

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA FRONTEIRA SUL  
CAMPUS LARANJEIRAS DO SUL  
CURSO DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS**

**JEJISLAINE SANTANA**

**USO DE MALTODEXTRINA NO PROCESSO DE  
ENCAPSULAÇÃO POR SPRAY DRYING DO SORO DE LEITE DERIVADO DO  
QUEIJO**

**LARANJEIRAS DO SUL**

**2024**

**JEJISLAINE SANTANA**

**USO DE MALTODEXTRINA NO PROCESSO DE  
ENCAPSULAÇÃO POR SPRAY DRYING DO SORO DE LEITE DERIVADO DO  
QUEIJO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado  
ao Curso de Engenharia de Alimentos da  
Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS),  
como requisito para obtenção do título de  
ENGENHEIRO DE ALIMENTOS.

Orientador: Prof. O Dr. Gustavo Henrique Fidelis dos Santos

**LARANJEIRAS DO SUL**

**2024**

## Bibliotecas da Universidade Federal da Fronteira Sul - UFFS

Santana, Jeislaine

USO DE MALTODEXTRINA NO PROCESSO DE ENCAPSULAÇÃO POR  
SPRAY DRYING DO SORO DE LEITE DERIVADO DO QUEIJO /  
Jeislaine Santana. -- 2024.

47 f.:il.

Orientador: Doutor Gustavo Henrique Fidelis dos  
Santos

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) -  
Universidade Federal da Fronteira Sul, Curso de  
Bacharelado em Engenharia de Alimentos, Laranjeiras do  
Sul, PR, 2024.

1. Secagem de soro de leite. 2. Secagem por  
atomização. 3. Uso de agente encapsulante -  
maltodextrina. I. Santos, Gustavo Henrique Fidelis dos,  
orient. II. Universidade Federal da Fronteira Sul. III.  
Título.

**JEJISLAINE SANTANA**

**USO DE MALTODEXTRINA NO PROCESSO DE  
ENCAPSULAÇÃO POR SPRAY DRYING DO SORO DE LEITE DERIVADO DO  
QUEIJO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Alimentos da Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS) como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheiro de Alimentos.

Este trabalho foi defendido e aprovado pela banca em 20/11/2024.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. Gustavo Henrique Fidelis dos Santos – UFFS  
Orientador

---

Prof. Dr. Marcos Alceu Felicetti – UFFS  
Avaliador

---

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Leda Battestin Quast – UFFS  
Avaliadora

Dedico este trabalho aos meus pais, que  
não pouparam esforços para que eu  
pudesse concluir meus estudos e a minha  
irmã que sempre me incentivou a ir além.

## AGRADECIMENTOS

Ao meu pai Raimundo Nonato e a minha mãe Vanessa Reis que mesmo não tendo nada, me deram tudo, vocês são o exemplo de pessoa que um dia quero ser.

À minha família pelo incentivo e apoio;

À minha Irmã, por não poupar esforços para que eu concluísse esse sonho;

Aos meus amigos (Gabrielli Santos, Samuel Lopes, Laura Leal, Eliane Pompeu, Matheus Lee, Jessica Fireck, Davi Koester, Raquel Borin, Daniela Ragazzon e Nádia Delfino) pela companhia, amizade e incentivo;

À Universidade Federal da Fronteira Sul e ao departamento de Engenharia de Alimentos pela oportunidade;

Ao professor Gustavo F. dos Santos, pela orientação e incentivo durante o desenvolvimento deste trabalho;

Aos técnicos em especial Marli Busanello, Silvia Tormen e Silvia Dovadone e da Universidade Federal da Fronteira Sul por todo auxílio prestado;

A todos os professores e em especial a Eduarda Bainy, Leda Quast, Yasmine Micheletto, Vania Pinto e Larissa Bertan, que me incentivaram e me enxergaram quando nem eu mesma conseguia enxergar o que eu seria capaz de me tornar e por todos os ensinamentos durante a graduação.

## RESUMO

O soro do leite é gerado após a coagulação do leite para fabricação de queijos, e de forma geral, sua composição consiste em água, lactose, glicerídeos, vitaminas, enzimas e minerais. Devido a alta demanda biológica de oxigênio (DBO), o soro de leite *in natura* não pode ser descartado diretamente no meio ambiente. Ao longo dos anos, tecnologias têm sido estudadas com o objetivo de tratar este efluente ou transformá-lo em matéria-prima de valor agregado. Entre as tecnologias utilizadas está a obtenção do soro de leite em pó através da secagem por atomização em *spray dryer*. Os parâmetros utilizados durante a secagem são importantes para que o processo seja viabilizado. Temperatura do ar de entrada, vazão de alimentação e a composição do soro são os principais parâmetros que podem afetar a secagem, assim como a temperatura de transição vítrea dos compostos presentes, e a aderência de partículas nas paredes do equipamento. A encapsulação por atomização ocorre de forma similar a secagem no equipamento, no entanto os compostos de interesse são envolvidos por materiais encapsulantes durante a remoção das partículas de água, resultando apenas em cápsulas ou microcápsulas em pó. A Maltodextrina é amplamente utilizada no processo de encapsulação devido ao comportamento favorável de solubilidade em água, propriedade de emulsão, boa estabilidade e por resultar em soluções incolores. Assim, o objetivo do presente trabalho consistiu em realizar a secagem do soro de leite utilizando a técnica de atomização por *spray dryer* utilizando o soro *in natura* e material encapsulante maltodextrina em diferentes concentrações, a fim de verificar possíveis melhorias no processo e no rendimento final do soro de leite em pó. Na secagem do soro *in natura* e do soro encapsulado foi aplicado planejamento fatorial  $2^3$  e  $2^4$  respectivamente, com 3 pontos centrais, variando a temperatura de secagem entre 142 a 178 °C, a vazão de alimentação entre 11 a 25 mL min<sup>-1</sup>, a concentração de soro entre 15 a 25 °Brix. Na secagem do soro encapsulado, a concentração de maltodextrina foi variada entre 10 a 20% (m/m) na solução. As respostas avaliadas do soro em pó obtidos foram umidade, atividade de água, rendimento e concentração de proteína. Os resultados mostraram que com o uso de maior temperatura, de maior concentração de soro e de menor vazão volumétrica, alcançou-se menores valores para umidade e atividade de água, e maiores valores para rendimento e concentração de proteína. O uso da maltodextrina teve impacto significativo nas respostas avaliadas, reduzindo a umidade e a atividade de água em comparação a secagem do soro *in natura*. Além disso, o soro encapsulado teve maior rendimento de secagem e maior concentração de proteína. A variação da concentração de maltodextrina não influenciou na umidade e na atividade de água do soro em pó.

**Palavras-chave:** agente encapsulante, soro de leite em pó, proteína, atomização.

## ABSTRACT

Whey is generated after coagulation for cheese making, and in general, its composition consists of water, lactose, glycerides, vitamins, enzymes and minerals. Due to the high biological demand for oxygen, fresh whey cannot be disposed of directly into the environment. Over the years, technologies have been studied with the aim of treating this effluent or transforming it into value-added raw material. Among the technologies used is the obtaining of whey powder through spray drying spray. The parameters used during drying are important for the process to be viable. Inlet air temperature, feed flow rate and the composition of the whey are the main parameters that can affect drying, as well as the glass transition temperature of the compounds present, and the adhesion of particles to the walls of the equipment. Encapsulation by atomization occurs in a similar way to drying in the equipment, however the compounds of interest are surrounded by encapsulating materials during the removal of water particles, resulting only in powdered capsules or microcapsules. Maltodextrin is widely used in the encapsulation process due to the favorable behavior of water solubility, emulsion property, good stability, and colorless solutions. Thus, the objective of the present work was to dry the whey using the spray dryer atomization technique using the whey in natura and with the encapsulating material maltodextrin in different concentrations, in order to verify possible improvements in the process and in the final yield of the whey powder that results in a product with high protein value and higher added value. In the drying of the fresh serum and the encapsulated serum, factorial design was applied with 3 central points, varying the drying temperature between 142 and 178 °C, the feed flow between 11 and 25 mL min<sup>-1</sup>, the serum concentration between 15 and 25 °Brix. In the drying of the encapsulated serum, the concentration of maltodextrin was varied between 10 and 20% (w/w) in the solution. The evaluated responses of the whey powder obtained were moisture, water activity, yield and protein concentration. Results showed that with the use of higher temperature, higher serum concentration and lower volumetric flow, lower values for moisture and water activity were achieved, and higher values for yield and protein concentration. The use of maltodextrin had a significant impact on the evaluated responses, reducing moisture and water activity compared to drying whey in natura. In addition, the encapsulated whey had a higher drying yield and a higher protein concentration. The variation in maltodextrin concentration did not influence the moisture and water activity of the whey powder. However, the yield and protein concentration reached higher values when higher concentrations of maltodextrin were used.

**Keywords: encapsulating agent, whey powder, protein, atomization.**

## SUMÁRIO

<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>9</b>
<b>2.</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>10</b>
2.1.	PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS .....	10
2.2.	ENCAPSULAÇÃO .....	11
2.3.	SECAGEM.....	11
2.4.	ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS DO SORO .....	14
2.4.1.	Determinação de umidade.....	14
2.4.2.	Determinação de proteína .....	14
2.4.3.	Determinação de lipídeos .....	14
2.4.4.	Determinação de cinzas.....	14
2.4.5.	Determinação de carboidratos.....	14
2.4.6.	Sólidos solúveis (°Brix) .....	15
2.4.7.	Atividade de água .....	15
2.4.8.	Análise estatística.....	16
2.5.	DETERMINAÇÃO DO RENDIMENTO.....	16
<b>3.</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>16</b>
3.1.	CARACTERIZAÇÃO DO SORO DE LEITE IN NATURA .....	16
3.2.	SECAGEM DO SORO DE LEITE IN NATURA PELO SPRAY DRYER. ....	17
3.3.	SECAGEM DO SORO DE LEITE ENCAPSULADO COM MALTO DEXTRINA PELO <i>SPRAY DRYER</i> .....	30
<b>4.</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>45</b>
<b>5.</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>46</b>

## 1. INTRODUÇÃO

O leite é um alimento conhecido pelo alto valor nutritivo e tecnológico, e sua composição está distribuída em água, lactose, glicérides, proteínas, sais, vitaminas e enzimas, em forma de emulsão, suspensão ou total dissolução. O teor de proteínas do leite é representado 80% pela caseína e o restante em proteínas solúveis, como as proteínas do soro  $\beta$ -lactoglobulina,  $\alpha$ -lactoalbumina, imunoglobulinas e soro albumina bovina (ORDÓÑEZ et al., 2005).

Durante o desenvolvimento de queijos a partir do uso de leite, ocorrem três etapas fundamentais: acidificação, coagulação e retirada do soro. O soro resultante deste processo tem sua composição variada dependendo do tipo de coagulação realizada. Existem dois tipos de soro de queijo, o soro ácido e o soro doce. O soro ácido apresenta pH de 4,6 sendo resultante de manufatura de caseína ou de queijos feitos com leite coagulados inicialmente por ácido, tal como o queijo cottage, quark, requeijão e ricota. Já o soro doce é proveniente da coagulação enzimática do leite e apresenta pH em torno de 6,3 e 6,7 sendo obtido de queijos tipo cheddar, minas frescal, minas padrão e muçarela (MORR e HA, 1993).

O soro em muitas indústrias alimentícias ainda é considerado como um efluente, e sua alta demanda biológica de oxigênio, impede que o descarte ocorra no meio ambiente sem tratamento prévio (POPPI et al., 2010). Tecnologias são estudadas a fim de explorar as propriedades da composição do soro de leite, e transformar o efluente em matéria-prima com valor agregado.

O processo de secagem do soro de leite por atomização realizado em *spray dryer*, transforma o soro de leite líquido em partículas de pó. A secagem ocorre em um processo contínuo, e de forma rápida, o que apresenta vantagem do método em obter o resultado sem degradar os nutrientes presentes (KESHANI et al., 2015). Este processo consiste em quatro etapas principais: atomização do fluido, contato das gotículas atomizadas com o ar de secagem, remoção da umidade e separação do particulado em pó (OLIVEIRA e PETROVICK, 2010).

Além do uso para secagem de líquidos e extratos alimentícios, o equipamento *spray dryer* também é utilizado para encapsulação por atomização. De forma similar a secagem, na encapsulação as partículas de compostos de interesse são envolvidas por um revestimento durante o processo, resultando em cápsulas e microcápsulas em pó. Os materiais de revestimento podem ser gorduras, amidos, proteínas, dextrinas, gomas ou demais compostos (GHARSALLAOUI et al., 2007).

A encapsulação e a microencapsulação na área de engenharia de alimentos ocorrem com o propósito de preservar o composto de núcleo, através da barreira criada pelo material encapsulante. Entre as razões para a realização do encapsulamento estão: reduzir a interação do

composto em núcleo com fatores ambientais, diminuir taxa de transferência do composto no núcleo com o meio externo, facilitar manuseio, liberação controlada, mascarar sabor do núcleo e utilização do material do núcleo em pequenas quantidades (GHARSALLAOUI et al., 2007).

O uso da técnica de encapsulação durante a secagem do soro de leite por atomização em *spray dryer* apresenta como vantagem a redução de efeitos adversos (maior estabilidade na temperatura, umidade, oxigênio e luz, aumentando assim a vida útil do produto) que ocorrem durante a obtenção do soro de leite em pó. A secagem do soro de leite *in natura* pode ser dificultada pela aglomeração das partículas nas paredes do equipamento, causando redução na eficiência do processo (KESHANI et al., 2015). Misturas de materiais encapsulantes junto ao fluido para a secagem são estudados em busca de verificar maior eficiência de encapsulação e menor custo de processo em relação ao uso de biopolímeros individuais (AKHAVAN MAHDAVI et al., 2016). Na indústria de alimentos, a maltodextrina é amplamente utilizada por apresentar comportamento de baixa viscosidade, solubilidade em água, propriedades emulsificantes e solução incolor (AKHAVAN MAHDAVI et al., 2016; NUNES, 2015).

Assim, o presente trabalho apresenta como finalidade realizar a secagem do soro de leite *in natura* e a secagem do soro com o material encapsulante maltodextrina em diferentes concentrações, a fim de verificar e ajustar os parâmetros de processo (temperatura do ar de entrada, vazão de alimentação e concentração do soro) para a obtenção do soro de leite em pó, e assim comparar os resultados obtidos entre a secagem do soro *in natura* e a secagem com a adição do material encapsulante, para otimizar os parâmetros operacionais do processo a fim de melhorar o rendimento de obtenção do soro de leite em pó.

## **2. METODOLOGIA**

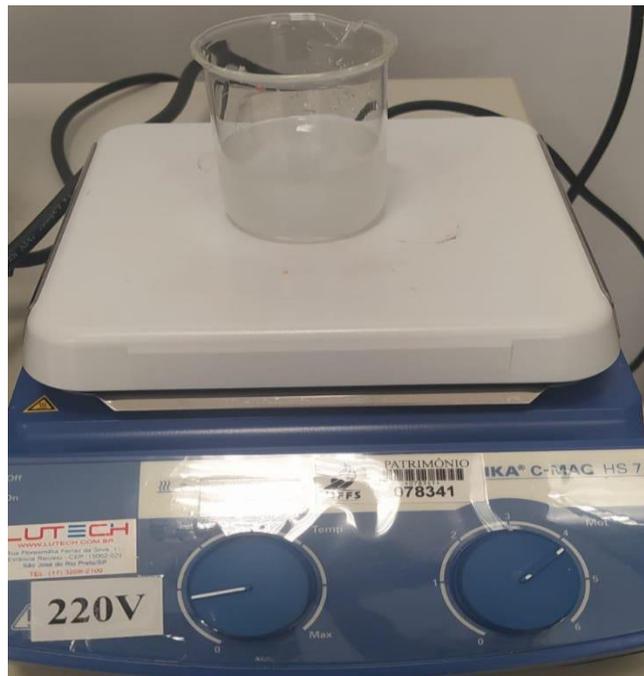
### **2.1. PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS**

O soro de leite foi obtido através de doação de um laticínio localizado na cidade de Laranjeiras do Sul-PR. A amostra recebida foi de soro de leite pasteurizado obtido na produção de queijo muçarela. O soro foi concentrado em estufa a 60 °C até concentrações iniciais (em °Brix) pré-estabelecidas (descritas na Tabela 1). Em seguida, as amostras de soro concentrado foram armazenadas em freezer até o momento da secagem. Na amostra do soro de leite *in natura* foi realizada a análise de umidade, proteína, carboidratos, lipídios e cinzas, descritas no item 2.5.

