRA, M. R. S.; LIMA, F. M. T.; LIMA, H. A. S.; SANTOS, J. S.; GOMES FILHO, L. R. Revisão sobre aspectos toxicológicos da *Morinda citrifolia* (noni). In: **Congresso Brasileiro de Ciências da Saúde**, 2018, Campina Grande. Anais... Campina Grande: Editora Realize, 2018, v. 1, p. 1-9.

BEZERRA, C. V.; AMANTE, E. R.; OLIVEIRA, D. C.; RODRIGUES, A. M. C.; SILVA, L. H. M. Green banana (*Musa cavendishii*) flour obtained in spouted bed-effect of drying on physico-chemical, functional and morphological characteristics of the starch. **Industrial Crops and Products**, v. 41, p. 241–249, 2013.

BORTOLOTTI, C. T.; SANTOS, K. G.; FRANCISQUETTI, M. C. C.; DUARTE, C. R.; BARROZO, M. A. S. Hydrodynamic Study of a Mixture of West Indian Cherry Residue and Soybean Grains in a Spouted Bed. **The Canadian Journal of Chemical Engineering**, v. 9999, p. 1 – 10, 2013.

BORGES, K. C. AZEVEDO, J. C. MEDEIROS, M. F. CORREIRA, R. T. P. Physicochemical Characterization and Bioactive Value of Tropical Berry Pomaces after Spouted Bed Drying. **Journal of Food Quality**, v. 39, n. 3, p. 192 – 200, 2016.

BORGES, G. S. SGANZERLA, M. ZAMBIAZI, R. C. Caracterização química de frutos de butiá. 2006. In: Congresso de Ciências Farmacêuticas de Cascavel e Simpósio em Ciência e Tecnologia de Alimentos do Mercosul, 2., Cascavel, 2006. Anais. Cascavel: Unioeste.

BRAGA, M. B. MARTINS, T. D. LOUZI, V. C. GIANNELLA, R. L. FUHITA, V. K. ROCHA, S. C. Spouted bed drying of milk–blackberry mixture: Material thermal properties and process energy aspects. **Journal of Food Process Engineering**, v. 44, n. 5, 2021.

BRAGA, M. B. ROCHA, S. C. S. Spouted Bed Drying of Milk–Blackberry Pulp: Analysis of Powder Production Efficiency and Powder Characterization. **Drying Technology**, v. 33, n. 8, p. 933-940, 2015.

BRAGA, M. B. **Obtenção de mistura leite-amora preta em pó por secagem em leito de jorro**. Tese (Doutorado em Engenharia Química), Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2014. 187p.

BRAGA, M. B.; ROCHA, S. C. S. Drying of milk-blackberry pulp mixture in spouted bed. **The Canadian Journal of Chemical Engineering**, v. 91, p. 1786 – 1792, 2013.

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

BRASIL. Ministério da Saúde. **Política Nacional de Práticas Integrativas e Complementares no SUS**. 2ª Edição, Brasília-DF. 2015.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Resolução da Diretoria Colegiada - **RDC nº 26**, de 13 de maio de 2014. Dispõe sobre o registro de medicamentos fitoterápicos e o registro e a notificação de produtos tradicionais fitoterápicos.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Atenção à Saúde. Departamento de Atenção Básica. *Práticas integrativas e complementares: plantas medicinais e fitoterapia na Atenção Básica*. Brasília: Ministério da Saúde, 156 p. 2012.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Informe Técnico n. 25, de maio de 2007. Esclarecimentos sobre as avaliações de segurança realizadas de produtos contendo *Morinda citrifolia*, também conhecida como noni.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Ciência, Tecnologia e Insumos Estratégicos. Departamento de Assistência Farmacêutica. *Política Nacional de Plantas Mediciniais e Fitoterápicos*. Série B. Textos Básicos de Saúde. Brasília: Ministério da Saúde, 2006.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Decreto nº 5.813**, de 22 de junho de 2006. Aprova Política Nacional de Plantas Mediciniais e Fitoterápicos. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 22 jun. 2006b.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Resolução de Diretoria Colegiada - **RDC nº 218**, de 29 de julho de 2005. Dispõe sobre o Regulamento Técnico de Procedimentos Higiênico-Sanitários para Manipulação de Alimentos e Bebidas Preparados com Vegetais.

BRASIL. Presidência da República. **Decreto-Lei nº 986**, de 21 de outubro de 1969. Institui normas básicas sobre alimentos. Órgão emissor: Ministros da Marinha de Guerra, do Exército e da Aeronáutica Militar.

BRITO, R. C.; SOUSA, R. C.; BÉTTEGA, R.; FREIRE, F. B.; FREIRE, J. T. Analysis of the energy performance of a modified mechanically spouted bed applied in the drying of alumina and skimmed milk. **Chemical Engineering & Processing: Process Intensification**, v. 130, p. 1–10, 2018.

BRITO, R. C.; PÁDUA, T. F.; FREIRE, J. T.; BÉTTEGA, R. Effect of mechanical energy on the energy efficiency of spouted beds applied on drying of sorghum [*Sorghum bicolor* (L) Moench]. **Chemical Engineering and Processing**, v.117, p. 95 – 105, 2017.

BUENO, M. J. A.; MARTÍNEZ, B. B.; BUENO, J. C. *Manual de Plantas Mediciniais e Fitoterápicos: Utilizados na cicatrização de feridas*. 4. ed. **Univás**, 2016. 136p.

CALIXTO, J. B. Efficacy, safety, quality control, marketing and regulatory guidelines for herbal medicines (phytotherapeutic agents). **Brazilian Journal of Medical and Biological Research**, v. 33, n. 2, p. 179 – 189, 2000.

CANUTO, G. A. B.; XAVIER, A. A. O.; NEVES, L. C.; BENASSI, M. T. Caracterização físico-química de polpas de frutos da Amazônia e sua correlação com a atividade anti-radical livre. **Revista Brasileira Frutic.**, v. 32, n. 4, p. 1196 – 1205, 2010.

CARR, M. E.; KLOTZ, J.; BERGERON, M. Coumadin Resistance and the Vitamin Supplement "Noni". **American Journal of Hematology**, v. 77, p. 103–104, 2004.

CARRILLO-LÓPEZ, A.; YAHIA, E. M. Noni (*Morinda citrifolia* L.). Woodhead Publishing Series in Food Science, **Technology and Nutrition**, p. 51-62, 2011.

