



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E ENGENHARIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
ALIMENTOS

KÁTIA SILVA MACIEL

**OTIMIZAÇÃO DAS CONDIÇÕES DO PROCESSO DE SECAGEM DO EXTRATO
DE CAFÉ EM LEITO DE ESPUMA E APLICAÇÃO EM MISTURA PARA
CAPPUCCINO**

ALEGRE - ES
FEVEREIRO - 2017

KÁTIA SILVA MACIEL

**OTIMIZAÇÃO DAS CONDIÇÕES DO PROCESSO DE SECAGEM DO EXTRATO
DE CAFÉ EM LEITO DE ESPUMA E APLICAÇÃO EM MISTURA PARA
CAPPUCCINO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos.

Orientador: Sérgio Henriques Saraiva
Coorientador: Luciano José Quintão Teixeira
Coorientadora: Suzana Maria Della Lucia

ALEGRE - ES
FEVEREIRO – 2017

Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP)
(Biblioteca Setorial de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Espírito Santo, ES, Brasil)

M152o Maciel, Kátia Silva, 1990-
Otimização das condições do processo de secagem do extrato de café em leite de espuma e aplicação em mistura para cappuccino / Kátia Silva Maciel. – 2017.
98 f. : il.

Orientador: Sérgio Henriques Saraiva.

Coorientadores: Luciano José Quintão Teixeira ; Suzana Maria Della Lúcia.
Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias e Engenharias.

1. Café solúvel. 2. Café – Desidratação. 3. Café – Qualidade. 4. Temperatura. 5. Secagem em leite de espuma. I. Saraiva, Sérgio Henriques. II. Teixeira, Luciano José Quintão. III. Della Lúcia, Suzana Maria. IV. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro de Ciências Agrárias e Engenharias. V. Título.

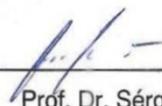
CDU: 664

KÁTIA SILVA MACIEL

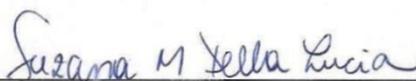
**OTIMIZAÇÃO DAS CONDIÇÕES DO PROCESSO DE SECAGEM DO
EXTRATO DE CAFÉ EM LEITO DE ESPUMA E APLICAÇÃO EM MISTURA
PARA CAPPUCCINO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos.

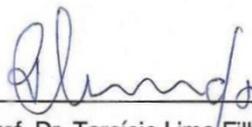
Aprovada em 21 de fevereiro de 2017.



Prof. Dr. Sérgio Henriques Saraiva
Universidade Federal do Espírito Santo
Orientador



Profa. Dra. Suzana Maria Della Lucia
Universidade Federal do Espírito Santo
Coorientadora



Prof. Dr. Tarcísio Lima Filho
Universidade Federal do Espírito Santo
Examinador

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus por sempre ter me guiado, por todas as minhas conquistas e por me conceder mais essa vitória.

Ao Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da UFES e ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, pela oportunidade de realizar esse trabalho.

À CAPES pela concessão da bolsa durante esses dois anos de curso.

Ao meu orientador Sérgio Henriques Saraiva, por toda a atenção, paciência, ajuda e ensinamentos. Muito obrigada!

Aos coorientadores Suzana e Luciano, pela disponibilidade em me atenderem, ensinamentos e colaboração.

À Jade por todo o auxílio no laboratório.

Aos amigos do PCTA pela troca de experiências, convivência e momentos de distração, em especial ao Milton, Rafaela, Andressa, Yanne e Sarah.

Aos avaliadores que participaram das análises de aceitação sensorial.

À minha família, meus pais Júlio Cesar e Laudicéia e meus irmãos Kenner e Khétrin, por me ajudarem e incentivarem em todas as etapas da minha vida. Ao André por todo apoio, ajuda e companheirismo.

Por fim, agradeço a todos que de alguma forma me ajudaram e torceram por mim durante este trabalho.