## 2.2. ENCAPSULAÇÃO

A maltodextrina foi adicionada lentamente nas amostras de soro concentrado sob agitação, com o auxílio de um agitador magnético (Figura 1) e uma barra magnética, afim de evitar formação de coágulos, por aproximadamente 5 min (tempo para dissolução completa da maltodextrina).

**Figura 1.** Agitador magnético - C-MAG HS series - IKA



Fonte: Autor (2023)

## 2.3. SECAGEM

A secagem foi realizada em *spray dryer* (Modelo Mini Spray Dryer LABPLANT) no Laboratório de Projetos e Operações Unitárias pertencente à Universidade Federal da Fronteira Sul – Campus Laranjeiras do Sul. Ao decorrer da secagem a mistura foi constantemente homogeneizada para garantir que não houvesse precipitação de nenhum composto presente no soro.

O delineamento experimental para a secagem do soro *in natura* foi organizado com o planejamento fatorial  $2^3$  (8 ensaios) contendo 3 repetições centrais, totalizando 11 ensaios. Os ensaios de secagem foram conduzidos de acordo com o planejamento experimental descrito na Tabela 1, em que são apresentados os níveis codificados e os valores reais de cada variável.

**Tabela 1.** Planejamento experimental de secagem do soro de leite *in natura* em *spray dryer*.

Variáveis independentes	Níveis codificados e valores reais		
	-1	0	1
Temperatura de entrada do ar (°C)	142	160	178
Vazão de alimentação (mL/min)	11	18	25
Concentração do soro (°Brix)	15	20	25

O planejamento experimental com as variáveis independentes (valores reais e codificados) é apresentado na Tabela 2. As variáveis dependentes analisadas no soro de leite em pó foram umidade, atividade, de água, rendimento e proteína.

**Tabela 2.** Parâmetros utilizados no processo de secagem do soro de leite *in natura*.

Ponto planejamento	Temperatura (°C)	Vazão (mL/min)	Concentração (°Brix)
1	-1 (142)	-1 (11)	-1 (15)
2	1 (178)	-1 (11)	-1 (15)
3	-1 (142)	1 (25)	-1 (15)
4	1 (178)	1 (25)	-1 (15)
5	-1 (142)	-1 (11)	1 (25)
6	1 (178)	-1 (11)	1 (25)
7	-1 (142)	1 (25)	1 (25)
8	1 (178)	1 (25)	1 (25)
9	0 (160)	0 (18)	0 (20)
10	0 (160)	0 (18)	0 (20)
11	0 (160)	0 (18)	0 (20)

O delineamento experimental para a secagem do soro encapsulado com maltodextrina foi organizado com o planejamento fatorial  $2^4$  (16 ensaios) contendo 3 repetições no ponto central, totalizando 19 ensaios. Os ensaios de secagem foram conduzidos de acordo com o planejamento experimental descrito na Tabela 3 e 4.

**Tabela 3.** Planejamento experimental de secagem do soro de leite encapsulado com maltodextrina em *spray dryer*.

Variáveis independentes	Níveis codificados e valores reais		
	-1	0	1
Temperatura de entrada do ar (°C)	145	160	175
Vazão de alimentação (mL/min)	12	18	24
Concentração do soro (°Brix)	15	20	25
Concentração agente encapsulante (% m/m)	10	15	20

**3. Tabela 4.** Parâmetros utilizados no processo de secagem do soro de leite encapsulado.

Ponto planejamento	Temperatura (°C)	Vazão (mL/min)	Concentração (°Brix)	Concentração Encapsulante (%)
1	1 (175)	-1 (12)	-1 (15)	-1 (10)
2	-1 (145)	1 (24)	-1 (15)	-1 (10)
3	1 (175)	1 (24)	-1 (15)	-1 (10)
4	-1 (145)	-1 (12)	-1 (15)	-1 (10)
5	-1 (145)	-1 (12)	1 (25)	-1 (10)
6	1 (175)	-1 (12)	1 (25)	-1 (10)
7	-1 (145)	1 (24)	1 (25)	-1 (10)
8	1 (175)	1 (24)	1 (25)	-1 (10)
9	-1 (145)	-1 (12)	-1 (15)	1 (20)
10	1 (175)	-1 (12)	-1 (15)	1 (20)
11	-1 (145)	1 (24)	-1 (15)	1 (20)
12	1 (175)	1 (24)	-1 (15)	1 (20)
13	-1 (145)	-1 (12)	1 (25)	1 (20)
14	1 (175)	-1 (12)	1 (25)	1 (20)
15	-1 (145)	1 (24)	1 (25)	1 (20)
16	1 (175)	1 (24)	1 (25)	1 (20)
17	0 (160)	0 (18)	0 (20)	0 (15)
18	0 (160)	0 (18)	0 (20)	0 (15)
19	0 (160)	0 (18)	0 (20)	0 (15)

## 2.4. ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS DO SORO

### 2.4.1. Determinação de umidade

A determinação do teor de umidade baseia-se na secagem em estufa com circulação de ar em temperatura de 105°C e seu tempo de duração foi de 24 horas até massa constante, (Instituto Adolfo Lutz, 2008).

### 2.4.2. Determinação de proteína

A determinação de proteína total foi realizada pelo método de Kjeldahl (A.O.A.C., 2000). Essa análise se baseia no método de aquecimento da amostra com ácido sulfúrico e catalisador para a digestão até que o carbono e o hidrogênio sejam oxidados. O nitrogênio da proteína foi reduzido em sulfato de amônio. Então, adicionou-se NaOH 40% e aqueceu-se para a liberação da amônia dentro de um volume conhecido de uma solução de ácido bórico, formando borato de amônia. O borato de amônia foi dosado com uma solução ácida (HCl) padronizada. Esse processo incluiu três passos que foram: digestão, destilação e titulação e seu fator de correção foi de 0,1 (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 2008).

### 2.4.3. Determinação de lipídeos

O método utilizado foi o de Soxhlet (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 2008).

### 2.4.4. Determinação de cinzas

A determinação de cinzas foi feita por gravimetria, incinerada à temperatura de 550-570°C até massa constante, restando apenas o material inorgânico (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 2008).

### 2.4.5. Determinação de carboidratos

O teor total de carboidratos foi obtido por diferença dos demais componentes analisados, conforme equitação abaixo:

$$\text{Carb (\%)} = 100 - (\text{umidade} + \text{proteína} + \text{lipídeos} + \text{cinzas})$$

#### 2.4.6. Sólidos solúveis (°Brix)

A análise foi realizada diretamente em Refratômetro Digital de Bancada (HI 96801, Hanna Instruments Romênia) (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 2008).

**Figura 2.** Refratômetro Digital de Bancada.



Fonte: Autor (2023)

#### 2.4.7. Atividade de água

A atividade de água foi determinada a 25 °C em analisador de atividade de água (LabMaster-AW).

**Figura 3.** Analisador de atividade de água.



Fonte: Autor (2023)

### 2.4.8. Análise estatística

Os valores das análises físico-químicas foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e teste de comparação de médias por Tukey com nível de significância de 5% ( $p \leq 0,05$ ). O software que utilizamos para as análises estatísticas foi o Statistica.

### 2.5. DETERMINAÇÃO DO RENDIMENTO

O cálculo do rendimento foi feito seguindo a seguinte equação:

$$\text{Rendimento (\%)} = \frac{M_f}{M_i} \cdot 100\%$$

Em que:

$M_f$ : massa final do soro (soro seco) (g);

$M_i$ : massa inicial do soro (antes da secagem) (g);

Todas as análises foram realizadas em triplicata

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1. CARACTERIZAÇÃO DO SORO DE LEITE *IN NATURA*

A análise centesimal do soro de leite *in natura* foi determinada pelas análises de umidade, proteína, carboidratos, lipídeos e cinzas, e estão expressas na Tabela 5.

**Tabela 5.** Composição centesimal do soro de leite *in natura*.

Análises	Valores encontrados (%)
Umidade (%)	93,9
Proteína (%)	1,7
Carboidrato (%)	3,5
Lipídios (%)	0,2
Cinzas (%)	0,7

Os valores encontrados na composição centesimal para o soro de leite *in natura* (Tabela 5) foram semelhantes aos encontrados por NERY et al. (2008), de 93,4% de umidade, 2,24% de proteína, 3,44% de carboidrato, 0,46% de lipídeos e 0,47% de cinzas.

### 3.2. SECAGEM DO SORO DE LEITE IN NATURA PELO SPRAY DRYER.

Os resultados do planejamento fatorial  $2^3$  para a secagem do soro *in natura* utilizando o *spray dryer*, para as análises de umidade, atividade de água ( $A_w$ ), rendimento de secagem e concentração de proteína estão expressos na Tabela 6.

**Tabela 6.** Resultados das análises de umidade, atividade de água, rendimento e proteínas para a secagem do soro de leite *in natura*.

Temperatura (°C)	Vazão (mL min <sup>-1</sup> )	Concentração (°Brix)	Umidade (%)	$A_w$	Rendimento (%)	Proteína (%)
142 (-1)	11 (-1)	15 (-1)	11,2	0,351	9,0	11,4
178 (1)	11 (-1)	15 (-1)	9,1	0,235	15,0	11,5
142 (-1)	25 (1)	15 (-1)	16,2	0,596	4,5	9,7
178 (1)	25 (1)	15 (-1)	13,4	0,455	8,7	10,8
142 (-1)	11 (-1)	25 (1)	9,9	0,251	12,3	12,9
178 (1)	11 (-1)	25 (1)	4,9	0,195	16,3	13,5
142 (-1)	25 (1)	25 (1)	14,9	0,486	7,5	10,2
178(1)	25 (1)	25 (1)	9,4	0,391	10,8	11,6
160 (0)	18 (0)	20 (0)	10,2	0,326	9,1	10,8
160 (0)	18 (0)	20 (0)	10,3	0,315	10,0	10,7
160 (0)	18 (0)	20 (0)	10,8	0,320	9,0	10,9

Na Tabela 6, observa-se que o teor de umidade do soro de leite diminuiu de 93,9% (Tabela 5) para um intervalo entre 5 a 16% (Tabela 6), sendo esse valor alterado conforme a vazão, a temperatura de secagem e a concentração inicial de soro. A umidade em produtos alimentícios em pó representa um indicativo da eficiência de secagem, visto que para menores valores de umidade, maior é a eficiência na remoção da água. Com exceção do ensaio 6 (umidade de 4,9%), os outros ensaios de secagem chegaram em teores de umidade que não estão de acordo com o preconizado pela legislação brasileira, que estabelece que a umidade do

soro de leite em pó deve estar abaixo de 5% (BRASIL, 2020). Desta forma, em termos de teor de umidade, a secagem do soro de leite *in natura* não chegou a resultados satisfatórios.

O valor encontrado para a  $A_w$  do soro de leite *in natura* foi de 0,95, e após a secagem a  $A_w$  reduziu para um intervalo entre 0,195 a 0,596. A atividade de água é um parâmetro importante a ser avaliado em produtos alimentícios em pó por influenciar a vida de útil do alimento, uma vez que de acordo com os resultados de  $A_w$ , reações químicas enzimáticas e microbiológicas que contribuem para deterioração do produto em pó podem ser previstas. Além disso, a  $A_w$  do produto alimentício em pó influencia a capacidade de processamento, as propriedades de manuseamento e a estabilidade. Por exemplo, valores altos para  $A_w$  indicam uma maior quantidade de água livre disponível para diversas reações no produto alimentício, enquanto alimentos com valores abaixo de 0,6 podem ser considerados microbiologicamente estáveis, podendo ocorrer deteriorações somente por reações químicas (FELLOWS, 2000). Pela Tabela 6, observa-se que vários ensaios de secagem resultaram em  $A_w$  entre 0,3 a 0,5, faixa que tecnologicamente é crítica para lácteos desidratados, pois segundo BHANDARI e HOWES (1999), a cristalização da lactose acelera modificações deteriorantes como agregação de partículas coloidais, perda de solubilidade, escurecimento não enzimático, oxidação e diminuição da estabilidade do produto durante o armazenamento. Novamente, apenas o ensaio 6 ( $A_w = 0,195$ ) resultou em valor de  $A_w$  próximo a 0,2, que segundo SCHUCK et al. (2008) é a faixa em que lácteos desidratados apresentam melhor conversação. Logo, em termos de atividade de água, a secagem do soro de leite *in natura* não chegou a resultados satisfatórios.

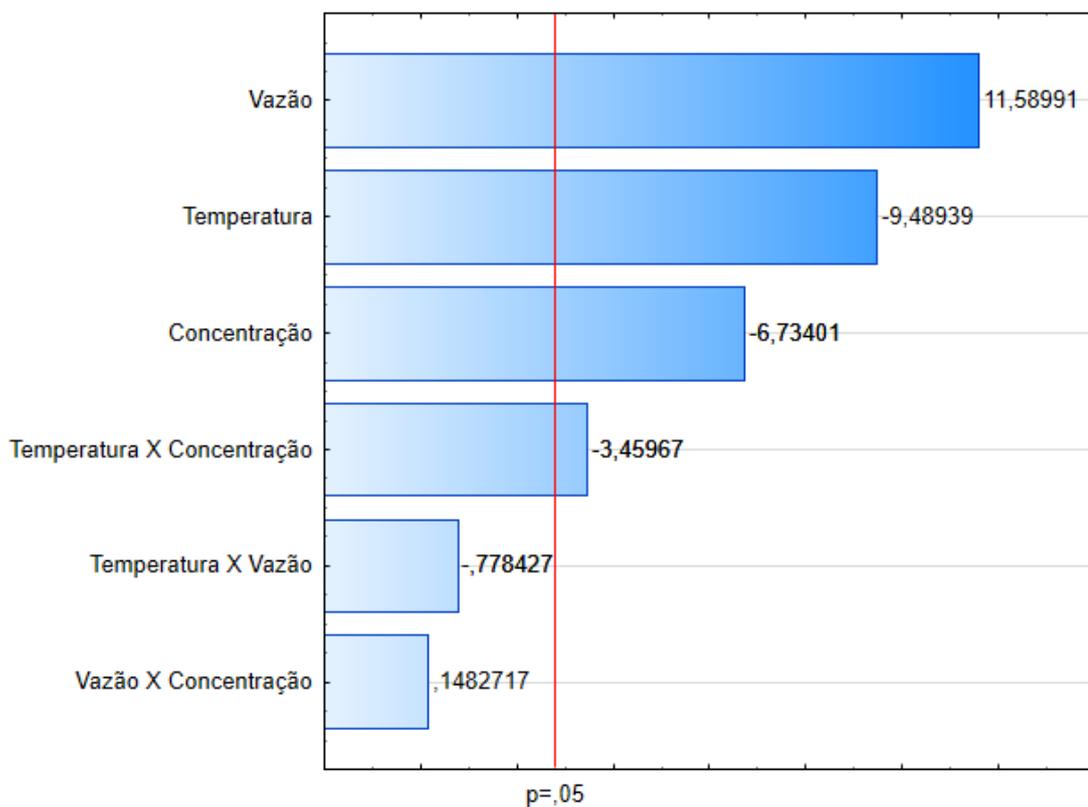
Pela Tabela 6, o rendimento da secagem variou entre os ensaios de 4,5 a 16,3%. O rendimento está diretamente relacionado com a eficiência do processo de secagem. Observa-se que o ensaio que obteve maior rendimento (16,3%) foi o ensaio 6, que resultou nos melhores valores de umidade e atividade de água, enquanto o ensaio 3, que obteve o pior rendimento (4,5%), também obteve os piores valores para umidade (16,2%) e atividade de água (0,596), ou seja, o aumento da umidade do pó reduz o rendimento do processo. Além de estar associado a eficiência da secagem, o rendimento também pode ser influenciado pela aglomeração e retenção das partículas em pó nas paredes internas do equipamento. Logo, a taxa de acúmulo do processo é um parâmetro inversamente proporcional ao rendimento.