CASTRO, D. S.; OLIVEIRA, T. K. B.; LEMOS, D. M.; ROCHA, A. P. T.; ALMEIDA, R. D. Effect of temperature on the physicochemical composition and bioactive compounds of taro flour obtained in a spouted bed. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 20, 2017.

CECCHI, H. M. **Fundamentos teóricos e práticos em análise de alimentos**. 2. ed. Campinas: Editora Unicamp, 2003.

CELESTINO, S. M. C. Princípios de Secagem de Alimentos. 2010. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA. **Documentos 276**. ISSN 1517-5111.

CHAN-BLANCO, Y.; VAILLANT, F.; PEREZ, A. M.; REYNES, M.; BRILLOUET, J. BRAT, P. The noni fruit (*Morinda citrifolia* L.): A review of agricultural research, nutritional and therapeutic properties. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 19, p. 645 – 654, 2006.

CHANTHIRA KUMAR, H.; LIM, X. Y.; MOHKIAR, F. H.; SUHAIMI, S. N.; SHAFIE, N. M.; CHIN TAN, T. Y. Efficacy and Safety of *Morinda citrifolia* L. (Noni) as a Potential Anticancer Agent. **Integrative Cancer Therapies**, v. 21, 2022.

CHIELLE, D. P.; BERTUOL, D. A.; MEILI, L.; TANABE, E. H.; DOTTO, G. L. Spouted bed drying of papaya seeds for oil production. **Food Science and Technology**, v. 65, p. 852-860, 2016.

CORREIA, A. A. S.; GONZAGA, M. L. C.; AQUINO, A. C.; SOUZA, P. H. M.; FIGUEIREDO, R. W.; MAIA, G. A. Caracterização química e físico-química da polpa do noni (*Morinda citrifolia*) cultivado no estado do Ceará. **Alimentos e Nutrição**, v. 22, n. 4, p. 609-615, 2011.

COSTA, R. G.; ANDREOLA, K.; MATTIETTO, R. A.; FARIA, L. J. G.; TARANTO, O. P. Effect of operating conditions on the yield and quality of açai (*Euterpe oleracea* Mart.) powder produced in spouted bed. **Food Science and Technology**, v. 64, p. 1196-1203, 2015.

CUNHA-SANTOS, E. C. E.; VIGANÓ, J.; NEVES, D. A.; MARTÍNEZ, J.; GODOY, H. T. Vitamin C in camu-camu [*Myrciaria dubia* (H.B.K) McVaugh]: evaluation of

extraction and analytical methods. **Food Research International**, v. 115, p. 160-166, 2019.

DAMODARAN, S. PARKIN, K. L. FENNEMA, O. R. Química de Alimentos de Fennema. 4. ed. Artmed, 2010. 900p.

DANTAS, S. C. M.; PONTES JUNIOR, S. M.; MEDEIROS, F. G. M.; SANTOS JUNIOR, L. C.; ALSINA, O. L. S.; MEDEIROS, M. F. D. Spouted-bed drying of acerola pulp (*Malpighia emarginata* DC): Effects of adding milk and milk protein on process performance and characterization of dried fruit powders. **Journal of Food Process Engineering**, v. 42, n. 6, p. 1-13, 2019.

DANTAS, T. N. P. **Influência das propriedades físicas de graviola e aditivos na secagem em leito de jorro com alimentação intermitente**. Tese (Doutorado em Engenharia Química), Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2018. 122p.

DANTAS, T. N. P.; MORAES FILHO, F. C.; SOUZA, J. S.; OLIVEIRA, J. A.; ROCHA, S. C. S.; MEDEIROS, M. F. D. Study of model application for drying of pulp fruit in spouted bed with intermitente feeding and accumulation. **Drying Technology**, v. 36, n. 11, P. 1349 – 1366, 2018.

DE LA CRUZ-SÁNCHEZ, N. G.; GÓMEZ-RIVERA, A.; ALVAREZ-FITZ, P.; VENTURA-ZAPATA, E.; PÉREZ-GARCÍA, M. D.; AVILÉS-FLORES, M.; GUTIÉRREZ-ROMÁN, A. S.; GONZÁLEZ-CORTAZAR, M. Antibacterial activity of *Morinda citrifolia* Linneo seeds against Methicilling-Resistant *Staphylococcus spp*. **Microbial Pathogenesis**, v. 128, p. 347-353, 2019.

DENG, S.; WEST, B. J.; JENSEN, J. C. A quantitative comparison of phytochemical components in global noni fruits and their commercial products. **Food Chemistry**, v. 122, n.1, p. 267 – 270, 2010.

DUSSOSSOY, E.; BICHON, F.; BONY, E.; PORTET, K.; BRAT, P.; VAILLANT, F.; MICHEL, A.; POUCHERET, P. Pulmonary anti-inflammatory effects and spasmolytic properties of Costa Rican noni juice (*Morinda citrifolia* L.). **Journal of Ethnopharmacology**, v. 192, p. 264-272, 2016.

EISENBERG, D. M.; DAVIS, R. B.; ETTNER, S. L.; APPEL, S.; WILKEY, S.; VAN ROMPAY, M.; KESSLER, R. C. Trends in Alternative Medicine Use in the United States. **JAMA**, v. 280, n. 18, p. 1569-1575, 1998.

EVIN, D. Spouted Bed Drying Characteristics of Rosehip (*Rosa Canina* L.). **International Journal of Engineering and Natural Sciences (IJENS)**, v. 2, n. 1, 2019.

FARIAS, E. T. R.; SANTOS, A. F. S.; LOPES, M. F.; BEZERRA, J. M.; SILVA, F. V. G. Compostos bioativos e capacidade antioxidante em frutos de noni (*Morinda citrifolia* Linn). **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 15, n. 1, 2020.

FARIA, W. C. S.; BETT, S. C.; SANTOS, C. G. B.; BRASIL, A. S.; GAUTO, R. F.; SELHORST, A. M.; ET A. L. Physicochemical characterization and preliminar

phytochemical analysis of the noni fruit (*Morinda citrifolia* L.) produced in Cuiaba city-MT. **Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial**, v. 1, n. 8, p. 1208-1215, 2014.

FERRADAS, M. D. P. C.; ABANTO, A. S. A.; REYES, S. G. R. Efecto analgesic postexodoncia simples del extracto de *Morinda citrifolia* (noni): Ensayo clínico aleatorizado de grupos em paralelo. **Journal Odontostomat.**, v. 8, n. 3, p. 433 – 438, 2014.