SUMÁRIO

RESUMO.....	viii
ABSTRACT	x
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	3
2.1 Geral	3
2.2 Específicos.....	3
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
3.1 Origem do café.....	4
3.2 Importância econômica e características do café	4
3.3 Atividade antioxidante	6
3.4 Café solúvel	7
3.5 Leito de espuma.....	8
3.5.1 Espuma.....	10
3.5.2 Secagem.....	12
4. MATERIAL E MÉTODOS	13
4.1 Materiais	13
4.2 Obtenção do extrato de café	13
4.3 Planejamento experimental e análise estatística dos dados.....	14
a) 1ª Fase: Efeito dos agentes na produção de café desidratado pelo processo de leito de espuma.	14
b) 2ª Fase: Efeito da temperatura do ar de secagem no processo de obtenção de café desidratado pelo método de leito de espuma	16
4.3.1 Metodologia função desejabilidade	16
4.4 Caracterização e produção da espuma	17
4.4.1 Densidade e coalescência	18
4.5 Secagem em leito de espuma.....	18
4.6 Análises físico-químicas dos pós obtidos após a secagem em leito de espuma	20
4.6.1 pH	20
4.6.2 Acidez titulável	20
4.6.3 Atividade antioxidante	20
4.6.3.1 Método ABTS.....	20
4.6.3.2 Método DPPH.....	20
4.6.4 Atividade de água	21
4.6.5 Cor instrumental.....	21

4.6.6 Molhabilidade.....	21
4.6.7 Solubilidade	21
4.6.8 Teor de água	22
4.7 Análise sensorial.....	22
4.7.1 Mistura para o preparo de cappuccino.....	22
4.7.2 Aspectos éticos.....	23
4.7.3 Aceitação sensorial.....	23
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	24
5.1 Influência dos agentes na produção de café desidratado em leite de espuma	24
5.1.1 Densidade e índice de coalescência da espuma.....	24
5.1.2 Curvas e Tempo de secagem dos extratos de café em leite de espuma à 60 °C.....	26
5.1.3 Análise sensorial.....	32
5.1.4 Atividade antioxidante (ABTS)	38
5.1.5 Atividade antioxidante (DPPH)	39
5.1.6 Solubilidade	42
5.1.7 Molhabilidade.....	42
5.1.8 Umidade	44
5.1.9 Otimização das concentrações dos agentes pela função desejabilidade ..	45
5.1.10 Características físico-químicas dos pós.....	48
5.2 Influência de diferentes temperaturas do ar de secagem do extrato de café em leite de espuma.....	61
5.2.1 Curvas e Tempo de secagem.....	61
5.2.2 Análise sensorial.....	64
5.2.3 Molhabilidade.....	67
5.2.4 Umidade	69
5.2.5 Atividade antioxidante (ABTS e DPPH) e solubilidade	70
5.2.6 Otimização da temperatura pela função desejabilidade	71
5.2.7 Caracterização físico-química dos pós	73
6. CONCLUSÕES	76
7. REFERÊNCIAS.....	77
ANEXO A – Ficha da aceitação sensorial	87

RESUMO

MACIEL, Kátia Silva. **Otimização das condições do processo de secagem do extrato de café em leite de espuma e aplicação em mistura para cappuccino.** 2017. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre – ES. Orientador: Prof. Dr. Sérgio Henriques Saraiva. Coorientadores: Prof. Dr. Luciano José Quintão Teixeira e Prof^a. Dr. Suzana Maria Della Lucia.