O valor de proteína do soro de leite *in natura* foi de 1,7% (Tabela 5), e após a secagem este valor aumentou para um intervalo de 9,7 a 13,5%, ou seja, houve um aumento considerável na concentração de proteína entre o soro *in natura* e o soro em pó, que é o objetivo da secagem, de aumentar o aglomerado proteico. Estes resultados estão de acordo com o soro em pó utilizado por TAVARES (2011), em que as características físico-químicas do soro utilizado nos ensaios

foram retiradas da especificação técnica do fabricante, em que constava que a porcentagem de proteína deve ser no mínimo de 10%. Além disso, os soros em pó obtidos nos ensaios podem ser classificados como soro de leite em pó doce (ou integral), que é o produto mais simples obtido da desidratação do soro de leite fresco oriundo da fabricação de queijo. No entanto, estes resultados indicam que o produto obtido não pode ser considerado como concentrados protéicos de soro de leite, conhecidos como WPC (Whey Protein Concentrate) que deve possuir mais de 30% de concentração de proteínas, e conseqüentemente está distante de ser considerado como isolados protéico de soro de leite, conhecidos como WPI (Whey Protein Isolate) que deve possuir mais de 80% de concentração de proteínas.

A significância das variáveis estudadas e suas interações foram avaliadas através da análise estatística com nível de significância de 5%. Os resultados de significância das variáveis (vazão, temperatura e concentração) estão representados através do Diagrama de Pareto (Figura 4) e da tabela de ANOVA (Tabela 7). Na Figura 4 é apresentado o Diagrama de Pareto com os efeitos significativos da secagem do soro *in natura* para o parâmetro de umidade.

**Figura 4.** Diagrama de Pareto dos efeitos da secagem do soro *in natura* para a resposta de umidade em função da temperatura, vazão e concentração do soro.



Observa-se na Figura 4, a partir da representação das variáveis de estudo e de suas interações, que em relação a umidade das partículas de soro de leite em pó, os parâmetros que apresentaram efeito no processo de secagem foram a vazão volumétrica (variável com maior efeito), temperatura de secagem, concentração e a relação entre temperatura/concentração. Já as relações temperatura/vazão e vazão/concentração não apresentaram efeitos significativos.

Os dados de umidade obtidos a partir do soro de leite em pó *in natura* foram submetidos à Análise de Variância (ANOVA). Os dados estão apresentados na Tabela 7, com média  $\pm$  intervalo de confiança com nível de confiança de 95%.

**Tabela 7.** ANOVA para a resposta de umidade do soro em pó *in natura*.

	Soma do Quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	F calculado	R <sup>2</sup>
Regressão	92,5	6	15,4	47,1	0,9860
Erro	1,3	4	0,3		
Total	93,8	10			

$F_{\text{tab}} (6;4;0,05) = 6,2$

O valor obtido para o coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>) foi de 0,9860, indicando assim que 98,6% da variabilidade na resposta pode ser explicada pelo modelo estatístico. Este valor é considerado satisfatório para obtenção de um modelo válido e útil para fins preditivos. Segundo BOX et al. (1978), para que uma regressão seja significativa e útil para fins preditivos, a relação de  $F_{\text{calculado}} > F_{\text{tabelado}}$ . Para a resposta da umidade, os valores encontrados para  $F_{\text{calculado}}$  foi de 47,1 e para  $F_{\text{tabelado}}$  foi de 6,2, logo o modelo é válido estatisticamente ao nível de significância de 5%, o qual é apresentado na equação abaixo.

$$\text{umidade (\%)} = 10,94 - 1,92T + 2,34V - 1,36C - 0,16T \cdot V - 0,7T \cdot C + 0,03V \cdot C$$

Em que:

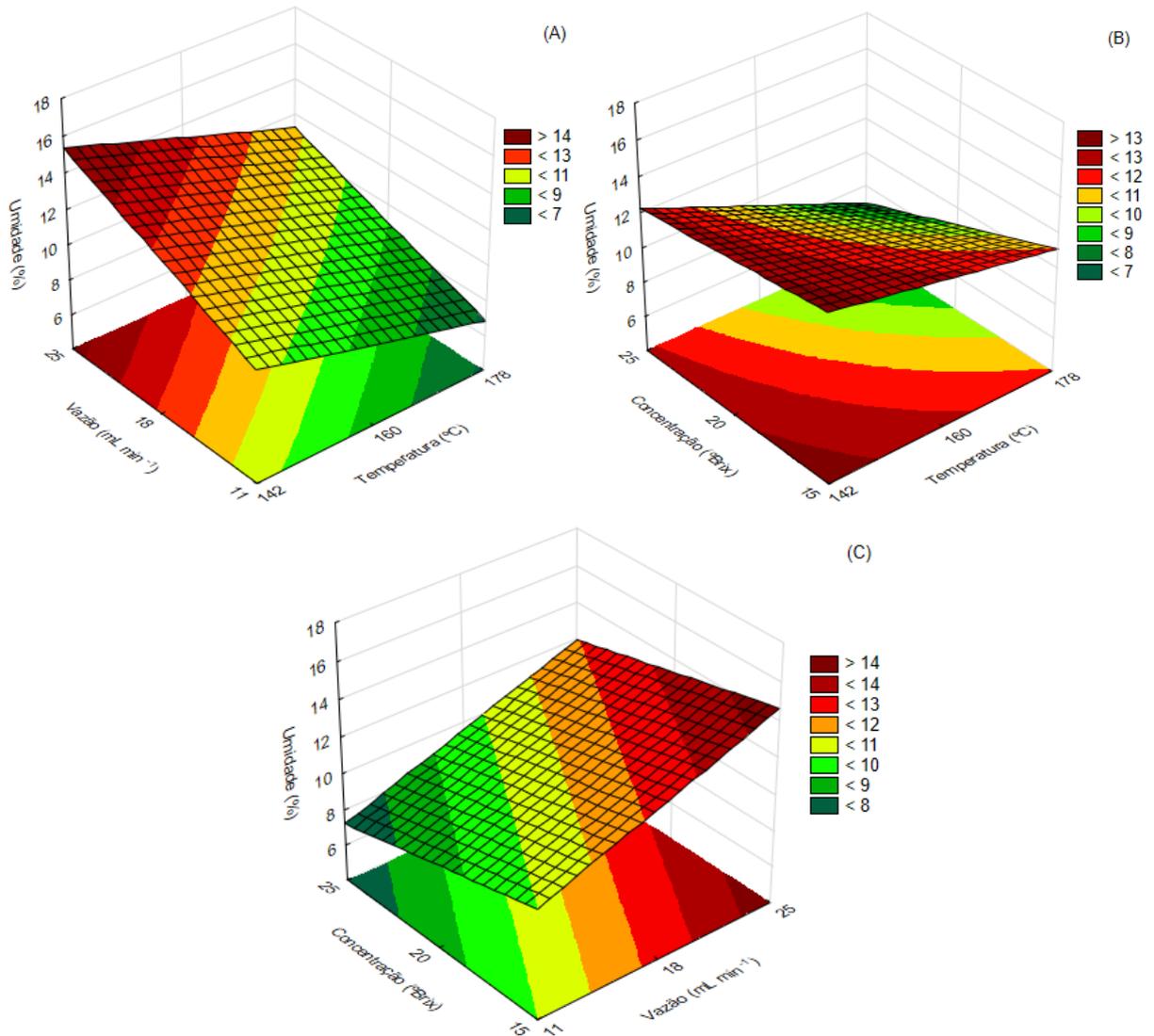
T: nível codificado da temperatura;

V: nível codificado da vazão volumétrica;

C: nível codificado da concentração de soro;

Os resultados obtidos pelo delineamento experimental são ilustrados na Figura 5, que apresenta as superfícies de resposta, em que é possível avaliar a tendência de comportamento da umidade das partículas de soro de leite em pó em relação às variáveis temperatura, vazão volumétrica e concentração de soro.

**Figura 5.** Superfícies de resposta para o efeito da (A) Vazão ( $\text{mL min}^{-1}$ ) e Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) (B) Concentração ( $^{\circ}\text{Brix}$ ) e Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) (C) Concentração ( $^{\circ}\text{Brix}$ ) e Vazão ( $\text{mL min}^{-1}$ ), sobre a umidade do soro *in natura* seco pelo *spray dryer*.



A partir da avaliação das curvas de superfície apresentadas Figura 5, observa-se que os valores da umidade foram reduzidos para maiores valores de temperatura, maiores valores de concentração de soro e menores valores de vazão volumétrica. Referente ao efeito da temperatura, o comportamento foi o esperado, em que maiores temperaturas resultaram em melhor eficiência de secagem. Isso ocorre, principalmente, devido ao aumento da temperatura do ar de secagem promover uma maior taxa de transferência de calor, fornecendo maior força motriz para a evaporação da água.

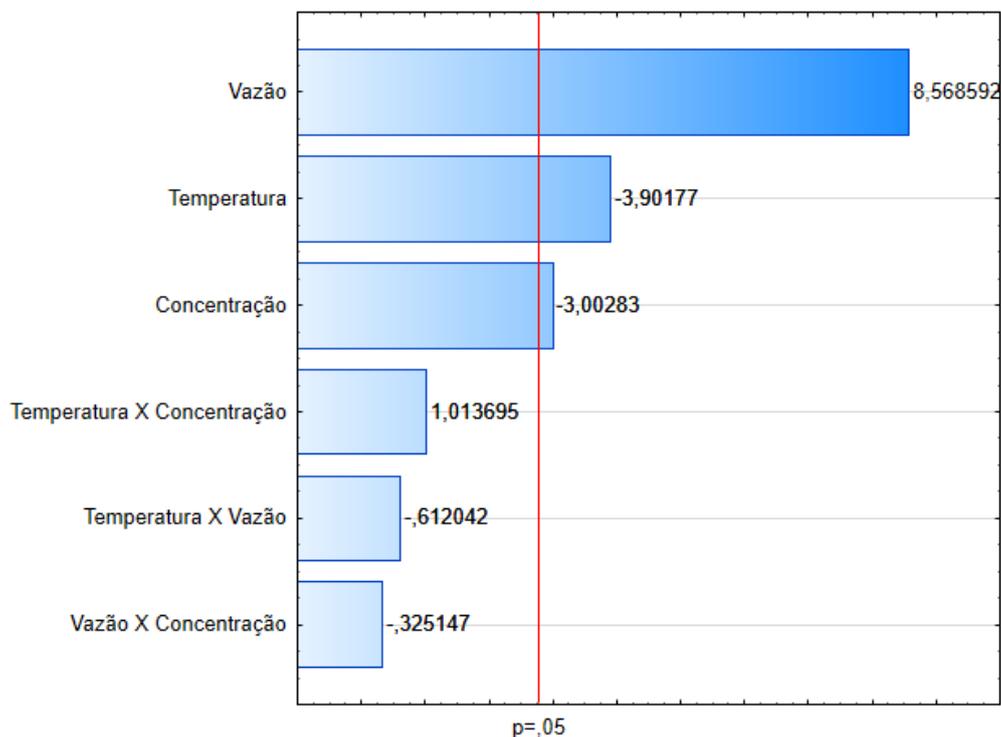
NUNES (2015) ao avaliar a umidade do soro de leite em pó, obtido a partir da secagem do soro de queijo muçarela, também observou diminuição da umidade ao aumentar a

temperatura de secagem de 80 para 100 °C. Este mesmo comportamento de aumento da temperatura resultando em redução da umidade foi observado por BARBOSA (2010), ao realizar a secagem de polpas de cajá, manga e mamão, variando a temperatura de secagem de 155 para 165 °C. No entanto, MORAES (2014), ao realizar a secagem de polpa de caju, variando a temperatura de secagem de 140 para 150 °C, não observou diferença significativa na umidade do pó obtido, evidenciando a importância do estudo de cada caso em um processo de secagem.

Em relação a vazão de alimentação, o resultado encontrado pelo planejamento experimental pode ser justificado que em fluxos volumétricos menores, uma menor quantidade de soro entra em contato com o ar de secagem por minuto, favorecendo a remoção da água. Referente ao efeito da concentração inicial de soro, em que menores valores de umidade foram obtidos nos ensaios com maiores concentrações iniciais, este resultado é coerente pois as amostras que inicialmente já se encontravam com menor quantidade de água foram as que obtiveram maior eficiência na secagem.

Na Figura 6 é apresentado o Diagrama de Pareto com os efeitos significativos da secagem do soro *in natura* para o parâmetro de atividade de água.

**Figura 6.** Diagrama de Pareto dos efeitos da secagem do soro *in natura* para a resposta de atividade de água em função da temperatura, vazão e concentração do soro.



Pelo Diagrama de Pareto foi possível observar que as variáveis vazão volumétrica, temperatura e concentração de soro foram os parâmetros que apresentaram efeito na atividade de água das partículas de soro de leite em pó com nível de confiança de 95%. A variável vazão volumétrica apresentou efeito positivo, indicando que a redução desta variável no intervalo investigado, favoreceu a redução na atividade de água. Enquanto que as variáveis temperatura e concentração de soro apresentaram efeito negativo, ou seja, o aumento nestas variáveis resultou em redução na atividade de água. As relações temperatura/concentração, temperatura/vazão e vazão/concentração não apresentaram efeitos significativos.

Os dados de atividade de água obtidos a partir do soro de leite em pó *in natura* foram submetidos à Análise de Variância (ANOVA). Os dados estão apresentados na Tabela 8, com média  $\pm$  intervalo de confiança com nível de confiança de 95%.

**Tabela 8.** ANOVA para a resposta de atividade de água do soro em pó *in natura*.

	Soma do Quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	F calculado	R <sup>2</sup>
Regressão	0,135	6	0,02259	16,5	0,9612
Erro	0,006	4	0,00137		
Total	0,141	10			

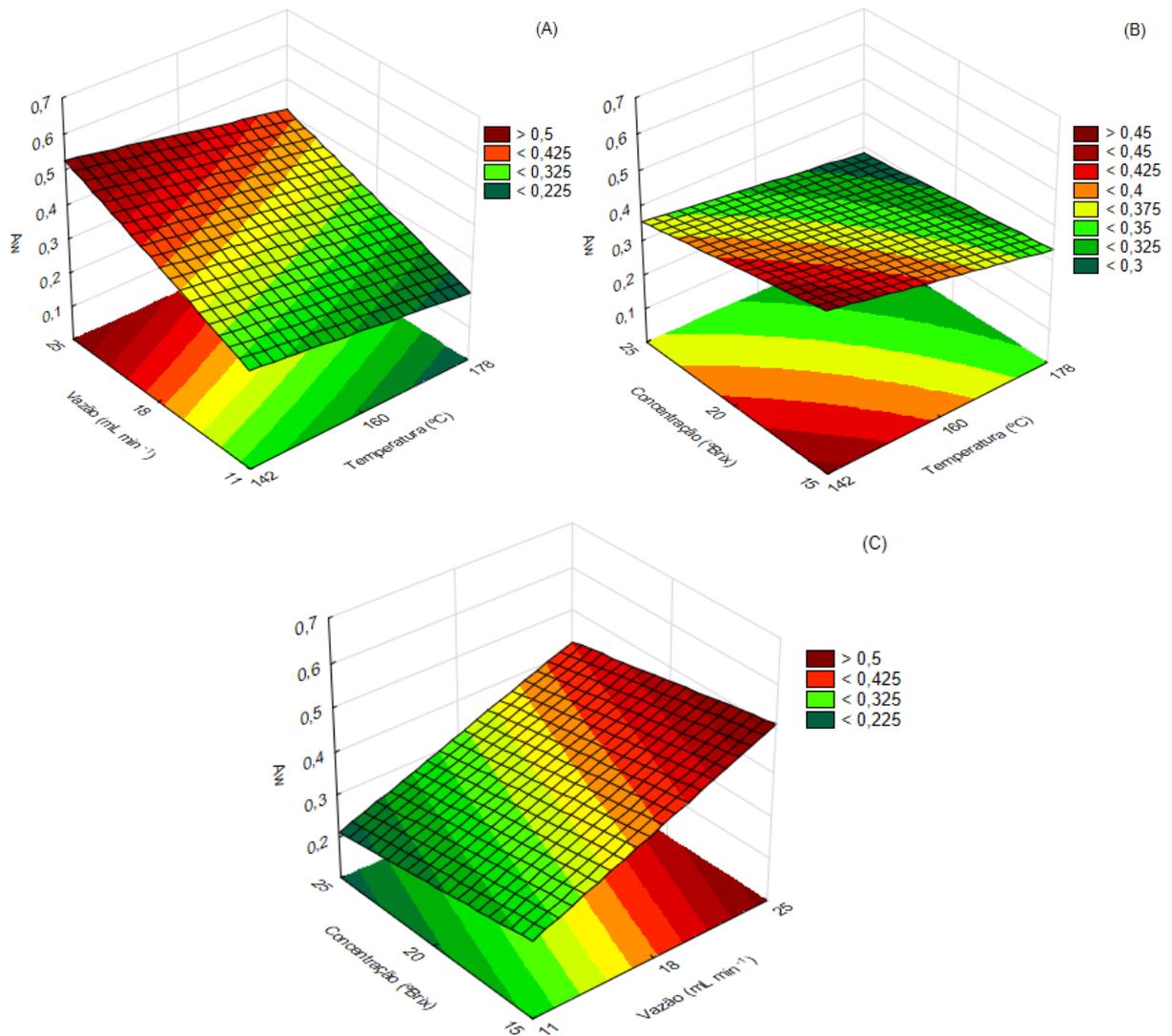
$$F_{\text{tab}}(6;4;0,05) = 6,2$$

O valor obtido para R<sup>2</sup> foi de 0,9612, indicando assim que 96,12% da variabilidade na resposta pode ser explicada pelo modelo estatístico. Este valor é considerado satisfatório para obtenção de um modelo válido e útil para fins preditivos. Para a resposta da atividade de água, os valores encontrados para F<sub>calculado</sub> foi de 16,5 e para F<sub>tabelado</sub> foi de 6,2, logo F<sub>calculado</sub> > F<sub>tabelado</sub> e assim, o modelo é válido estatisticamente ao nível de significância de 5%, o qual é apresentado na equação abaixo.