FERRARI, C. C.; RIBEIRO, C. P.; AGUIRRE, J. M. Secagem por atomização de polpa de amora-preta usando maltodextrina como agente carreador. **Brazilian Journal of Food Technology** v. 15, n. 2, p. 157-165, 2012.

FOUST, A. S.; WENZEL; CLUMP; MAUS; ANDERSEN. Princípios de Operações Unitárias. Tradução de Horácio Macedo. 2. Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012. 670p.

FRANÇA, I. S. X.; SOUZA, J. A.; BAPTISTA, R. S.; BRITO, V. R. S. Popular medicine: benefits and drawbacks of medicinal plants. **Revista Brasileira de Enfermagem**, v. 61, n. 2, p. 201-208, 2008.

FREIRE, J. T.; FERREIRA, M. C.; FREIRE, F. B.; NASCIMENTO, B. S. A review on paste drying with inert particles as support medium. **Drying Technology: An International Journal**, v. 30, n. 4, p. 330 – 341, 2012.

FUJITA, A.; BORGES, K.; CORREIA, R.; FRANCO, B. D. G. M.; GENOVESE, M. I. Impact of spouted bed drying on bioactive compounds, antimicrobial and antioxidante activities of comercial frozen pulp of camu-camu (*Myrciaria dúbia* Mc. Vaugh). **Food Research International**, v. 54, p. 495 – 500, 2013.

FUJIWARA, Y.; KONO, M.; ITO, A.; ITO, M. Anthocyanins in perilla plants and dried leaves. **Phytochemistry**, v. 147, p. 158-166, 2018.

GONELI, A. L. D.; VIEIRA, M. C.; VILHASANTI, H. C. B.; GONÇALVES, A. A. Modelagem matemática e difusividade efetiva de folhas de aroeira durante a secagem. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 44, n. 1, p. 56-64, 2014.

GUPTA, R. K.; PATEL, A. K. D. The health claims made for *Morinda citrifolia* (noni) harmonize with current scientific knowledge and evaluation of its biological effects. **Asian Pacific Journal Cancer Prevention**, v. 14, n. 8, p. 4495-4499, 2013.

GURGEL, C. E. M. R.; DIEB, J. T.; MACHADO, A. K. T.; MEDEIROS, M. F. D. Secagem da polpa de graviola (*Annona muricata* L.) em camada de espuma: avaliação dos parâmetros de secagem. In: XXXVII ENEMP - **Congresso Brasileiro de Sistemas Particulados**. São Carlos, SP: Universidade Federal de São Carlos, 2015.

HAMEDI, S. AFSABI, M. M. RIACHI-MADVAR, A. MOHEBBI, A. Modeling and optimization of radish root extract drying as *peroxidase* source using spouted bed dryer. **Scientific Reports**, v. 11, p. 1 – 11, 2021.

HSU, P.; SHIA, C.; WU, C.; CHANG, N.; CHAO, P. L.; HOU, Y. Noni increased the systemic exposure of methotrexate in rats through inhibition on multi-drug resistance

protein 2 (MRP 2) and breast cancer resistance protein (BCRP). **Journal of functional Food**, v. 5, n. 3, p. 1414-1420, 2013.

HUANG, D. HUANG, W. HUANG, S. ZHOU, F. GONG, G. LI, L. SUNDEN, B. Applications of spouted bed technology in the drying of food products. *Food Science and Tecnology*, v. 182, 2023.

IAL. Instituto Adolfo Lutz. **Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz: métodos químicos e físicos para análise de alimentos**. 1 ed. online. São Paulo, 1020 p. 2008.

IGUAL, M.; RAMIRES, S.; MOSQUERA, L. H.; MARTÍNEZ-NAVARRETE, N. Optimization of spray drying conditions for lulo (*Solanum quitoense* L.) pulp. **Powder Technology**, v. 256, p. 233–238, 2014.

INSANG, S. KIJPATANASILP, I. JAFARI, S. ASSATARAKUL, K. Ultrasound-assisted extraction of functional compound from mulberry (*Morus alba* L.) leaf using response surface methodology and effect of microencapsulation by spray drying on quality of optimized extract. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 82, p. 1058 – 1056, 2022.

JAY, J. M. LOESSNER, M. J. GOLDEN, D. A. **Modern Food Microbiology**. 7. Ed. Springer New York, 2005. 790p.

JAYATUNGA, G. K.; AMARASINGHE, B. M. W. P. K. Drying kinetics, quality and moisture diffusivity of spouted bed dried Sri Lankan black pepper. **Journal of Food Engineering**, v. 263, p. 38-45, 2019.

JIN, M.; WANG, Y.; YANG, X.; YIN, H.; NIE, S.; WU, X. Structure characterization of a polysaccharide extracted from Noni (*Morinda citrifolia* L.) and its protective effect against DSS-induced Bowel Disease in Mice. **Food Hydrocolloids**, v. 90, p. 189-197, 2019.

KAMIYA, K.; HAMABE, W.; TOKUYAMA, S.; HIRANO, K.; SATAKE, T.; KUMAMOTO-YONEZAWA, K.; YOSHIDA, H.; MIZUSHINA, Y. Inhibitory effect of anthraquinones isolated from the noni (*Morinda citrifolia*) root on animal A-, B- and Y-families of DNA polymerases and human cancer cell proliferation. **Food Chemistry**, v. 118, p. 725–730, 2010.

KORESE, J. K. ACHAGLINKAME, M. A. Exploring effects of slice thickness, pretreatment and drying air temperature on nutritional, functional and pasting properties of *Gardenia erubescens* Stapf. & Hutch. fruit powder. **Journal of Agriculture and Food Research**, v. 8, 2022.

KRISHNAIAH, D. BONO, A. SARBATLY, R. NITHYANANDAM, R. ANISUZZAMAN, S. M. Optimisation of spray drying operating conditions of *Morinda citrifolia* L. fruit extract using response surface methodology. *Journal of King Saud University - Engineering Sciences*, v. 27, n. 1, p. 26-36, 2015.

KRISHNAIAH, D.; NITHYANANDAM, R.; SARBATLY, R. Phytochemical constituents and activities of *Morinda citrifolia* L. In: Rao, v. (Ed.), **Phytochemicals – A Global Perspective of Their Role in Nutrition and Health**, p. 127 – 150, 2012.