Em decorrência da preferência dos consumidores por produtos de qualidade e de preparo rápido, há um aumento na demanda de café solúvel, tanto para consumo como também em forma de ingrediente em vários produtos a base de café, como o cappuccino. No processamento de café solúvel ocorrem transformações e perdas aromáticas que alteram de forma negativa o sabor e o aroma do café. Diante de tais problemas, o leite de espuma é uma tecnologia alternativa para a sua produção. Este processo é de baixo custo, utilizam-se baixas temperaturas e tempo de secagem; além disso, a utilização de agentes possibilita a formação de uma espuma estável durante todo o processo de secagem, aumentando a área exposta ao ar quente, o que facilita a saída de água pelos espaços preenchidos de ar, permitindo maior retenção de aromas e compostos, bem como a obtenção de um produto poroso e de fácil reidratação. Diante deste contexto, o objetivo desse trabalho foi otimizar as condições do processo de produção de café solúvel pelo método de secagem em leite de espuma. O experimento foi dividido em duas fases. Inicialmente, foi investigada a influência de diferentes teores de maltodextrina e de proteínas do soro de leite, obtidos por meio do Delineamento Composto Central Rotacional, na produção da espuma do extrato de café. O estudo da segunda fase foi avaliar o efeito de diferentes temperaturas do ar de secagem na produção de café desidratado, sendo que, para esse estudo, foi utilizada a concentração ideal de agentes obtida na fase anterior. Em ambas as fases, utilizou-se a função desejabilidade para definir as condições ótimas do processo para obtenção dos pós com características mais desejáveis. Para isso, foram avaliadas as seguintes variáveis resposta: a) relacionadas à espuma do extrato de café: densidade e índice de coalescência; b) relacionada à secagem em leite de espuma: tempo de secagem; c) relacionadas aos pós obtidos (café desidratado): solubilidade, atividade antioxidante (DPPH e ABTS), molhabilidade e umidade; d) relacionada à análise sensorial dos cappuccinos: aceitação sensorial. Foi feita a caracterização físico-química dos pós obtidos, quanto à atividade de água, cor, pH e acidez. Além disso, foi realizado o estudo da cinética de secagem das espumas. Constatou-se que a combinação dos agentes de 1,32% de maltodextrina e 2,64% de proteínas do soro de leite obteve maior desejabilidade global (0,6503), por apresentarem as características mais desejáveis (maximização da aceitação do sabor, do aroma, da impressão global e da atividade antioxidante (ABTS e DPPH) e minimização do índice de coalescência, do tempo de secagem, da molhabilidade e da umidade). A densidade da espuma e solubilidade dos pós não foram influenciadas nesse estudo. Na segunda fase, a desejabilidade máxima encontrada foi igual a 0,726, obtida na

temperatura de secagem de 61,77 °C, na qual se maximizou a variável aceitação sensorial (sabor) e se minimizou as variáveis tempo de secagem, molhabilidade e umidade. As diferentes temperaturas de secagem não influenciaram nas variáveis atividade antioxidante (ABTS e DPPH) e solubilidade. Na caracterização físico-química dos pós obtidos com diferentes concentrações de agentes houve influência nas variáveis cor, pH, acidez e atividade de água. Já nos pós obtidos em diferentes temperaturas ocorreu diferença significativa somente na variável resposta atividade de água. Conclui-se que a formação de espuma com 1,32% de maltodextrina e 2,64% de proteínas do soro de leite, utilizando a temperatura de 61,77 °C para a secagem, são as condições ótimas para o processo de secagem do extrato de café em leite de espuma.

Palavras-chave: Café desidratado, agentes, temperatura, desejabilidade.

ABSTRACT

SILVA MACIEL, Kátia. **Optimization of the conditions of the drying process of coffee extract in foam mat and application in cappuccino mix.** 2017. Dissertation (Master in Food Science and Technology) - Federal University of Espírito Santo, Alegre – ES. Advisor: Prof. DSc. Sérgio Henriques Saraiva. Co-Advisors: Prof. DSc. Luciano José Quintão Teixeira and Prof^a. DSc. Suzana Maria Della Lucia.