Os resultados obtidos pelo delineamento experimental são ilustrados na Figura 7, que apresenta as superfícies de resposta para a variável atividade de água das partículas de soro de leite *in natura* em pó.

Pelas superfícies de resposta foi possível avaliar a tendência da atividade de água do soro seco em relação as variáveis concentração de soro, vazão de alimentação e temperatura. Neste sentido, a Figura 7 mostrou que a atividade de água foi reduzida para maiores valores de temperatura, maiores valores da concentração do soro e para menores valores de vazão volumétrica.

**Figura 7.** Superfícies de resposta para o efeito da temperatura e vazão (A), temperatura e concentração de soro (B), vazão e concentração de soro (C), sobre a atividade de água do soro *in natura* seco pelo *spray dryer*.

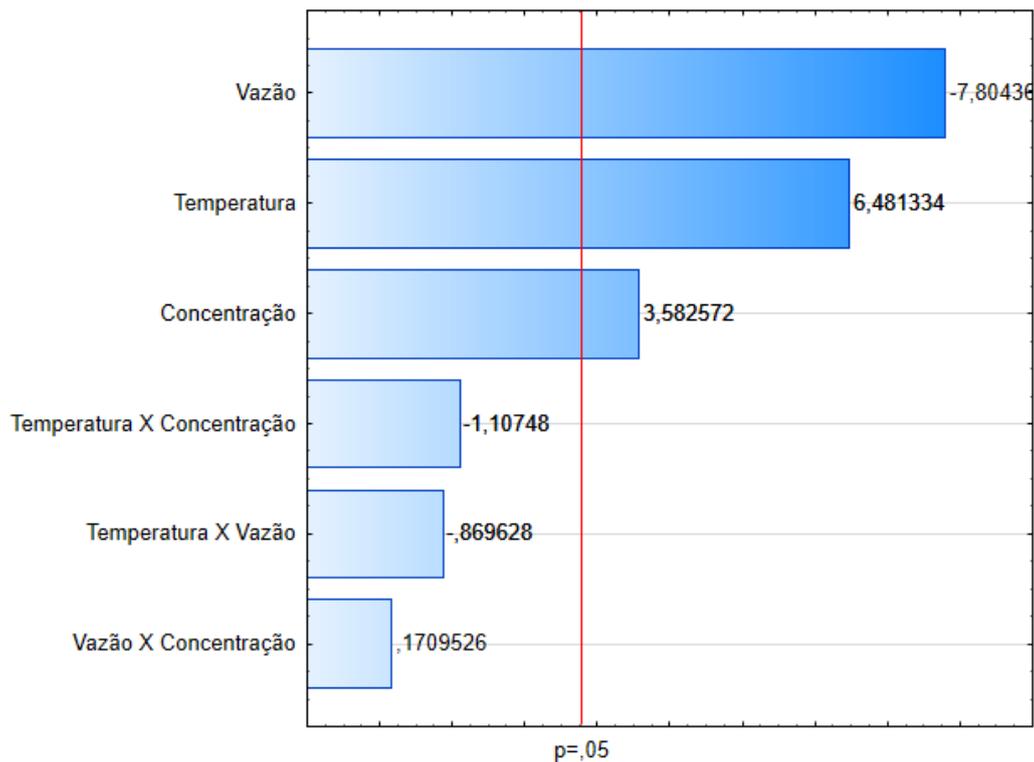


Referente ao efeito da temperatura, em que a  $A_w$  apresentou menores resultados em temperaturas mais elevadas, sugerindo que a utilização de maiores temperaturas de entrada reduzem o teor de água livre no produto, o que está de acordo com outros trabalhos como BARBOSA (2010), que determinou a influência das condições de secagem sobre os parâmetros de qualidade de suco em pó de mistura de polpas de cajá, manga e mamão obtido por *spray dryer* a 155°C e 165 °C e que constatou que a utilização de maiores temperaturas para o ar de entrada reduziu o teor de água livre ( $A_w$ ) no produto. No entanto, NUNES (2015) ao avaliar a atividade de água de soro de leite *in natura* em pó, não observou diferença significativa na secagem em *spray dryer* entre as temperaturas de 80 e 100 °C. Neste mesmo sentido, MORAES (2014), que secou de polpa de caju em *spray dryer* nas temperaturas de 140 e 150 °C, também

não encontrou diferença significativa para a atividade de água nestas temperaturas. Estes diferentes comportamentos indicam a importância de estudar os efeitos dos parâmetros de secagem para a atividade de água de produtos secos.

Na Figura 8 é apresentado o Diagrama de Pareto com os efeitos significativos da secagem do soro *in natura* para o parâmetro de rendimento de secagem.

**Figura 8.** Diagrama de Pareto dos efeitos da secagem do soro *in natura* para a resposta de rendimento de secagem em função da temperatura, vazão e concentração do soro.



Pela Figura 8, as variáveis vazão volumétrica, temperatura e concentração de soro foram os parâmetros que apresentaram efeito no rendimento de secagem do soro de leite *in natura* com nível de confiança de 95%. A variável vazão volumétrica apresentou efeito negativo, indicando que a redução desta variável no intervalo investigado, favoreceu o rendimento de secagem. As variáveis temperatura e concentração de soro apresentaram efeito positivo, ou seja, o aumento nestas variáveis resultou em melhor rendimento de secagem. As relações temperatura/concentração, temperatura/vazão e vazão/concentração não apresentaram efeitos significativos.

Os dados de rendimento de secagem obtidos a partir do soro de leite em pó *in natura* foram submetidos à Análise de Variância (ANOVA). Os dados estão apresentados na Tabela 9, com média  $\pm$  intervalo de confiança com nível de confiança de 95%.

**Tabela 9.** ANOVA para a resposta de rendimento de secagem do soro *in natura*.

	Soma do Quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	F calculado	R <sup>2</sup>
Regressão	106,6	6	17,8	19,6	0,9672
Erro	3,6	4	0,9		
Total	110,2	10			

$$F_{\text{tab}} (6;4;0,05) = 6,2$$

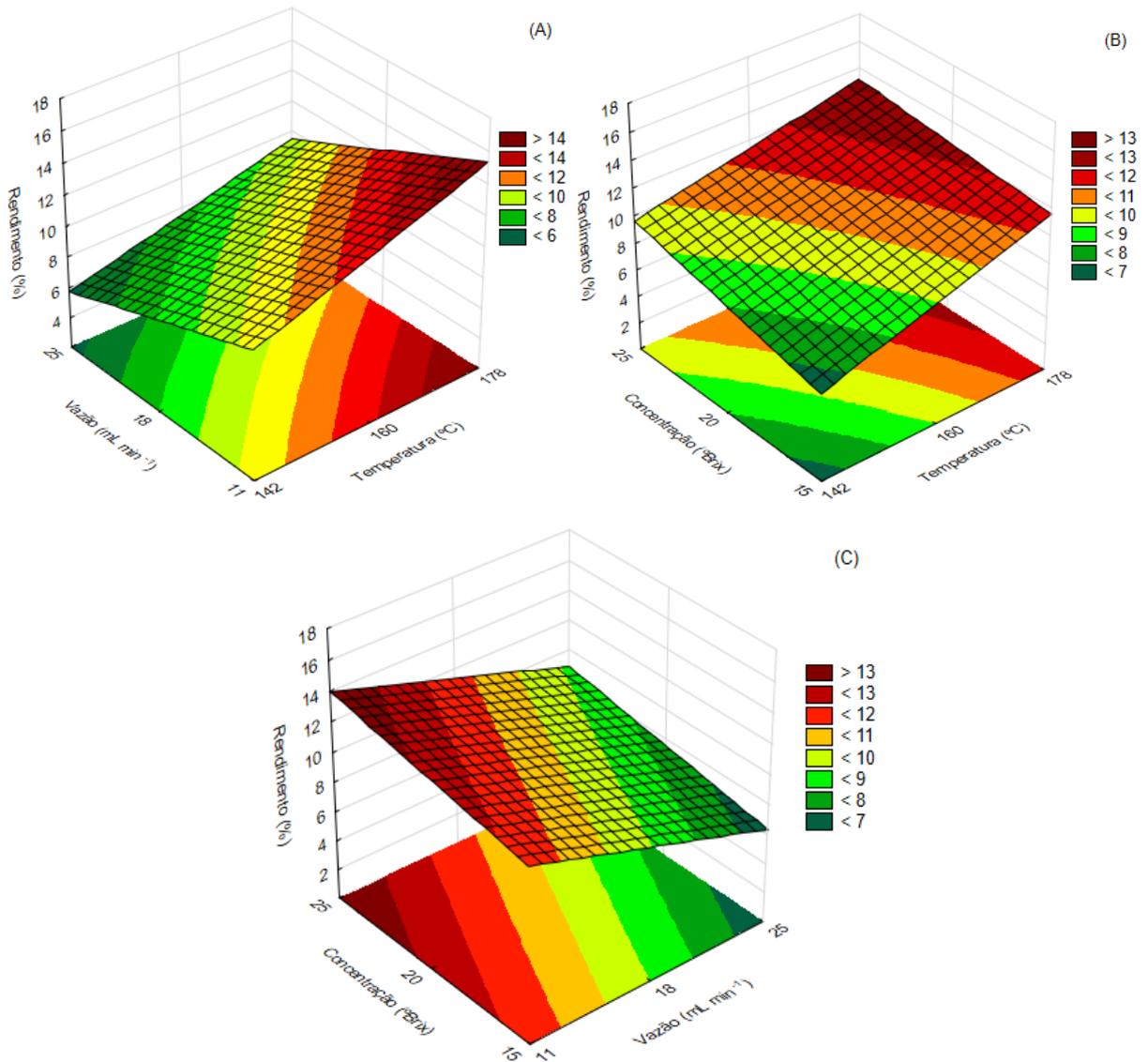
O valor obtido para R<sup>2</sup> foi de 0,9672, indicando assim que 96,72% da variabilidade na resposta pode ser explicada pelo modelo estatístico, que é um valor satisfatório para obtenção de um modelo válido e útil para fins preditivos. Para a resposta do rendimento de secagem, os valores encontrados para F<sub>calculado</sub> foi de 19,6 e para F<sub>tabelado</sub> foi de 6,2, logo F<sub>calculado</sub> > F<sub>tabelado</sub> e assim, o modelo é válido estatisticamente ao nível de significância de 5%, o qual é apresentado na equação abaixo.

Os resultados obtidos pelo delineamento experimental são ilustrados na Figura 9, que apresenta as superfícies de resposta para a variável rendimento de secagem das partículas de soro de leite *in natura* em pó.

Pelas superfícies de resposta foi possível avaliar a tendência do rendimento de secagem do soro *in natura* em relação as variáveis concentração de soro, vazão de alimentação e temperatura. Neste sentido, a Figura 9 mostrou que o rendimento de secagem foi favorecido para maiores valores de temperatura, maiores valores da concentração do soro e para menores valores de vazão volumétrica.

De acordo com SOUZA (2013), a temperatura influencia diretamente no rendimento do processo, e assim o aumento na temperatura pode favorecer a maior eficiência de transferência de calor e massa, bem como diminuir a probabilidade das partículas que não secaram completamente, se chocarem e aderirem à superfície da câmara de secagem, favorecendo melhor rendimento de secagem. Neste sentido, FAZAELI et al. (2012), ao realizarem a secagem em *spray dryer* de suco de amora preta, observaram aumento significativo do rendimento com o aumento da temperatura de secagem

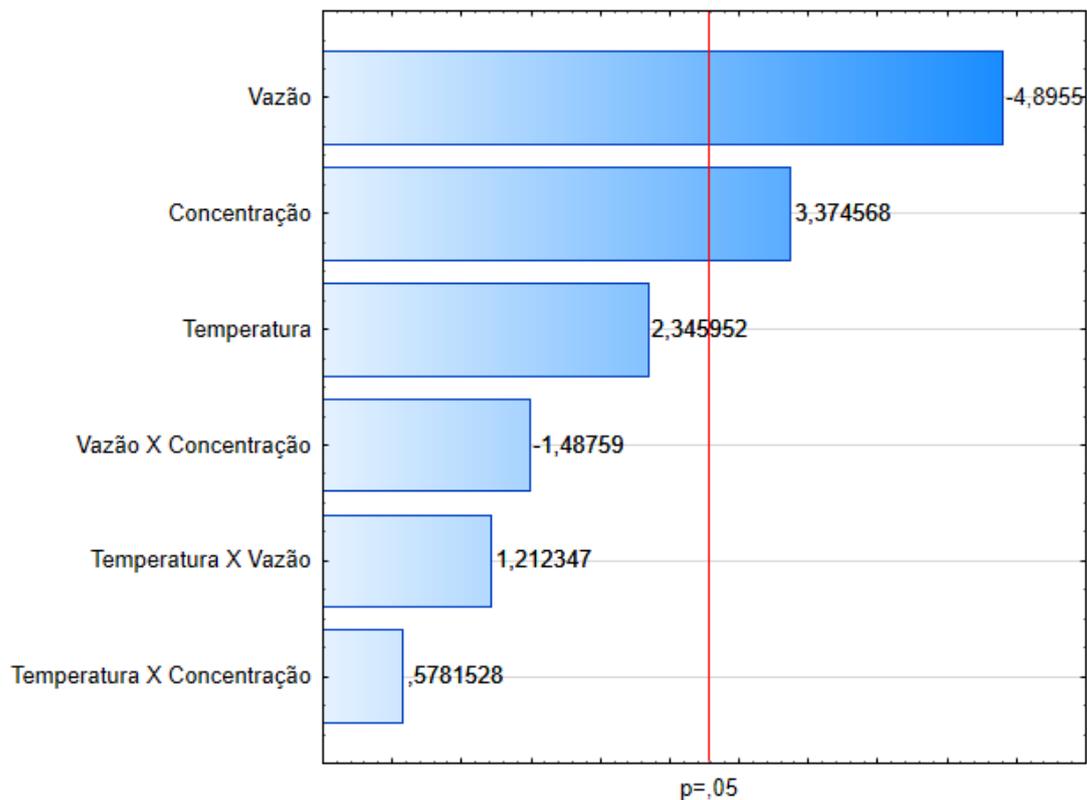
**Figura 9.** Superfícies de resposta para o efeito da temperatura e vazão (a), temperatura e concentração de soro (b), vazão e concentração de soro (c), sobre o rendimento de secagem do soro *in natura* seco pelo *spray dryer*.



No entanto, NUNES (2015) ao estudar o rendimento de secagem de soro de leite *in natura*, observou a diminuição do rendimento com o aumento da temperatura 80 para 100 °C, e justificou que a temperatura mais elevada favoreceu a formação de lactose amorfa, que por ser mais instável, teve por consequência resultar em um pó com textura mais pegajosa e assim ter mais aderência nas paredes do equipamento, diminuindo o rendimento do processo. Logo, a análise dos parâmetros operacionais da secagem em *spray dryer* precisam ser estudados para encontrar-se os melhores resultados para o rendimento de secagem.