KRISHNAIAH, D.; SARBATLY, R.; RAM MOHAN RAO, S.; NITHYANANDAM, R. R. Optimal Operating Conditions of Spray Dried Noni Fruit Extract using k-carrageenan as adjuvant. **Journal of Applied Sciences**, v. 9, n. 17, p. 3062 – 3067, 2009.

KUMAR, H. C.; LIM, X. Y.; MOHKIAR, F. H.; SUHAIMI, S. N.; SHAFIE, N. N.; TAN, T. Y. C. Efficacy and Safety of *Morinda citrifolia* L. (noni) as a Potential Anticancer Agent. **Integrative Cancer Therapies**, v. 21, p. 1-20, 2022.

KUMAR, Y. SINGH, L. SHARANAGAT, V. S. MANI, S. KUMAR, S. KUMAR, A. Quality attributes of convective hot air dried spine gourd (*Momordica dioica* Roxb. Ex Willd) slices. **Food Chemistry**, v. 347, 2021.

LARROSA, A. P. Q.; CAMARA, A. S.; POHNDORF, R. S.; ROCHA, S. F.; PINTO, L. A. A. Physicochemical, biochemical, and thermal properties of Arthrospira (Spirulina) biomass dried in spouted bed at different conditions. **Journal of Applied Phycology**, v. 30, n. 2, p. 1019 – 1029, 2017.

LEE, D; YU, J. S.; HUANG, P.; QADER, M; MANAVALAN, A.; WU, X.; KIM, J. C.; PANG, C.; CAO, S.; KANG, K. S.; KIM, K. H. Identification of Anti-Inflammatory Compounds from Hawaiian Noni (*Morinda citrifolia* L.) **Fruit Juice. Molecules**, v. 25, n. 21, 2020.

LEITE NETA, M. T. S.; JESUS, M. S.; SILVA, J. L. A. S.; ARAUJO, H. C. S.; SANDES, R. D. D.; SHANMUGAN, S.; NARAIN, N. Effect of spray drying on bioactive and volatile compounds in soursop (*Annona muricata*) fruit pulp. **Food Research International**, v.124, p. 70-77, 2019.

LESCANO, C. A. A. **Análise da secagem de resíduo de leite de soja “okara” em secadores de leite de jorro e de cilindro rotativo assistido a micro-ondas**. Tese (Doutorado em Engenharia Química), Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2009. 163p.

LEWIS LUJÁN, L. M.; ILOKI ASSANGA, S. B.; RIVERA-CASTAÑEDA, E. G.; GIL-SALIDO, A. A.; ACOSTA-SILVA, A. L.; MEZA-CUETO, C.Y.; RUBIO-PINO, J. L. Nutritional and phenolic composition of *Morinda citrifolia* L. (noni) fruit at different ripeness stages and seasonal patterns harvested in Nayarit, Mexico. **International Journal of Food Sciences and nutrition**, v. 3, n. 5, 421- 429, 2014.

LI, L.; PAN, H. CHEN, J. CAO, W. LIU, W. DUAN, X. REN, G. Infrared-assisted spouted bed drying of Chinese yam cubes: effect of constant and variable temperature drying processes on drying behavior, uniformity, and quality attributes. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 103, n. 6, p. 2815-2823, 2023.

LIMA, M M. CRUZ, W. P. RANKE, B. S. MORAES, R. P. COUTINHO, R. M. P. Efeito da concentração do solvente na capacidade de extração de pigmentos antocianinas. **Enciclopédia Biosfera**, v. 17, n. 34, p. 197 – 204, 2020.

LINS, A. D. F.; ROCHA, A. P. T.; GOMES, J. P. FEITOSA, R. M.; ARAUJO, G. T.; SANTOS, D. C. Adsorption isotherms of the red mombin powder produced in spouted

bed dryer. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 21, n. 8, p. 562 – 567, 2017.

LIU, X.; GAN, J.; ZHONG, W.; YU, A. Particle shape effects on dynamic behaviors in a spouted bed: CFD-DEM study. **Powder Technology**, v. 361, p. 349 – 362, 2019.

LOPES, M. M. A.; SANCHES, A. G.; SOUSA, J. A.; SILVA, E. O. Noni - *Morinda citrifolia* L. **Exotic Fruits Reference Guide**, Academic Press, p. 319 – 325, 2018.

LUCAS, B. F.; ZAMBIAZI, R. C.; COSTA, J. A. V. Biocompounds and physical properties of açai pulp dried by different Methods. **Food Science and Technology**, v. 98, p. 335 – 340, 2018.

MADRAU, M. A. SANGUINETTI, A. M. DEL CARO, A. POIANA, M. ROMEO, F. V. PIGA, A. Effect of drying temperature on polyphenolic content and antioxidant activity of apricots. **European Food Research and Technology**, v. 228, 2009.

MACPHERSON, H.; DANIELLS, J.; WEDDING, B.; DAVIS, C. The potential for a new value adding industry for noni tropical fruit producers. **Australian Government Rural Industries Research and Development Corporation**. Publication n. 07/132, p 55, 2007.

MAHANTHESH, M.C.; MANJAPPA, A. S.; SHINDHE, M.V.; JAMKHANDI, C. M.; JALAPURE, S. S.; PATIL, S. S. *Morinda citrifolia* Linn; a medicinal plant with diverse phytochemicals and its medicinal relevance. **World J. Pharmaceutical Research**, v. 3, n. 1, p. 215-232, 2013.

MATHUR, G.; EPSTEIN, N. **Spouted Beds**. Academic Press: New York, 1974.

MATHUR, K. B., GISHLER, P. E. A technique of contacting gases with coarse solids Particles. **AIChE Journal**, v. 1, n. 2, p.157-164, 1955.

MEDEIROS, M. F. D. **Influência da composição química dos materiais no desempenho do processo de secagem de polpas de frutas em leito de jorro**. Tese (Doutorado em Engenharia Química), Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2001. 274p.

MEDEIROS, M. F. D.; ALSINA, O. L. S.; ROCHA, S. C.; JERÔNIMO, C. E. M.; MATA, A. L. M. L.; MEDEIROS, U. K. L.; FURTUNATO, A. A. Escoabilidade de leitos de partículas inertes com polpa de frutas tropicais. Efeitos na secagem em leito de jorro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 5, n. 3, p. 475 – 480, 2001.

MENG, L.; ZHU, J.; MA, Y.; SUN, X.; LI, D.; LI, L.; BAI, H.; XIN, G.; MENG, X. Composition and antioxidant activity of anthocyanins from *Aronia melanocarpa* cultivated in Haicheng, Liaoning, China. **Food Bioscience**, v. 30, 2019.