As a result of consumers' preference for quality of products and time of preparation, there is an increasing demand related to soluble coffee, both for consumption and as an ingredient in various coffee products, such as cappuccino. In the processing of soluble coffee there are transformations and aromatic losses, that can negatively alter the flavor and aroma of the coffee. Facing such problems, the foam mat is an alternative technology for soluble coffee production. This process is low cost, low temperatures and drying time; in addition, the use of foaming agents allows the formation of a stable foam throughout the drying process, increasing the area exposed to hot air, which the evaporation is facilitated through the spaces filled with air, allowing a greater retention of aromas and compounds, as well as obtaining a porous product with easy rehydration. In this context, the objective of this study was to optimize the conditions of the soluble coffee production process by the foam mat drying method. The experiment was divided into two phases. Initially, the influence of different levels of maltodextrin and whey proteins on the foam production of the coffee extract obtained through the Rotational Central Compound Design were investigated. In the second phase, the effect of different drying air temperatures on the production of dehydrated coffee, was to evaluate, in which the ideal concentration of agents obtained in the previous phase was used. The desirability function was used to define the optimal conditions of the process to obtain powders with the most desirable characteristics in both phases. For this, the following response variables were evaluated: a) related to the coffee extract foam: density and coalescence index; b) related to foam mat drying: drying time; c) related to the powders obtained (dehydrated coffee): solubility, antioxidant activity (DPPH and ABTS), wettability and moisture; d) related to the sensorial analysis of cappuccino: sensorial acceptance. The physicochemical characterization of the obtained powders was performed in relation to water activity, color, pH and acidity. In addition, the study of the drying kinetics of foams was also assessed. Results revealed that the combination of 1.32% maltodextrin and 2.64% whey proteins obtained greater overall desirability (0.6503), since the most desirable characteristics (maximization of flavor acceptance, aroma, the overall impression and antioxidant activity (ABTS and DPPH) and minimization of coalescence index, drying time, wettability and moisture were obtained with this combination. The foam density and solubility of the powders had no influence. In the second phase, the maximum desirability obtained was 0.726 at the drying temperature of 61.77 °C. The variable sensory acceptance (flavor) was maximized and the variables drying, wettability and moisture were minimized. The different drying temperatures did not influence the variables antioxidant activity (ABTS and DPPH) and solubility. In the physical-chemical characterization of the powders, obtained with different concentrations of agents, there was an influence on the

variables color, pH, acidity and water activity. In the powders obtained at different temperatures, a significant difference occurred only in the water activity response variable. It is concluded that the foam formation with 1.32% maltodextrin and 2.64% whey proteins, using the temperature of 61.77 °C for drying, are the optimal conditions for the drying process of the extract coffee in foam mat.

Keywords: Dehydrated coffee, agents, temperature, desirability.

1. INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor e exportador mundial de café, o qual é de grande importância econômica e social para o país (ABICS, 2017). As duas espécies de maior importância para o comércio no mundo são o *Coffea arabica* e o *Coffea canephora* (OIC, 2016).

Dentre as espécies mais cultivadas, destaca-se o café arábica com uma produção de 84,4% no país (CONAB, 2017), sendo considerado o de melhor qualidade, devido às características de sabor e aroma que apresenta, possuindo maior valor de mercado (RIBEIRO et al., 2014). O Estado maior produtor é Minas Gerais, com predominância de café arábica, e o segundo é o Espírito Santo, cultivando a maior parte de café conilon, com cerca de 60% e 18% da produção total na safra de 2016, respectivamente (CONAB, 2017).

O café solúvel vem registrando crescimento constante nos últimos anos, com cerca de 10% da safra anual sendo destinada à sua produção. É considerado como o 12º produto mais exportado do Brasil (ABICS, 2017).

O café solúvel é o extrato aquoso de café desidratado, sendo uma forma de café instantâneo, podendo ser encontrado na forma de pó ou grânulos, o qual é reconstituído com água quente. Este produto apresenta uma boa aceitação pelos consumidores pela praticidade de uso (ROMEIRO et al., 2012). Assim, a sua utilização vem sendo difundida, o que mostra um avanço importante e reflete o interesse pelas inovações introduzidas no setor (SANZ et al., 2002). Além disso, há um aumento da demanda de café solúvel, em decorrência de novas marcas e da crescente preferência dos consumidores por diversificados produtos de mistura para o preparo rápido, como o cappuccino (ABICS, 2015).

A maior parte da produção do café solúvel é usualmente feita utilizando spray dryer, porém, as altas temperaturas utilizadas nesse método podem acarretar transformações e perdas aromáticas, alterando de maneira qualitativa e quantitativa a fração de compostos voláteis, podendo exercer impactos negativos sobre o sabor e aroma do café solúvel (FLAMENT, 2002; BASSOLI, 2006). Isto torna a qualidade da bebida do café solúvel inferior ao café filtrado. Dessa forma, recorrentes formas de melhorar a sua qualidade durante o processamento vêm sendo estudadas, desde a introdução de grãos de melhor qualidade, como também a diminuição de perdas

de aromas (ABIC, 2015). Segundo Diban et al. (2007), novas técnicas têm sido desenvolvidas com a finalidade de recuperar aromas, para posteriormente adicioná-los ao café solúvel, porém o uso de temperaturas elevadas pode danificar ou alterar a qualidade do componente aromático.