Na Figura 10 é apresentado o Diagrama de Pareto com os efeitos significativos da secagem do soro *in natura* para o parâmetro de concentração de proteína.

**Figura 10.** Diagrama de Pareto dos efeitos da secagem do soro *in natura* para a resposta de concentração de proteína em função da temperatura, vazão e concentração do soro.



Pela Figura 10, as variáveis vazão volumétrica, temperatura e concentração de soro foram os parâmetros que apresentaram efeito na concentração de proteínas na secagem do soro de leite *in natura* com nível de confiança de 95%. A variável vazão volumétrica apresentou efeito negativo, indicando que a redução desta variável no intervalo investigado, favoreceu maior concentração de proteína no soro seco. A variável concentração de soro apresentou efeito positivo, ou seja, o aumento nesta variável resultou em maiores concentrações de proteínas no soro em pó. A variável temperatura e as relações temperatura/concentração, temperatura/vazão e vazão/concentração não apresentaram efeitos significativos.

Diferentemente das respostas anteriores (umidade, atividade de água e rendimento), percebe-se que a concentração de proteína do soro de leite em pó não teve variação significativa com as temperaturas de secagem testadas, ou seja, a temperatura não exerceu influência em aumentar significativamente o teor de proteína nas partículas de soro de leite em pó.

Os dados de concentração de proteína obtidos a partir do soro de leite em pó *in natura* foram submetidos à Análise de Variância (ANOVA). Os dados estão apresentados na Tabela 10, com média  $\pm$  intervalo de confiança com nível de confiança de 95%.

**Tabela 10.** ANOVA para a resposta de concentração de proteína do soro *in natura*.

	Soma do Quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	F calculado	R <sup>2</sup>
Regressão	11,15	6	1,858	7,5	0,9182
Erro	0,99	4	0,248		
Total	12,14	10			

$$F_{\text{tab}}(6;4;0,05) = 6,2$$

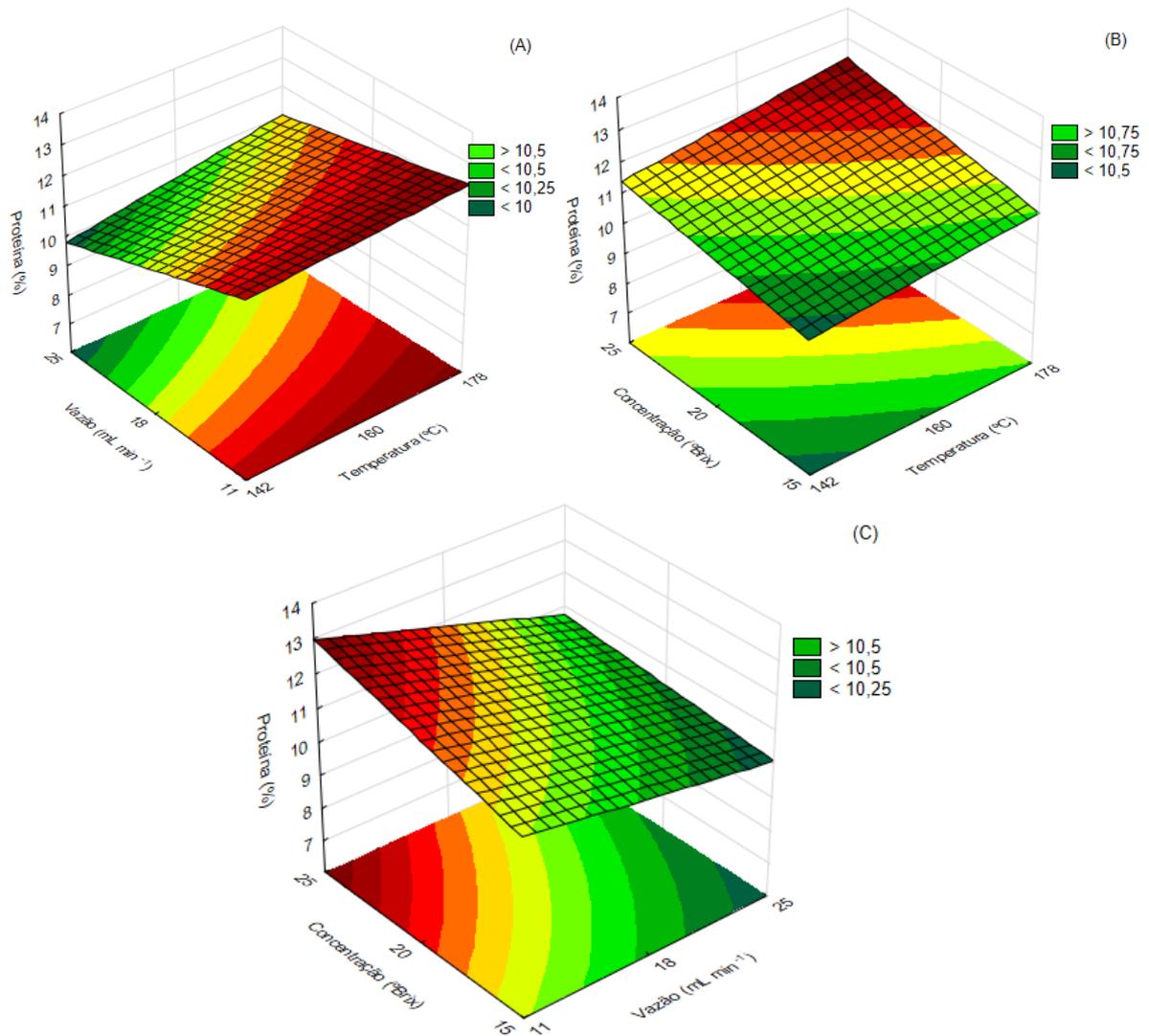
O valor obtido para R<sup>2</sup> foi de 0,9182, indicando assim que 91,82% da variabilidade na resposta pode ser explicada pelo modelo estatístico, que é um valor satisfatório para obtenção de um modelo válido e útil para fins preditivos. Para a resposta da concentração de proteína no soro seco, os valores encontrados para F<sub>calculado</sub> foi de 7,5 e para F<sub>tabelado</sub> foi de 6,2, logo F<sub>calculado</sub> > F<sub>tabelado</sub> e assim, o modelo é válido estatisticamente ao nível de significância de 5%, o qual é apresentado na equação abaixo.

Os resultados obtidos pelo delineamento experimental são ilustrados na Figura 11, que apresenta as superfícies de resposta para a variável concentração de proteína das partículas de soro de leite *in natura* em pó.

Pelas superfícies de resposta foi possível avaliar a tendência da concentração de proteína do soro *in natura* seco em relação as variáveis concentração de soro, vazão de alimentação e temperatura. Neste sentido, a Figura 11 mostrou que maiores concentrações de proteína foram obtidas para maiores valores de temperatura, maiores valores da concentração do soro e para menores valores de vazão volumétrica.

Na busca de se obter concentrados protéicos de soro de leite, ou seja, que as partículas de soro em pó tenham elevados teores de proteínas, como a temperatura de secagem não se mostrou um fator significativo para aumentar a concentração de proteína, a otimização desta resposta deve ser pela avaliação da concentração inicial de soro e vazão volumétrica. Referente a concentração inicial de soro, os resultados obtidos foram coerentes, uma vez que quanto mais se concentrasse o soro na etapa de evaporação, esperava-se obter maiores teores de proteína ao final da secagem. Referente a vazões volumétricas mais baixas influenciarem em maior concentração de proteína do soro em pó, este resultado pode estar associado a fluxos volumétricos menores melhorarem significativamente a eficiência de secagem.

**Figura 11.** Superfícies de resposta para o efeito da temperatura e vazão (a), temperatura e concentração de soro (b), vazão e concentração de soro (c), sobre a concentração de proteína do soro *in natura* seco pelo *spray dryer*.



### 3.3. SECAGEM DO SORO DE LEITE ENCAPSULADO COM MALTO DEXTRINA PELO *SPRAY DRYER*.

A secagem do soro de leite *in natura* utilizando o *spray dryer* em diferentes condições de temperatura de secagem, vazão volumétrica e concentração inicial do soro (item 4.2) resultou, de forma geral, em partículas de soro em pó com teores de umidade acima de 5% e com atividade de água acima de 0,2 (que seriam valores desejados), com rendimento próximos a 10% e concentração de proteína também próximas de 10% (valores que se deseja aumentar). Neste sentido, em busca de melhorar as respostas destas variáveis, foi proposto estudar a encapsulação do soro de leite *in natura* com maltodextrina (material encapsulante) em diferentes concentrações, e então realizar a secagem em *spray dryer* do soro encapsulado.

Os resultados do planejamento fatorial  $2^4$  com três pontos centrais para a secagem do soro encapsulado com maltodextrina (MD) utilizando o *spray dryer*, para as análises de umidade, atividade de água ( $A_w$ ), rendimento de secagem e concentração de proteína estão expressos na Tabela 11. Afim de comparação, na Tabela 11 também estão apresentados os resultados encontrados para a secagem do soro de leite *in natura* (IN) para cada ensaio nas mesmas condições de temperatura, vazão volumétrica e concentração de soro (resultados que foram apresentados na Tabela 6).

**Tabela 11.** Resultados do planejamento experimental  $2^4$  com três pontos centrais para a secagem do soro encapsulado com malto dextrina (MD) utilizando o *spray dryer* comparando com o planejamento experimental da secagem do soro *in natura* (IN): umidade, atividade de água ( $A_w$ ), rendimento de secagem e concentração de proteína.

Temperatura (°C)	Vazão (mL min <sup>-1</sup> )	[ ] Soro (%)	[ ] MD (%)	Umidade (%)		$A_w$		Rendimento (%)		Proteína (%)	
				MD	IN*	MD	IN*	MD	IN*	MD	IN*
-1 (145)	-1 (12)	-1 (15)	-1 (10)	4,2	11,2	0,178	0,351	15,2	9,0	14,7	11,4
1 (175)	-1 (12)	-1 (15)	-1 (10)	3,7	9,1	0,125	0,235	24,2	15,0	15,0	11,5
-1 (145)	1 (24)	-1 (15)	-1 (10)	13,5	16,2	0,386	0,596	9,2	4,5	13,3	9,7
1 (175)	1 (24)	-1 (15)	-1 (10)	12,9	13,4	0,304	0,455	14,6	8,7	14,1	10,8
-1 (145)	-1 (12)	1 (25)	-1 (10)	4,0	9,9	0,125	0,251	16,2	12,3	15,8	12,9
1 (175)	-1 (12)	1 (25)	-1 (10)	2,2	4,9	0,104	0,195	26,9	16,3	16,1	13,5
-1 (145)	1 (24)	1 (25)	-1 (10)	13,0	14,9	0,347	0,486	11,8	7,5	13,7	10,2
1 (175)	1 (24)	1 (25)	-1 (10)	3,8	9,4	0,227	0,391	17,9	10,8	15,1	11,6
-1 (145)	-1 (12)	-1 (15)	1 (20)	6,1		0,172		23,7		16,5	
1 (175)	-1 (12)	-1 (15)	1 (20)	4,3		0,151		31,1		17,2	
-1 (145)	1 (24)	-1 (15)	1 (20)	13,4		0,394		15,3		15,1	
1 (175)	1 (24)	-1 (15)	1 (20)	11,2		0,311		22,7		15,9	
-1 (145)	-1 (12)	1 (25)	1 (20)	4,1		0,136		25,8		18,6	
1 (175)	-1 (12)	1 (25)	1 (20)	3,1		0,106		34,9		20,0	
-1 (145)	1 (24)	1 (25)	1 (20)	11,9		0,377		18,2		15,8	
1 (175)	1 (24)	1 (25)	1 (20)	3,3	9,4	0,212	0,391	22,6	10,8	19,0	11,6
0 (160)	0 (18)	0 (20)	0 (15)	4,8	10,2	0,173	0,326	20,2	9,1	16,9	10,8
0 (160)	0 (18)	0 (20)	0 (15)	5,2	10,3	0,186	0,315	21,4	10,0	17,8	10,7
0 (160)	0 (18)	0 (20)	0 (15)	5,0	10,8	0,196	0,320	19,6	9,0	17,4	10,9

Na Tabela 11, ao se comparar o teor de umidade entre os ensaios de secagem do soro de leite *in natura* (IN) com a secagem do soro de leite encapsulado (MD), observa-se que foi reduzido em todos os ensaios. O teor de umidade do soro IN que estava em um intervalo de 5 a 16% reduziu para um intervalo entre 2 a 13% para o soro MD, conforme as condições de temperatura, vazão volumétrica e concentração inicial de soro. Desta forma, o uso da maltodextrina como agente encapsulante atingiu o objetivo de melhorar a resposta do teor de umidade nas partículas do soro em pó satisfatoriamente, uma vez que em vários ensaios a umidade ficou abaixo de 5%, que é o valor preconizado pela legislação brasileira (BRASIL, 2020).

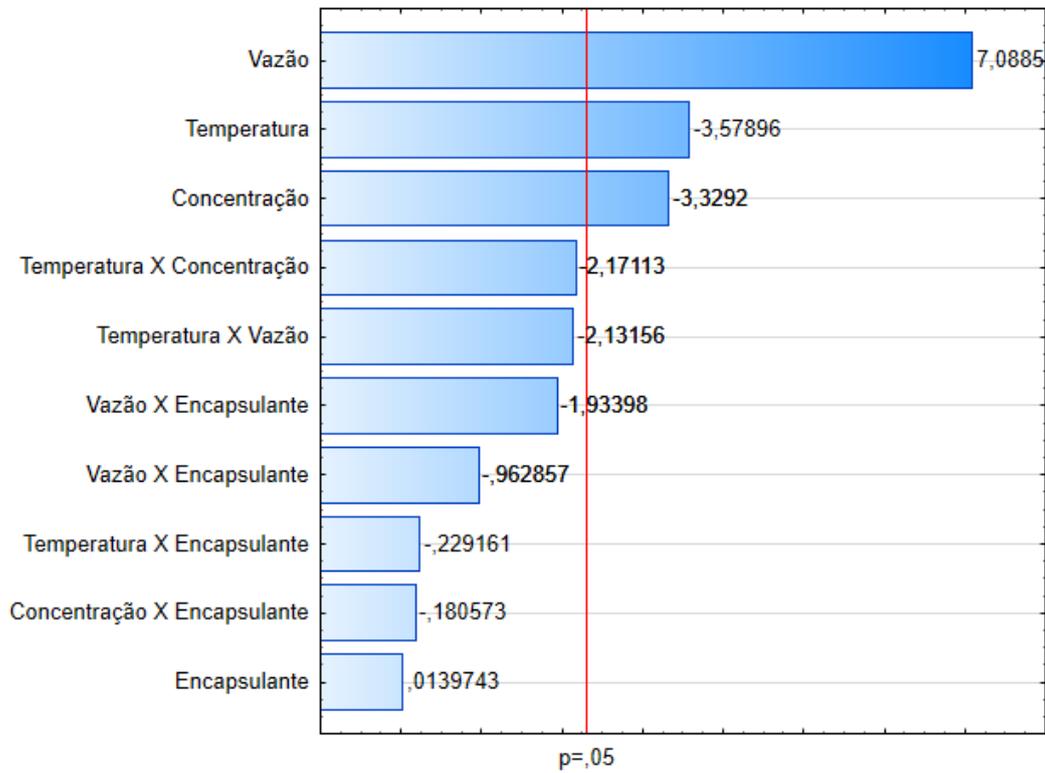
O mesmo comportamento favorável, que o encapsulamento do soro com maltodextrina apresentou em reduzir a umidade do soro em pó, foi observado para a resposta de atividade de água. A atividade de água do soro IN que estava em um intervalo entre 0,195 a 0,596 foi reduzida para um intervalo entre 0,104 a 0,386. Além disso, foi possível observar que diferentemente do soro IN, em que em vários ensaios de secagem o resultado encontrado para atividade de água foi em uma faixa tecnologicamente crítica para lácteos desidratados (entre 0,3 a 0,5), o soro MD em muitos ensaios chegou a valores de  $A_w$  próximos a 0,2, que é a faixa de melhor conversão para lácteos desidratados (SCHUCK et al., 2008). Assim, o uso da maltodextrina como agente encapsulante também melhorou satisfatoriamente a resposta da variável atividade de água nas partículas do soro em pó.