MERCALI, G. D.; JAESCHKE, D. P.; TESSARO, I. C.; MARCZAK, L. D. F. Study of vitamin C degradation in acerola pulp during ohmic and conventional heat treatment. **Food Science and Technology**, v. 47, p. 91-95, 2012.

MIRANDA, D. S. A.; PESSOA, T.; FIGUÊREDO, R. M. F.; GURJÃO, F. F.; RUBENS MACIEL MIRANDA PINHEIRO, R. M. M.; MARTINS, A. G. L. A. Elaboração e caracterização de néctar de abacaxi pérola adoçado com glucose de milho. **Agropecuária Técnica**, v.36, n. 1, p. 82-87, 2015.

MIRELES-ARRIAGA, A. I.; RUIZ-LÓPEZ, I. I.; HERNÁNDEZ-GARCÍA, P. A.; ESPINOSA-AYALA, E.; LÓPEZ-MARTÍNEZ, L. X.; MÁRQUEZ-MOLINA, O. The impact of convective drying on the color, phenolic content and antioxidant capacity of noni (*Morinda citrifolia* L.), **Food Sci. Technol**, v. 36, n. 4, 2016.

MOLLICK, P. P.; PANDIT, A. B.; VIJAYAN, P. K. Parameters Affecting Efficient Solid Circulation Rate in Draft Tube Spouted Bed. **Industrial & Engineering Chemistry Research**, v. 57, n. 25, p. 8605 – 8611, 2018.

MORAES, K.; PINTO, L. A. A. Protein quality of dried enzymatic hydrolysate from anchovy produced in a spouted bed of inert particles. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 50, p. 819 – 825, 2015.

MORALES-LOZOYA, V.; ESPINOZA-GÓMEZ, H.; FLORES-LÓPEZ, L. Z.; SOTELO-BARRERA, E. L.; NÚÑEZ-RIVERA, A.; CADENA-NAVA, R. D.; ALONSO-NUÑEZ, G.; RIVERO, I. A. Study of the effect of the different parts of *Morinda citrifolia* L. (noni) on the green synthesis of silver nanoparticles and their antibacterial activity. **Applied Surface Science**, v. 537, 2021.

MORTON, J. F. The ocean-going Noni, or Indian mulberry (*Morinda citrifolia*, Rubiaceae) and some of its ‘colorful’ relatives. **Economic Botany**, v. 46, n. 3, p. 241-256, 1992.

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. **Food Science and Technology**, v. 61, p. 80 – 88, 2015.

NARASINGAM, M.; VIJEEPALLAM, K.; MOHAMED, Z.; PANDY, V. Anxiolytic and antidepressant-like activities of a methanolic extract of *Morinda citrifolia* Linn. (noni) fruit in mice: Involvement of benzodiazepine- GABA<sub>A</sub>ergic, serotonergic and adrenergic systems. **Biomedicine & Pharmacotherapy**, v. 96, p. 944-952, 2017.

NASCIMENTO, R. A.; ANDRADE, E. L.; SANTANA, E. B.; RIBEIRO, N. F. P.; COSTA, C. M. L. FARIA, L. J. G. Bacaba powder produced in spouted bed: an alternative source of bioactive compounds and energy food product. **Brazilian Journal Food Technology**, v. 22, 2019.

NASCIMENTO, S. P. **Estudo da secagem do noni (*Morinda citrifolia* L.) em camada de espuma (foam- mat drying)**. 79 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2018.

NASCIMENTO, L. D.; CORUMBÁ, L. G.; ROCHA, S. C. S.; TARANTO, O. P.; COSTA, C. M. L.; FARIA, J. G. Fluid-dynamics evaluation in a conical spouted bed and characterization of foxtail millet seeds. **Particuology**, v. 23, p. 75 – 81, 2015.

NEHA, K.; HAIDER, M. R.; PATHAK, A.; YAR, M. S. Medicinal prospects of antioxidants: A review. **European Journal of Medicinal Chemistry**, v. 178, p. 687 – 704, 2019.

NELSON, S. C.; ELEVITCH, C. R. **Noni: The complete Guide for consumers and growers**. 1 ed. Holualoa: PAR, 2006. 104p.

NERY, K. A.; ARAUJO, R. O.; BRAGA, T. R.; OLIVEIRA, M. M. T.; TORRES, L. B. V.; SILVA, L. R. Caracterização física e físico-química de frutos do noni (*Morinda citrifolia* L.) cultivados em Fortaleza-CE. **Revista Cascavel**, v. 6, n.1, p. 17 – 24, 2013.

NUALSANIT, T.; ROJANAPANTHU, P.; GRITSANAPAN, W.; LEE, S. LAWSON, D. BAEK, S. J. Damnacanthal, a noni component, exhibits antitumorigenic activity in human colorectal cancer cells. **Journal of Nutritional Biochemistry**, v. 23, p. 915–923, 2012.

OCHOA-MARTINEZ, L. A.; BRENNAN, J. G.; NIRANJAN, K. Spouted bed dryer for liquid foods. **Food Control**, v. 4, n. 1. 1993.

OLIVEIRA JÚNIOR, A. M. SANTOS, J. T. S. SOUZA, D. F. S. Evaluation of different drying models for jaboticaba peel, dried in spouted bed dryer through performance indicators and the impact on anthocyanins, **Scientia Plena**, v. 14, n. 6, 2018.

OLIVEIRA, B. F.; NEGREIROS, J. K. S.; BONFIM, K. S.; CAVALCANTE, J. A. PINTO, M. F.; COSTA, N. A. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 4, p. 1 – 27, 2020.

OLIVEIRA, A. S.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M.; BRITO, J. G. Estabilidade da polpa do *Cereus jamacaru* em pó durante o armazenamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.19, n.2, p.147-153, 2015.

PAIVA, E. M. O.; MEDEIROS, A. L. Q.; MEDEIROS, M. F. D.; DANTAS, J. M. M. Produção de pó de beterraba pelo secador leito de jorro com diferentes quantidades de adjuvantes. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 6, 2021.

PALIOTO, G. F.; SILVA, C. F. G.; MENDES, M. P.; ALMEIDA, V. V.; ROCHA, C. L. M. S. C.; TONIN, L. T. D. Composição centesimal, compostos bioativos e atividade antioxidante de frutos de *Morinda citrifolia* Linn (noni) cultivados no Paraná. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 17, n. 1, p. 59-66, 2015.