Em relação ao rendimento de secagem, observa-se pela Tabela 11 que o uso da maltodextrina como agente encapsulante foi positiva, pois o rendimento nas amostras de soro MD foram maiores que das amostras de soro IN. NUNES (2015) ressaltou que o agente encapsulante proporciona ao pó uma maior temperatura de transição vítrea e, conseqüentemente menores valores de higroscopicidade, que acaba minimizando a aderência entre as partículas e também a adesão destas na parede do equipamento, e por isso o uso de agentes encapsulantes aumenta do rendimento do processo. O rendimento no soro IN foi na faixa entre 4,5 a 16,2%, enquanto que para o soro MD o rendimento aumentou para uma faixa entre 9,2 a 26,9%.

A concentração de proteína no soro IN foi no intervalo de 9,7 a 13,5%, e aumentou para um intervalo entre 13,3 a 20,0% para o soro MD, ou seja, houve um aumento considerável na concentração de proteína ao encapsular o soro de leite. Essas comparações mostram o quanto a adição de maltodextrina impactou no processo de secagem, visto que todos os parâmetros apontados obtiveram valores melhores se comparados com a secagem do soro *in natura*.

Na Figura 12 é apresentado o Diagrama de Pareto com os efeitos significativos da secagem do soro encapsulado com maltodextrina para o parâmetro de umidade.

**Figura 12.** Diagrama de Pareto dos efeitos da secagem do soro encapsulado para a resposta de umidade em função da temperatura, vazão e concentração do soro.



Pela Figura 12, as variáveis vazão volumétrica, temperatura e concentração de soro foram os parâmetros que apresentaram efeito na umidade do soro de leite encapsulado com nível de confiança de 95%. Observa-se que apesar do encapsulamento do soro com maltodextrina ter reduzido significativamente a umidade das partículas de soro, a variação da concentração do encapsulante não apresentou efeito significativo.

A variável vazão volumétrica apresentou efeito positivo, indicando que a redução desta variável no intervalo investigado, favoreceu a redução da umidade das partículas de soro seco. As variáveis temperatura e concentração de soro apresentaram efeito negativo, ou seja, o aumento nestas variáveis resultou em redução da umidade. A variável encapsulante e todas relações entre as variáveis estudadas (temperatura/concentração, temperatura/vazão, temperatura/encapsulante, vazão/concentração, vazão/encapsulante, concentração/encapsulante) não apresentaram efeitos significativos.

Os dados de umidade obtidos a partir do soro de leite em pó encapsulado foram submetidos à Análise de Variância (ANOVA). Os dados estão apresentados na Tabela 12, com média  $\pm$  intervalo de confiança com nível de confiança de 95%.

**Tabela 12.** ANOVA para a resposta de umidade do soro em pó encapsulado.

	Soma do Quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	F calculado	R <sup>2</sup>
Regressão	285,7	10	28,6	8,8	0,9168
Erro	25,9	8	3,2		
Total	311,6	18			

$$F_{\text{tab}}(10;8;0,05) = 3,3$$

O valor obtido para R<sup>2</sup> foi de 0,9168, indicando assim que 91,68% da variabilidade na resposta pode ser explicada pelo modelo estatístico, que é um valor satisfatório para obtenção de um modelo válido e útil para fins preditivos. Para a resposta da umidade no soro seco encapsulado, os valores encontrados para F<sub>calculado</sub> foi de 8,8 e para F<sub>tabelado</sub> foi de 3,3, logo F<sub>calculado</sub> > F<sub>tabelado</sub> e assim, o modelo é válido estatisticamente ao nível de significância de 5%, o qual é apresentado na equação abaixo.

$$\begin{aligned} \text{Umidade}(\%) = & 6,82 - 1,61T + 3,19V - 1,5C + 0,001E - 0,96T.V - 0,98T.C \\ & - 0,1T.E - 0,87V.C - 0,43V.E - 0,08C.E \end{aligned}$$

Em que:

T: nível codificado da temperatura;

V: nível codificado da vazão volumétrica;

C: nível codificado da concentração de soro;

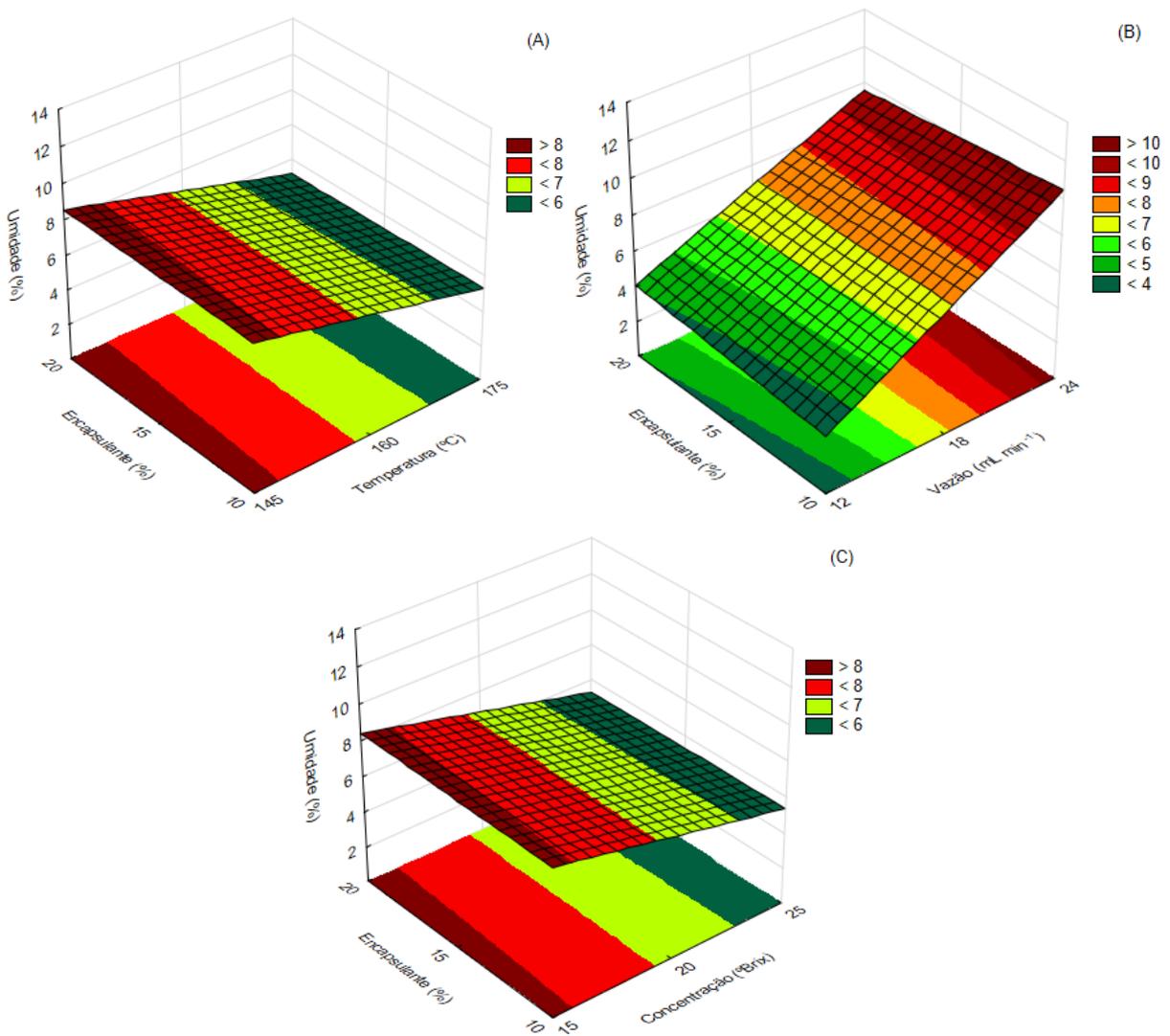
E: nível codificado da concentração de material encapsulante (maltodextrina).

Os resultados obtidos pelo delineamento experimental são ilustrados na Figura 13, que apresenta as superfícies de resposta para a variável umidade das partículas de soro de leite encapsulado em pó. No entanto, como o comportamento das curvas de superfície entre as variáveis temperatura/vazão, temperatura/concentração e vazão/concentração foram similares ao observado na secagem do soro *in natura* (Figura 5), estes gráficos não foram apresentados na Figura 13. Logo, na Figura 13 foi apresentado as curvas de superfície que envolveram a concentração do encapsulante.

Pelas superfícies de resposta foi possível avaliar a tendência da umidade do soro encapsulado seco em relação as variáveis concentração de soro, vazão de alimentação, temperatura e concentração do encapsulante. Neste sentido, a Figura 13 mostrou que a umidade foi reduzida para maiores valores de temperatura, maiores valores da concentração do soro e

para menores valores de vazão volumétrica. Além disso, a umidade não apresentou variações significativas a partir da variação na concentração do encapsulante (maltodextrina).

**Figura 13.** Superfícies de resposta para o efeito da temperatura e concentração de MD (A), vazão e concentração de MD (B), concentração de soro e concentração de MD (C), sobre a umidade do soro seco encapsulado com MD pelo *spray dryer*.



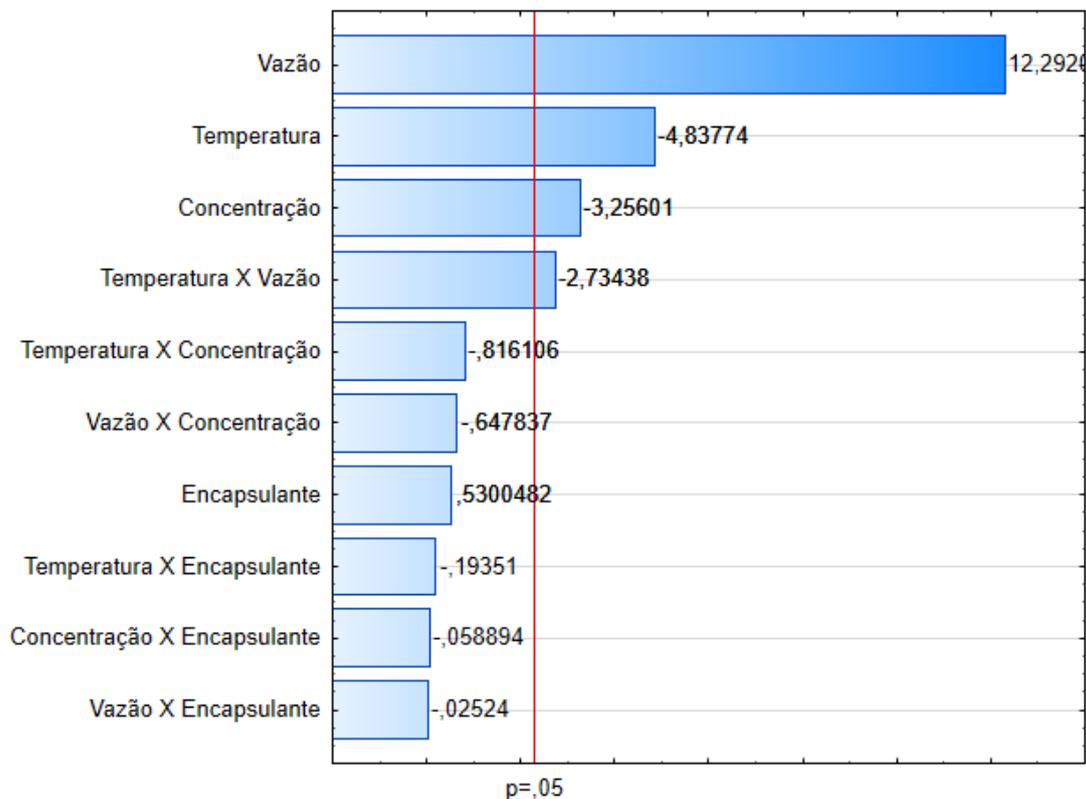
NUNES (2015) realizou a secagem de soro de leite utilizando maltodextrina como agente encapsulante, e observou que na temperatura de secagem de 80 °C a variação na concentração do agente encapsulante não apresentou diferença significativa na umidade do soro em pó, enquanto que na temperatura de secagem de 100 °C o aumento da concentração do encapsulante resultou em maior umidade. SOUZA (2013) realizou a secagem em *spray dryer* de subprodutos de vinificação de uva tinta, realizando a encapsulação com maltodextrina, e para a temperatura de secagem de 130 °C o aumento da concentração do encapsulante não

influenciou na umidade do pó, enquanto para temperaturas de secagem mais elevadas, o aumento da concentração do encapsulante aumentou o teor de umidade. Este comportamento de aumento da umidade em consequência do aumento da concentração do encapsulante, segundo COSTA (2013), pode estar associado ao aumento da viscosidade da mistura em determinadas concentrações do encapsulante, que acaba reduzindo a difusão da água e dificultando a sua evaporação.

MORAES (2014) utilizou goma arábica como material encapsulante para secagem de polpa de caju, e a variação da concentração do encapsulante não teve efeito no teor de umidade. No entanto, BHUSARI et al., (2014), estudaram a secagem de polpa de tamarindo utilizando diferentes agentes encapsulantes, como maltodextrina e goma arábica, e observaram que o aumento da concentração do agente encapsulante diminuiu o teor de umidade. Estes diferentes resultados encontrados para a umidade de pós ao variar a concentração de encapsulante, mostra que essa variável precisa ser investigada para cada caso de secagem.

Na Figura 14 é apresentado o Diagrama de Pareto com os efeitos significativos da secagem do soro encapsulado com maltodextrina para o parâmetro de atividade de água.

**Figura 14.** Diagrama de Pareto dos efeitos da secagem do soro encapsulado para a resposta de atividade de água em função da temperatura, vazão e concentração do soro.



Pela Figura 14, as variáveis vazão volumétrica, temperatura e concentração de soro e a relação temperatura/vazão foram os parâmetros que apresentaram efeito na atividade de água do soro de leite encapsulado com nível de confiança de 95%. Observa-se que apesar do encapsulamento do soro com maltodextrina ter reduzido significativamente a atividade de água das partículas de soro, a variação da concentração do encapsulante não apresentou efeito significativo.

A variável vazão volumétrica apresentou efeito positivo, indicando que a redução desta variável no intervalo investigado, favoreceu a redução da atividade de água das partículas de soro seco. Enquanto que as variáveis temperatura, concentração de soro e a relação temperatura/vazão apresentaram efeito negativo, ou seja, o aumento nestas variáveis resultou em redução da atividade de água. A variável encapsulante e todas relações entre as variáveis estudadas, com exceção da temperatura/vazão, não apresentaram efeitos significativos.

Os dados de atividade de água obtidos a partir do soro de leite em pó encapsulado foram submetidos à Análise de Variância (ANOVA). Os dados estão apresentados na Tabela 13, com média  $\pm$  intervalo de confiança com nível de confiança de 95%.