PALU, A. K.; WADSWORTH, J. R.; KASTELER, D.; SMITH, J. Knowing your whole noni (*Morinda citrifolia* L.) fruits eliminates confusion. **Regulatory Toxicology and Pharmacology**, v. 88, p. 362-363, 2017.

PAREDE, M. M. MILLER, S. SIDERHURST, M.S. Mudanças voláteis na fruta havaiana noni, *Morinda citrifolia* L., durante o amadurecimento e a fermentação. **Jornal Scientia Agrícola Alimentar**, v. 98, p. 3391 – 3399, 2018.

PATEL, K.; BRIDGWATER, J.; BAKER, C. G. J.; SCHNEIDER, T. Spouting behavior of wet solids. In MUJUMDAR, A. S.; ROQUES, M. A. **Drying' 86**, eds. Hemisphere Publishing Corporation, New York, p. 183-189, 1986.

PATIL, P. MADKAIKAR, H. SHAH, N. *Morinda citrifolia*L. (Noni) - Its ethnobotanical knowledge, phytochemical studies, pharmacological aspects, and future prospects. **International Journal of Novel Research and Development**, v.7, n.3, p.331-352, 2022.

PAWLUS, A. D.; KINGHORN, D. Review of the ethnobotany, chemistry, biological activity and safety of the botanical dietary supplement *Morinda citrifolia* (noni). **Journal of Pharmacy and Pharmacology**, v. 59, n. 12, p. 1587 – 1609, 2007.

PERAZZINI, M. B. T.; FREIRE, F. B.; FERREIRA, M. C.; FREIRE, J. T. Stability and performance of a spouted bed in drying skimmed milk: Influence of the cone angle and air inlet device. **Drying Technology: An International Journal**, v. 36, n. 3, p. 341 – 354, 2017.

PEREIRA, T. S. Estudo da secagem de polpa de juá (*Ziziphus joazeiro*) em leito de jorro. Tese (Doutorado em Engenharia Química), Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2020. 150p.

PEREIRA, N. R.; GODOI, F. C.; ROCHA, S. C. S. Drying of starch suspension in spouted bed with inert particles: physical and thermal analysis of product. **Drying Technology**, v. 28, n. 11, p. 1288–1296, 2010.

PEIXOTO, M. M. **Prospecção de propriedades físicas e químicas e da atividade antioxidante do fermentado de noni (*Morinda citrifolia*)** **Prospecting of physical and chemical properties and antioxidant activity of noni (*Morinda citrifolia*)**. 72p. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciências de Alimentos), Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Itapetinga, 2017.

PHAM, Q. T. Behaviour of a conical spouted-bed dryer for animal blood. **The Canadian Journal of Chemical Engineering**, v. 61, 1983.

PINO, J. A.; MÁRQUEZ, E.; CASTRO, D. Volatile and non-volatile acids of noni (*Morinda citrifolia* L.) fruit. **Journal Science Food Agriculture**, v. 88, n. 7, p. 1247-1249, 2009.

POLA, C. C. JUNQUEIRA, M. S. CARVALHO, R. S. TEIXEIRA, L. J. Q. SARAIVA, S. H. Efeito do processamento na capacidade antioxidante do noni (*Morinda citrifolia*). **Enciclopédia Biosfera**, v. 7, p. 1-16, 2011.

PORRAS-SAAVEDRA, J. PALACIOS-GONZÁLEZ, E. LARTUNDO-ROJAS, L. GABRIBAY-FEBLES, V. YÁÑES-FERNÁNDEZ, J. HERNÁNDEZ-SÁNCHEZ, H. GUTIÉRREZ-LÓPEZ, G. ALAMILLA-BELTRÁN, L. Microstructural properties and distribution of components in microparticles obtained by spray-drying. **Journal of Food Engineering**, v. 152, 2015.

PRATAP, U. P.; HIMA, L.; PRIYANKA, H. P.; THYAGARAJAN, S. Noni (*Morinda citrifolia* L.) fruit juice reverses age-related decline in neural-immune interactions in the spleens of old F344 rats. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 198, p. 363–371, 2017.

QUEK, S. Y.; CHOK, N. K.; SWEDLUND, P. The physicochemical properties of spray-dried watermelon powder. **Chemical Engineering and Processing: Process Intensification**, v. 46, n. 5, 2007.

QUEIROZ, V. A. V.; BERBERT, P. A.; MOLINA, M. A. B.; GRAVINA, G. A.; QUEIROZ, L. R.; DELIZA, R. Desidratação por imersão-impregnação e secagem por convecção de goiaba. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 10, p. 1479-1486, 2007.

RAMPAZZO, M. C.; NUNES, R. C. S.; DUTRA, F. V.; LEITE, G. S. L. CARDOSO, A. D. **Physiochemical Characteristics of noni fruits**. III Congresso Internacional das Ciências Agrárias, 2018.

RANGANA, S. **Manual of analysis of fruit and vegetable products**. Editora:Tata McGraw Hill, 1979.634p.

RE, R.; PELLEGRINI, N.; PROTEGGENTE, A.; PANNALA, A.; YANG, M.; RICE-EVANS, C. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. **Free Radical Biology and Medicine**, v. 26, p. 1231-1237, 1999.

REGAL, A. L.; ALVES, V.; GOMES, R.; MATOS, J. BANDARRA, N. M.; AFONSO, C.; CARDOSO, C. Drying process, storage conditions, and time alter the biochemical composition and bioactivity of the antigreenhouse seaweed *Asparagopsis taxiformis*. **European Food Research and Tecnology**, v. 246, p. 781 – 793, 2020.

RIBEIRO, L. H. L. Analysis of medicinal plant and herbal medicine programs in the Unified Health System (SUS) from the territorial perspective. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 24, n. 5, p.1733-1742, 2019.

RIBEIRO, V. H. A.; BARROS, S. L.; SANTOS, N. C.; SILVA, V. M. A.; MELO, M. O. P.; NASCIMENTO, A. P. S. Influência da temperatura sobre a composição físico-química de noni desidratado (*Morinda citrifolia* L.). **II Congresso Paraibano de Agroecologia**, Lagoa Seca/PB, Brasil, v. 9, n. 7, 2019.

ROCHA, S. C. S.; SOUZA, J. S.; ALSINA, O. L. S.; MEDEIROS, M. F. D. Drying of Tropical Fruit Pulp: Spouted Bed Process Optimization as a Function of Pulp Composition. **Drying Technology: An International Journal**, v. 29, n. 13, p. 1587 – 1599, 2011.

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

RODRÍGUEZ, N. S.; WONG, M. B.; PÉREZ-SAAD, H.; FERNÁNDEZ, G. L. SCULL, I. Efecto del zumo de *Morinda citrifolia* L. (noni) en modelos de analgesia. **Revista Cubana de Plantas Medicinales**, v. 17, n. 3, p. 213-222, 2012.

RUFINO, M. S. M.; ALVES, R. E.; BRITO, E. S.; SAMPAIO, C. G.; PÉREZ-JIMENEZ, J.; SAURA-CALIXTO, F. D. Metodologia Científica: Determinação da Atividade

Antioxidante Total em Frutas pela Captura do Radical Livre ABTS<sup>+</sup>. EMBRAPA: **Comunicado Técnico** 128, 2007.

SANTHOSH A. M.; RAMA, R. N.; DEEPTHI, B. L.; PRASANNA, J. S.; PRABHA, M. Ashyuka: A hub of medicinal values. **International Journal of Biological & Pharmaceutical Research**, v. 4, n. 12, p. 1043-1049, 2013.

SANTOS, J. T. S.; LEITE, J. V.; ANJOS, D. A.; OLIVEIRA, P. N.; OLIVEIRA JÚNIOR, A. M.; SOUZA, D. F. S. Evaluation of different drying models for jaboticaba peel, dried in spouted bed dryer through performance indicators and the impact on anthocyanins. **Scientia Plena**, v. 14, n. 6, 2018.

SANTOS, D. C.; OLIVEIRA, E. N. A.; MARTINS, J. N.; ROCHA, A. P. T. Drying of cashew pulp in spouted bed dryer. **Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial**, v.9, n. 2, p. 1875 – 1887, 2015.

SANTOS, M. K. K.; ENSINAS, S. C.; RIZZATO, M. C. O.; REGINATO, M. P. Atividade antioxidante da *Annona muricata* L. In: **Encontro de Ensino, Pesquisa e Extensão**, 2014, Mato Grosso do Sul. Anais... Mato Grosso do Sul.

SARI, S.; KULAH, G.; KOKSAL, M. Characterization of gas–solid flow in conical spouted beds operating with heavy particles. **Experimental Thermal and Fluid Science**, v. 40, p. 132 – 139, 2012.

SALUDES, J. P.; GARSON, M. J.; FRANZBLAU, S. G.; AGUINALDO, A. M. Antitubercular constituents from the hexane fraction of *Morinda citrifolia* Linn. (Rubiaceae). **Phytotherapy Research**, v. 16, p. 683-685, 2002.

SCHNEIDER, T.; BRIDGWATER, J. The stability of wet spouted beds, **Drying Technology**, v. 11, n. 2, p. 277-301, 1993.

SECRETI, L. C.; OSHIRO, A. M.; OLIVEIRA, V. S. Características físicas e químicas da polpa in natura da fruta noni (*Morinda citrifolia* L.). **A revista Eletrônica da Faculdade de Ciências Exatas e da Terra**, v. 4, n. 7, 2015.

SELVAM, P.; BREITENBACH, J. M.; BORYSKO, K. Z.; DRACH, J. C. Studies on Anti-HSV Activity and Cytotoxicity of *Morinda citrifolia* L. noni Leaf. **Antiviral Research**, v. 90, A21–A78, 2011.

SEROWIK, M.; FIGIEL, A.; NEJMAN, M.; PUDLO, A.; CHORAZYK, D.; KOPEC, W. Drying characteristics and some properties of spouted bed dried semi-refined carrageenan. **Journal of Food Engineering**, v. 194, p. 46 – 57, 2017.

SHALAN, N. A. A. M.; MUSTAPHA, N. M.; MOHAMED, S. Chronic toxicity evaluation of *Morinda citrifolia* fruit and leaf in mice. **Regulatory toxicology and Pharmacology**, v. 83, p. 46-53, 2017.

SILVA JÚNIOR, M.; SILVA, N.; RIBEIRO, C.; VERÍSSIMO, C.; ROCHA, A. P.; GROSSO, C.; MACIEL, M. I. Impact of Different Drying Methods on the Acerola-

Ceriguela Mixed Pulp: Physicochemical Characteristics, Bioactive Compounds, and Sensory Attributes. **Journal of Food Quality**, 2022.

SILVA, A. K. N.; RODRIGUES, B. D.; SILVA, L. H. M.; RODRIGUES, A. M. C. Drying and extraction of astaxanthin from pink shrimp waste (*Farfantepenaeus subtilis*): the applicability of spouted beds. **Food Science and Technology**, v. 38, n. 3, p. 454 – 461, 2018.

SILVA, L. R.; MEDEIROS, P. V. Q.; LEITE, G. A.; SILVA, K. J. P.; MENDONÇA, C. V.; SILVA, C. G. G. Caracterização do fruto de *Morinda citrifolia* L. (noni). **Revista Cubana de Plantas Medicinales**, v. 17, n. 1, p. 93-100, 2012.

SILVA, D. O. **Simulação do recobrimento de partículas em leite de jorro usando modelos de balanço populacional**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2006. 99p.

SILVA FILHO, E. D.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M.; GUIMARÃES, M. K. A. Cinética de secagem em camada de espuma da polpa da manga cv. Haden. **Comunicata Scientiae**, v. 7, n. 3, p. 354-361, 2016.

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 in Enzymology**, v. 299, p. 152-178, 1974.

SOARES, A. C.; PEREIRA, N. R. Drying of jambolão (*Syzygium cumini*) pulp in spouted bed dryer: effect of egg white as drying carrier agent on product quality. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 23, 2020.

SOUSA, R. C.; FERREIRA, M. C.; ALTZIBAR, H.; FREIRE, F. B.; FREIRE, J. T. Drying of pasty and granular materials in mechanically and conventional spouted beds. **Particuology**, v. 42, p. 176 – 183, 2019.

SOUSA, S. G.; OLIVEIRA, L. A.; MAGALHÃES, D. A.; BRITO, T. V.; BATISTA, J. A.; PEREIRA, C. M. C.; COSTA, M. S.; MAZULO NETO, J. C. R.; FILGUEIRAS, M. C.; VASCONCELOS, D. F. P.; SILVA, D. A.; BARROS, F. C. N.; SOMBRA, V. G.; FREITAS, A. L. P.; PAULA, R. C. M.; FEITOSA, J. P. A.; BARBOSA, A. L. R. Chemical structure and anti-inflammatory effect of Polysaccharide extracted from *Morinda citrifolia* Linn (noni). **Carbohydrate Polymers**, v. 197, p. 515–523, 2018.