**Tabela 13.** ANOVA para a resposta de atividade de água do soro em pó encapsulado.

	Soma do Quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	F calculado	R <sup>2</sup>
Regressão	0,171	10	0,0171	19,4	0,9604
Erro	0,007	8	0,0009		
Total	0,178	18			

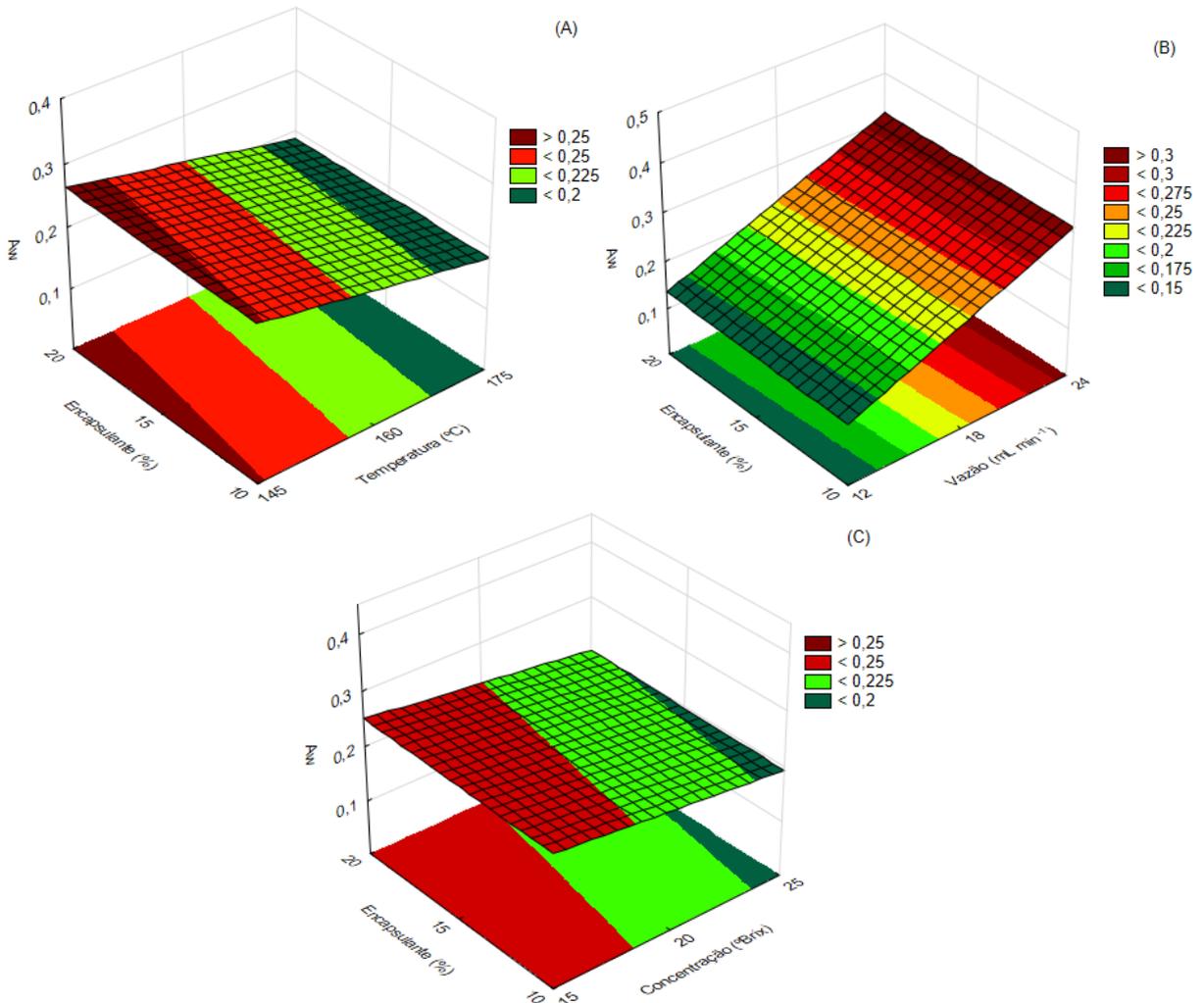
$$F_{\text{tab}} (10;8;0,05) = 3,3$$

O valor obtido para R<sup>2</sup> foi de 0,9604, indicando assim que 96,04% da variabilidade na resposta pode ser explicada pelo modelo estatístico, que é um valor satisfatório para obtenção de um modelo válido e útil para fins preditivos. Para a resposta da atividade de água do soro seco encapsulado, os valores encontrados para F<sub>calculado</sub> foi de 19,4 e para F<sub>tabelado</sub> foi de 3,3, logo F<sub>calculado</sub> > F<sub>tabelado</sub> e assim, o modelo é válido estatisticamente ao nível de significância de 5%, o qual é apresentado na equação abaixo.

Os resultados obtidos pelo delineamento experimental são ilustrados na Figura 15, que apresenta as superfícies de resposta para a variável atividade de água das partículas de soro de leite encapsulado em pó. No entanto, como o comportamento das curvas de superfície entre as variáveis temperatura/vazão, temperatura/concentração e vazão/concentração foram similares

ao observado na secagem do soro *in natura* (Figura 7), estes gráficos não foram apresentados na Figura 15. Logo, na Figura 15 foi apresentado as curvas de superfície que envolveram a concentração do encapsulante.

**Figura 15.** Superfícies de resposta para o efeito da temperatura e concentração de MD (a), vazão e concentração de MD (b), concentração de soro e concentração de MD (c), sobre a atividade de água do soro seco encapsulado com MD pelo *spray dryer*.

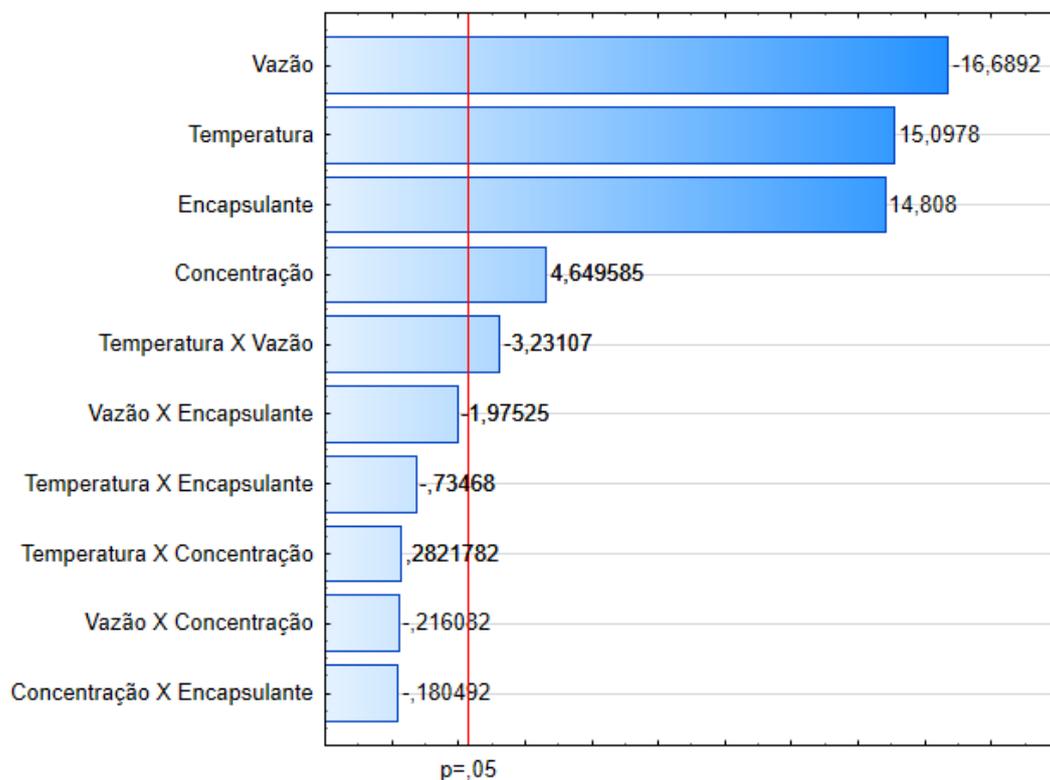


Pelas superfícies de resposta foi possível avaliar a tendência da atividade de água do soro encapsulado seco em relação as variáveis concentração de soro, vazão de alimentação, temperatura e concentração do encapsulante. Neste sentido, a Figura 15 mostrou que a atividade de água foi reduzida para maiores valores de temperatura, maiores valores da concentração do soro e para menores valores de vazão volumétrica. Além disso, a atividade de água não apresentou variações significativas a partir da variação na concentração do encapsulante (maltodextrina).

No trabalho de NUNES (2015) que secou soro de leite encapsulado com maltodextrina, assim como observou para a umidade, a atividade de água não variou em diferentes concentrações de maltodextrina na temperatura de 80 °C, e na temperatura de 100 °C a atividade de água aumentou com o aumento da concentração do encapsulante. PEDRO (2009), ao realizar a secagem de polpa de maracujá utilizando maltodextrina como agente encapsulante, também observou que a atividade de água não variou significativamente com aumento da concentração do encapsulante. MORAES (2014) também observou que o aumento da concentração do encapsulante não variou significativamente a atividade de água do pó obtido pela secagem de polpa de caju utilizando goma arábica como agente encapsulante.

Na Figura 16 é apresentado o Diagrama de Pareto com os efeitos significativos da secagem do soro encapsulado com maltodextrina para o parâmetro de rendimento de secagem.

**Figura 16.** Diagrama de Pareto dos efeitos da secagem do soro encapsulado para a resposta de rendimento de secagem em função da temperatura, vazão e concentração do soro.



Pela Figura 16, as variáveis vazão volumétrica, temperatura, concentração de encapsulante e concentração de soro, e a relação temperatura/vazão foram os parâmetros que apresentaram efeito no rendimento de secagem do soro de leite encapsulado com nível de confiança de 95%. Neste caso, observa-se que o encapsulamento do soro com maltodextrina,

além de ter aumentado o rendimento do processo, a variação da sua concentração também apresentou efeito significativo.

A variável vazão volumétrica e a relação temperatura/vazão apresentaram efeito negativo, indicando que a redução desta variável no intervalo investigado, favoreceu o aumento do rendimento de secagem. Enquanto que as variáveis temperatura, concentração de encapsulante e concentração de soro apresentaram efeito positivo, ou seja, o aumento nestas variáveis resultou em aumento no rendimento do processo. Todas relações entre as variáveis estudadas, com exceção da temperatura/vazão, não apresentaram efeitos significativos.

Os dados de rendimento de secagem obtidos a partir do soro de leite em pó encapsulado foram submetidos à Análise de Variância (ANOVA). Os dados estão apresentados na Tabela 14, com média  $\pm$  intervalo de confiança com nível de confiança de 95%.

**Tabela 14.** ANOVA para a resposta de rendimento de secagem do soro em pó encapsulado.

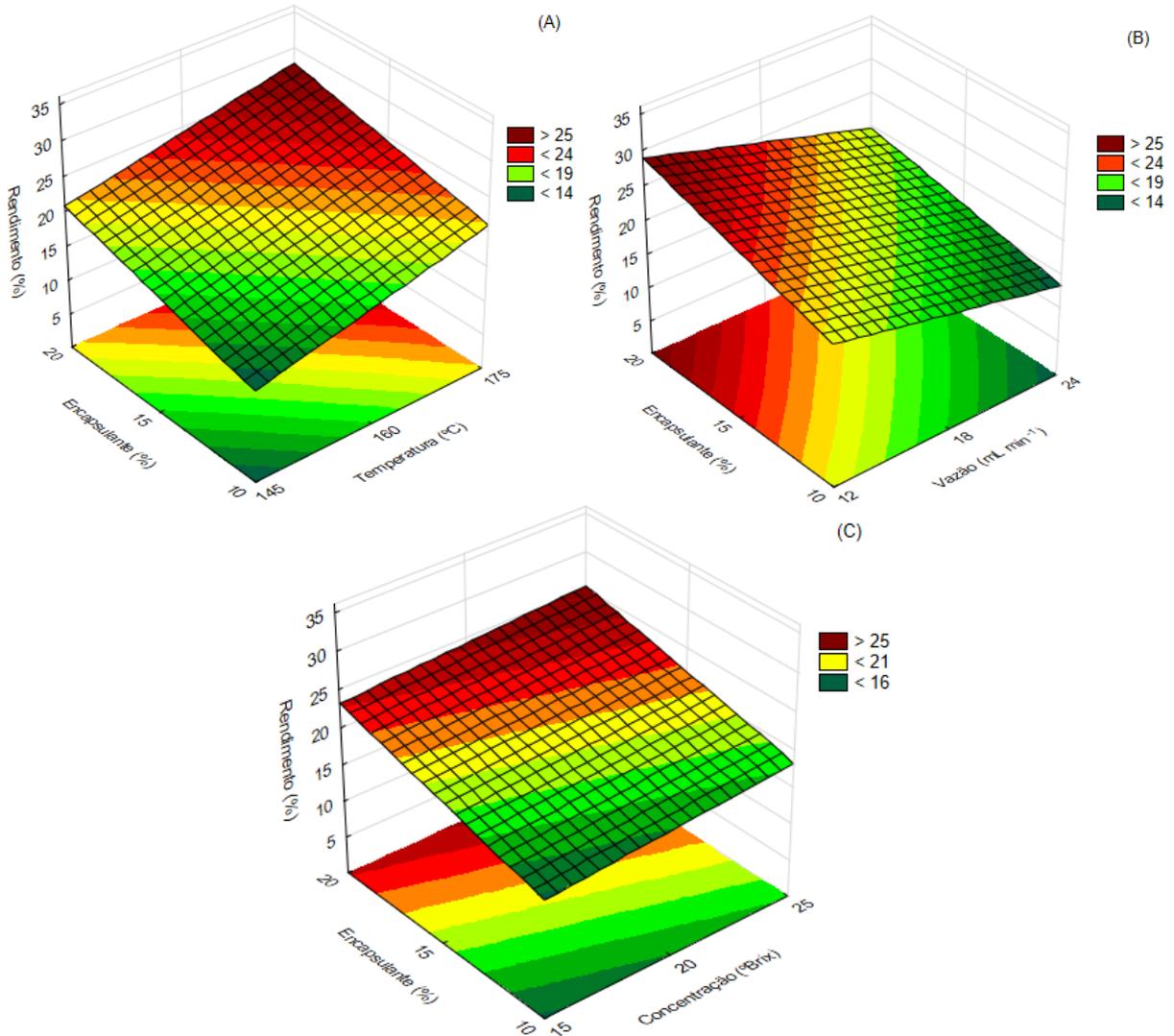
	Soma do Quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	F calculado	R <sup>2</sup>
Regressão	737,3	10	73,73	76,2	0,9896
Erro	0,007	8	0,97		
Total	0,178	18			

$$F_{\text{tab}} (10;8;0,05) = 3,3$$

O valor obtido para R<sup>2</sup> foi de 0,9896, indicando assim que 98,96% da variabilidade na resposta pode ser explicada pelo modelo estatístico, que é um valor satisfatório para obtenção de um modelo válido e útil para fins preditivos. Para a resposta rendimento de secagem do soro encapsulado, os valores encontrados para F<sub>calculado</sub> foi de 76,2 e para F<sub>tabelado</sub> foi de 3,3, logo F<sub>calculado</sub> > F<sub>tabelado</sub> e assim, o modelo é válido estatisticamente ao nível de significância de 5%, o qual é apresentado na equação abaixo.

Os resultados obtidos pelo delineamento experimental são ilustrados na Figura 17, que apresenta as superfícies de resposta para a variável rendimento de secagem do soro de leite encapsulado. No entanto, como o comportamento das curvas de superfície entre as variáveis temperatura/vazão, temperatura/concentração e vazão/concentração foram similares ao observado na secagem do soro *in natura* (Figura 9), estes gráficos não foram apresentados na Figura 17. Logo, na Figura 17 foi apresentado as curvas de superfície que envolveram a concentração do encapsulante.

**Figura 17.** Superfícies de resposta para o efeito da temperatura e concentração de MD (a), vazão e concentração de MD (b), concentração de soro e concentração de MD (c), sobre o rendimento de secagem do soro seco encapsulado com MD pelo *spray dryer*.



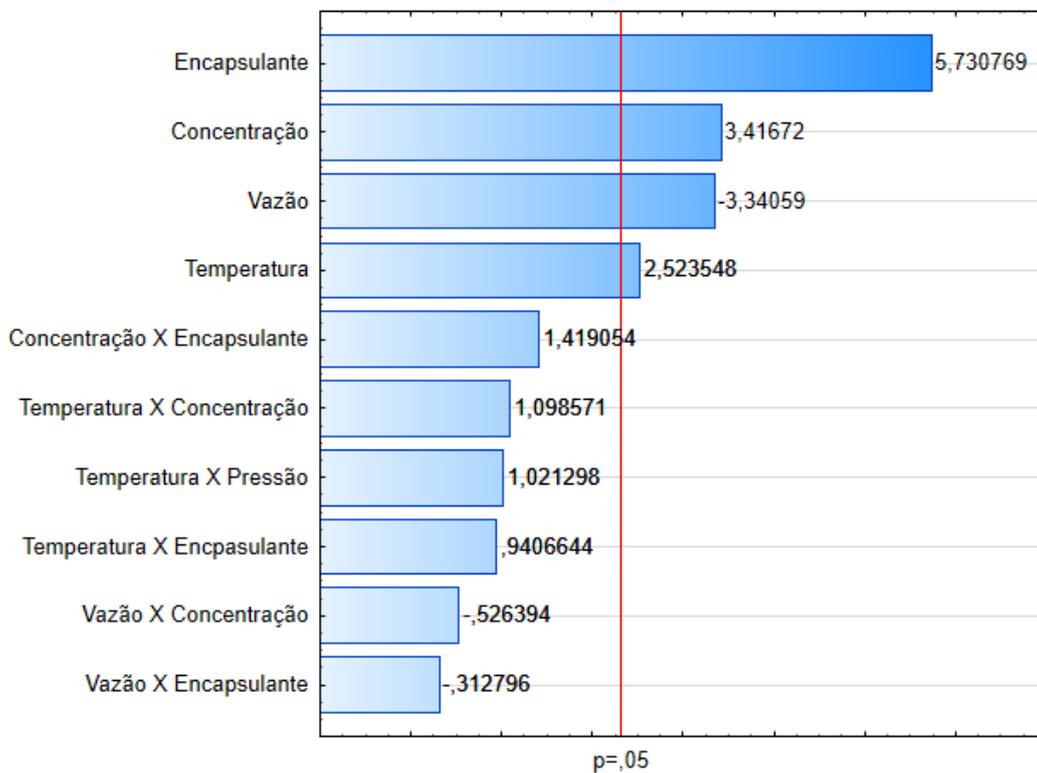
Pelas superfícies de resposta foi possível avaliar a tendência do rendimento de secagem do soro encapsulado em relação as variáveis concentração de soro, vazão de alimentação, temperatura e concentração do encapsulante. Neste sentido, a Figura 17 mostrou que o rendimento do processo aumentou para maiores valores de temperatura, maiores valores da concentração do soro, maiores valores da concentração do encapsulante (maltodextrina) e para menores valores de vazão volumétrica. Logo, no intervalo de concentração de encapsulante estudado, maior quantidade de maltodextrina gerou maior rendimento de secagem.