SOUSA, S. F.; QUEIROZ, A. J. M.; FIQUEIRÊDO, R. M. F.; SILVA, F. B. Comportamento reológico das polpas de noni integral e concentradas. **Braz. J. Food Technol.**, v. 20, 2017.

SOUSA, S. L.; MORAIS, B. A.; RIBEIRO, L. C.; COSTA, J. M. C. Stability of cashew apple juice in powder dehydrated in spouted bed. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, n. 7, p. 678 – 682, 2016.

SOUSA, J. A.; AQUINO, A. R. L.; FREIRE, F. C. O.; SILVA NETO, P. A. F. Produção de mudas de noni (*Morinda citrifolia* L.). EMBRAPA: **Comunicado técnico** 157, 2010.

SOUZA, J. S. **Secagem de misturas de polpa de frutas tropicais em leito de jorro**. 178p. Tese (Doutorado em Engenharia Química), Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal. 2009.

SOUZA, C. R. F. **Estudo comparativo da produção de extrato seco de *Bauhinia forficata* Linn pelos processos *spray-dryer* e leito de jorro**. Dissertação (Mestrado em Ciências Farmacêuticas), Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2003. 182p.

SPITZNER NETO, P. I.; FREIRE, J. T. Study of pastes drying in spouted beds: Influence of the presence of the paste. **Proceedings of the 25th Brazilian Congress on Particulate Systems**, São Carlos, Brazil, v. 1, p. 185 – 190, 1997.

TADINI, C. C.; TELIS, V. R. N.; MEIRELLES, A. J. A.; PESSOA-FILHO, P. A. **Operações unitárias na indústria de alimentos**. v. 2 São Paulo: LTC, 2016, 652 p.

TAN, Y. H.; TASIRIN, S. M.; SAPTORO, A.; NOLASCO-HIPOLITO, C. Drying Characteristics of oil palm frond particles in a spouted bed dryer. **IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering**, v. 495, 2019.

TELES, F. B.; RODRIGUES, I. C. B.; OLIVEIRA, M. H.; ZOTARELLI, M. Secagem em leito de espuma de Hortelã Pimenta (*Mentha piperita* L.). In: **II Simpósio de Tecnologia e Ciência**, 2016, Patos de Minas, MG. Anais... Patos de Minas, 2016, p. 30-30.

TOME, A. C.; AUGUSTINHA, B. F. Teor de vitamina C em farinha da casca, polpa e semente de mamão (*Carica papaya*) submetidas a diferentes temperaturas de secagem. **Uniciências**, v. 22, n. especial, p. 43-46, 2018.

VEIGA, R. F. A.; BARBOSA, W.; HIROCE, R.; MENDACOLLI, S. L. J.; TOMBOLATO, A. F. C.; COSTA, A. A. Noni: Frutífera medicinal em introdução e aclimatação no Brasil. **O Agrônomo**, v. 57, n. 1, 2005.

VELÁSQUEZ, H. J. C.; MENEGALLI, F. C.; CUNHA, R. L. Drying of  $\lambda$ -carrageenan using a two dimensional spouted fluidized bed dryer. **Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín**, v. 65, n. 1, p. 6519 – 6529, 2012.

VELD, J. H. J. H. Microbial and biochemical spoilage of foods: an overview. **International Journal of Food Microbiology**, v.33, n. 1, 1996.

VIEIRA, M. G. A.; DONIDA, M. W.; ROCHA, S. C. S. Adhesion of an Aqueous Polymeric Suspension to Inert Particles in a Spouted Bed. **Drying Technology**, v. 22, n.5, p.1069–1085, 2004.

VICKERY, M. L.; VICKERY, B. **Secondary plant metabolism**. University Park Press: Baltimore, 1981.

VILAR, S. B. O. ALBUQUERQUE JUNIOR, N. M. COELHO, A. B. SILVA, J. N. BARROS, S. L. SILVA, W. P. Evaluation of the Drying Process of Grape cv. Arra 15®, Research, Society and Development, v. 10, n. 5, 2021.

VILLAÑO, D.; FERNANDEZ-PCHÓN, M. S.; TRONCOSO, A. M.; GARCIA-PARRILLA, M. C. Influence of enological practices on the antioxidant activity of wines. **Food Chemistry**, v. 95, n. 3, p. 394-404, 2006.

WANG, M. NOWICKI, D.; ANDERSON, G.; JENSEN, J.; WEST, B. Liver protective effects of *Morinda citrifolia* (noni). **Plant Foods for Human Nutrition**, v. 63, p. 59–63, 2008.

WEST, J. B. DENG, S. *Morinda citrifolia* (Noni) Fruit Juice Inhibits SARS-CoV-2 Spike Protein Binding of Angiotensin-Converting Enzyme 2 (ACE2). **Journal of Biosciences and Medicines**, v. 9, p. 42 – 51, 2021.

WEST, B. J.; DENG, S.; JENSEN, C. J. Nutrient and phytochemical analyses of processed puree. **Food Research International**, v. 44, p. 2295 – 2301, 2011.

WHO. World Health Organization 2011. **The world medicine situation 2011: traditional medicines: global situation issues and challenges**. Geneva: WHO, 2011. 12p.

XAVIER, T. P.; LIBARDI, B. P.; LIRA, T. S.; BARROZO, M. A. S. Fluid dynamic analysis for pyrolysis of macadamia shell in a conical spouted bed. **Powder Technology**, v. 299, p. 210 – 216, 2016.

YANG, J.; BREAUULT, R. W.; WEBER, J. M.; ROWAN, S. L. Determination of flow patterns by a novel image analysis technique in a rectangular spouted bed. **Powder Technology**, v. 334, p. 151 – 162, 2018.

YANG, J. PAULINO, R. JANKE-STEDRONSKY, S. ABAWI, F. Free-radical-scavenging activity and total phenols of noni (*Morinda citrifolia* L.) juice and powder in processing and storage. **Food Chemistry**, v. 102, n. 1, p. 302-308, 2007.

ZHANG, H.; LIU, M.; LI, T.; HUANG, Z.; SUN, X.; BO, H.; DONG, Y. Experimental investigation on gas-solid hydrodynamics of coarse particles in a two-dimensional spouted bed. **Powder Technology**, v. 307, p. 175 – 183, 2017.