Este mesmo comportamento foi observado por NUNES (2015) ao secar soro de leite com adição de maltodextrina. O aumento da concentração do encapsulante aumentou significativamente o rendimento de secagem. BHUSARI et al. (2014), ao secarem polpa de

tamarindo utilizando diferentes agentes encapsulantes, como maltodextrina e goma arábica, observaram também que o aumento da concentração dos agentes encapsulantes resultaram em maiores rendimentos de secagem. Segundo SCHUCK et al. (2004), o aumento da concentração do encapsulante pode aumentar a temperatura de transição vítrea da solução, que por consequência vem a minimizar a aderência entre as partículas e a adesão das partículas nas paredes do equipamento, aumentando o rendimento do processo.

Na Figura 18 é apresentado o Diagrama de Pareto com os efeitos significativos da secagem do soro encapsulado com maltodextrina para o parâmetro concentração de proteína.

**Figura 18.** Diagrama de Pareto dos efeitos da secagem do soro encapsulado para a resposta de concentração de proteína em função da temperatura, vazão e concentração do soro.



Pela Figura 18, as variáveis concentração de encapsulante, concentração de soro, vazão volumétrica e temperatura foram os parâmetros que apresentaram efeito na concentração de proteína no pó do soro de leite encapsulado com nível de confiança de 95%. Neste caso, observa-se que o encapsulamento do soro com maltodextrina, além de ter aumentado a concentração de proteína, a variação da sua concentração também apresentou efeito significativo.

A variável vazão volumétrica apresentou efeito negativo, indicando que a redução desta variável no intervalo investigado, favoreceu o aumento na concentração de proteína no soro seco. Enquanto que as variáveis temperatura, concentração de encapsulante e concentração de soro apresentaram efeito positivo, ou seja, o aumento nestas variáveis resultou em aumento da concentração de proteína. Todas relações entre as variáveis estudadas não apresentaram efeitos significativos.

Os dados de concentração de proteína obtidos a partir do soro de leite em pó encapsulado foram submetidos à Análise de Variância (ANOVA). Os dados estão apresentados na Tabela 15, com média  $\pm$  intervalo de confiança com nível de confiança de 95%.

**Tabela 15.** ANOVA para a resposta de concentração de proteína do soro em pó encapsulado.

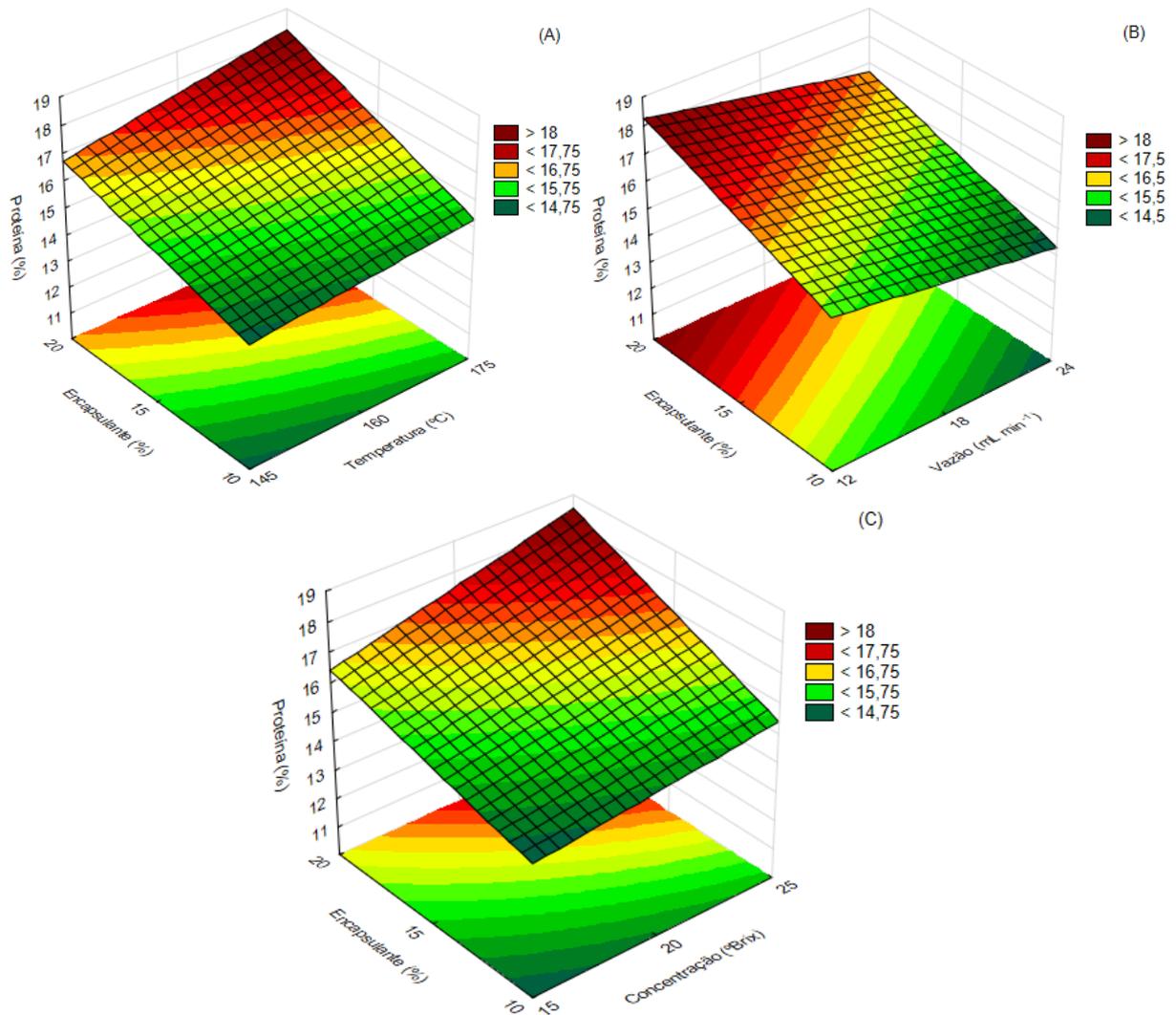
	Soma do Quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	F calculado	R <sup>2</sup>
Regressão	52,1	10	5,21	6,8	0,8941
Erro	6,2	8	0,77		
Total	58,3	18			

$$F_{\text{tab}} (10;8;0,05) = 3,3$$

O valor obtido para R<sup>2</sup> foi de 0,8941, indicando assim que 89,41% da variabilidade na resposta pode ser explicada pelo modelo estatístico, que é um valor razoavelmente satisfatório para obtenção de um modelo válido e útil para fins preditivos. Para a resposta da concentração de proteína do soro encapsulado seco, os valores encontrados para F<sub>calculado</sub> foi de 6,8 e para F<sub>tabelado</sub> foi de 3,3, logo F<sub>calculado</sub> > F<sub>tabelado</sub> e assim, o modelo é válido estatisticamente ao nível de significância de 5%, o qual é apresentado na equação abaixo.

Os resultados obtidos pelo delineamento experimental são ilustrados na Figura 19, que apresenta as superfícies de resposta para a variável concentração de proteína do soro de leite encapsulado seco. No entanto, como o comportamento das curvas de superfície entre as variáveis temperatura/vazão, temperatura/concentração e vazão/concentração foram similares ao observado na secagem do soro *in natura* (Figura 11), estes gráficos não foram apresentados na Figura 19. Logo, na Figura 19 foi apresentado as curvas de superfície que envolveram a concentração do encapsulante.

**Figura 19.** Superfícies de resposta para o efeito da temperatura e concentração de MD, vazão e concentração de MD, concentração de soro e concentração de MD, sobre a concentração de proteína do soro seco encapsulado com MD pelo *spray dryer*.



Pelas superfícies de resposta foi possível avaliar a tendência da concentração de proteína na secagem do soro encapsulado em relação as variáveis concentração de soro, vazão de alimentação, temperatura e concentração do encapsulante. Neste sentido, a Figura 19 mostrou que a concentração de proteína aumentou para maiores valores de temperatura, maiores valores da concentração do soro, maiores valores da concentração do encapsulante (maltodextrina) e para menores valores de vazão volumétrica. Logo, no intervalo de concentração de encapsulante estudado, maior quantidade de maltodextrina gerou maior teor de proteína no soro em pó

Esse aumento da concentração de proteína pode se dar pela encapsulação do soro que ao passar por um processo de secagem, não ocorre aglomeração das partículas do pó nas paredes do equipamento o que aumenta a quantidade de produto seco e coletado.

#### 4. CONCLUSÃO

A secagem do soro de leite obtido na produção de queijo muçarela por meio da atomização em *spray dryer* foi uma técnica para obtenção do soro em pó, principalmente ao realizar o encapsulamento do soro com maltodextrina.

A partir da aplicação do delineamento experimental foi possível verificar e ajustar os melhores valores para os parâmetros do processo, como temperatura do ar de entrada, vazão de alimentação e concentração do soro líquido, a fim de obter melhor eficiência de secagem e melhor rendimento de secagem, os quais foram avaliados pela análise das respostas no soro de leite em pó para umidade, atividade de água, rendimento e concentração de proteína.

Na secagem do soro *in natura* e do soro encapsulado com maltodextrina, foi possível observar que para maiores valores temperatura de secagem e de concentração inicial do soro, e para menores valores da vazão volumétrica, o soro em pó apresentou menores teores de umidade e atividade de água, assim como maiores rendimentos de secagem e concentração de proteína.

De forma geral, a secagem do soro de leite *in natura*, mesmo variando as condições operacionais (temperatura, vazão e concentração do soro) gerou resultados de soro em pó não satisfatórios, uma vez que a umidade obtida ficou acima do preconizado pela legislação brasileira (valores acima de 5%), e a atividade de água ficou em uma faixa tecnologicamente crítica para lácteos desidratados (valores entre 0,3 a 0,5). Ao comparar estes resultados com a secagem do soro de leite encapsulado com maltodextrina, a eficiência de secagem melhorou, uma vez que a umidade e a atividade de água tiveram redução significativa. A umidade na maioria dos ensaios ficou em valores abaixo de 5% e a atividade de água em valores abaixo de 0,2, faixa em que lácteos desidratados apresentam melhor conversação.

Além disso, ao se comparar as respostas de rendimento de secagem e de concentração de proteínas entre o soro em pó *in natura* e o soro em pó encapsulado, observa-se que a realização do encapsulamento com maltodextrina aumentou estas duas respostas. A variação na concentração do agente encapsulante foi significativa para estas duas respostas, sendo que maiores concentrações de maltodextrina resultaram em maior rendimento de secagem e maior concentração de proteínas. Este comportamento não ocorreu para as respostas de umidade e atividade de água, uma vez que o aumento da concentração de maltodextrina não causou variação significativa destes dois parâmetros.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLESSI, L. R.; ARCHER, M. A. B.; CLARO, R. P. Estudo de viabilidade técnica e econômica da extração das proteínas de soro de leite. 2005. Monografia – Departamento Acadêmico de Mecânica, Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná, Curitiba.

BARBOSA, S. J. Qualidade de suco em pó de mistura de frutas obtido por spray drying. 107 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Estadual de Montes Claros, Janaúba, 2010.

BECKER, J.; A FERNANDES, I.; STEFFENS, C.; STEFFENS, J.; VALDUGA, E. Obtenção e caracterização de concentrado proteico de soro de leite em pó. *Vivências, Univ. Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões*, v. 16, n. 31, p. 75-88, 29 jun. 2020.

BHANDARI, B. R.; HOWES, T. Implication of glass transition for the drying and stability of dried foods. *Journal of Food Engineering*, v. 40, p. 71-79, 1999.

BHUSARI, S. N.; MUZAFFAR, K.; KUMAR, P. Effect of carrier agents on physical and microstructural properties of spray dried tamarind pulp powder. *Powder Technology*, v. 266, p. 354-364, 2014.

BOX, G.E.P.; HUNTER, W.G.; HUNTER, J.S. *Statistics for experimenters. An introduction to design, data analysis and model building*. Nova York: Editora Wiley, 1978.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 94, de 18 de setembro de 2020. Aprova o regulamento técnico que fixa os Padrões de Identidade e qualidade para o soro de leite e o soro de leite ácido. – Secretaria de Defesa Agropecuária.

FAZAELI, M. et al. Effect of spray drying conditions and feed composition on the physical properties of black mulberry juice powder. *Food and Bioproducts Processing*, v. 90, p. 667–675, 2012.

FELLOWS, P. *Food Processing Technology: Principles and Practice*. 2. ed. Boca Raton: CRC Press, 2000.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. *Métodos físico-químicos para análise de alimentos*. 4ª. ed. 1ª edição digital. São Paulo, 2008.

MORAES, F. P. de. Polpa desidratada de caju amarelo (*Anacardium occidentale* L.) por atomização em spray dryer: caracterização físico-química, bioativa e estudo da vida de prateleira do produto. 122 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, jul. 2014.

MORR, C. V.; HA, E. W. Whey protein concentrates and isolates processing and functional properties. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, v. 33, p. 431-476, 1993.

NERY, T. B. R.; BRANDÃO, L. V.; ESPERIDIÃO, M. C. A.; DRUZIAN, J. I. Biossíntese de goma xantana a partir da fermentação de soro de leite: rendimento e viscosidade. *Química Nova*, v. 31, n. 8, p. 1937-1941, 2008.

NOLLET, L. M. L. *Handbook of Food Analysis: Physical characterization and nutrient analysis*. Hardcover, Second Edition. vol.1, 2004.

NUNES, L. Uso de maltodextrina e goma arábica no processo de encapsulação por spray drying de soro de queijo. Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia de Alimentos da Universidade Federal de Uberlândia, 2015.

PEDRO, M. A. M. Influência de encapsulantes e do método de secagem nas propriedades físico-químicas e atributos de qualidade de polpa de maracujá em pó. 204 f. Tese (Doutorado em Engenharia e Ciência dos Alimentos) - Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, São José do Rio Preto, 2009.

PEREIRA, R. F.; LAJOLO, F. M.; HIRSCHBRUCH, M. D. Consumo de suplementos por alunos de academias de ginástica em São Paulo. *Rev. Nutr.*, Campinas, v.16, n.3, p. 265-272, 2003.

SCHUCK, P. et al. Séchage des lactosérums et dérivés: rôle du lactose et de la dynamique de l'eau. *Le Lait*, v. 84, n. 3, p. 243-268, 2004.

SCHUCK, P.; DOLIVET, A.; MÉJEAN, S.; JEANTET, R. Relative humidity of outlet air: the key parameter to optimize moisture content and water activity of dairy powders. *Dairy Science and Technology*, Rennes, v. 88, p. 45-52, 2008.

SOUZA, V. B. de. Aproveitamento dos subprodutos de vinificação da uva Bordô (*Vitis labrusca*) para obtenção de pigmentos com propriedades funcionais. 122 f. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia de Alimentos) – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2013.