A liofilização é outra técnica convencional de produção do café solúvel, em que a umidade do produto é removida por sublimação em uma câmara de vácuo, permitindo uma melhor preservação dos compostos aromáticos do café e, conseqüentemente, melhor qualidade da bebida (ISHWARYA, ANANDHARAMAKRISHNAN, 2015).

Não obstante, o processamento de café solúvel é complexo e exige maior investimento, devido à maior tecnologia empregada na sua produção (WESCHENFELDER et al., 2015) e, conseqüentemente, sendo realizado por um pequeno número de indústrias (ABICS, 2015). Somado a isso, existe uma limitação de ordem econômica dessas aplicações.

Assim, um método simples, de baixo custo e que pode preservar o sabor e o aroma de alimentos é a secagem em leito de espuma. Este método térmico consiste na adição de agentes a um líquido e este é batido até a formação de uma espuma estável. Em seguida a espuma é distribuída em camadas finas e submetida à secagem com ar aquecido (SOUZA, 2011). Essa técnica permite menores temperaturas e tempo de secagem, devido à espuma aumentar a superfície de contato, a transferência de calor, além da formação de uma estrutura porosa que facilita a remoção de água (FRANCIS, 2000), o que garante um produto de fácil reidratação e com características sensoriais preservadas (SOUZA, 2011).

Nesse contexto, o estudo sobre um método alternativo à produção de café solúvel e sua incorporação em um produto a base de café é de grande interesse, pois os derivados de café são muito apreciados pela grande parcela da população. Além disso, poderá colaborar para que pequenos produtores, que já se destacam pela produção de cafés de alta qualidade, também possam produzir café solúvel com qualidade superior, bem como a produção de cappuccinos, o que agregará ainda mais valor ao produto, sem a necessidade de altos investimentos na sua produção.

2. OBJETIVOS

2.1 Geral

Otimizar as condições do processo de produção de café solúvel pelo método de secagem em leito de espuma.

2.2 Específicos

Avaliar diferentes proporções de maltodextrina e proteínas do soro de leite na formação de espuma do extrato de café;

Verificar o efeito de diferentes temperaturas do ar de secagem na produção de café desidratado em leito de espuma;

Obter uma caracterização físico-química dos cafés desidratados;

Aplicar os pós obtidos em leito de espuma em um produto a base de café;

Otimizar as variáveis resposta simultaneamente para obtenção da condição ótima do experimento.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Origem do café

A história do café começa no século IX (MANGAL, 2007). Ele tem sua origem na Etiópia, continente africano, porém o cultivo e o uso do café como bebida é centrado na Arábia (UKERS, 1935; SMITH, 1985a).

No século 15, os muçulmanos introduziram o café na Pérsia, Egito, norte da África e Turquia e, em Constantinopla, foi aberta a primeira cafeteria, Kiva Han, no ano de 1475 (MANGAL, 2007).

Segundo Smith (1985a), a bebida de café foi levada para a Europa pelos turcos em torno do ano de 1600 e logo se tornou popular em muitos países. Em meados do século seguinte, o hábito de beber café era estabelecido em toda a Europa e na América do Norte.

O café chegou ao Brasil no século XVI, por intermédio da Guiana Francesa (SMITH, 1985a).

A planta do café é membro da família *Rubiaceae* e do gênero *Coffea* e possui duas espécies de maior importância devido às suas características comerciais, o *Coffea canephora* e o *Coffea arabica*, conhecidas como café conilon e arábica, respectivamente. O café conilon, também conhecido como robusta, teve sua origem relatada no oeste da África, já o café arábica é originário das florestas tropicais da Etiópia, Quênia e Sudão (CLARKE, 1985; SMITH, 1985b).

O café solúvel tem sua origem antes da Primeira Guerra Mundial, no século XIX nos EUA, onde tiveram as primeiras tentativas de produzir um extrato seco solúvel de café (CLARKE, 1985).

Em 1930, a Nestlé desenvolveu um café solúvel de melhor qualidade, sendo lançado em 1938, primeiro na Europa, nos Estados Unidos e na França, e durante a Segunda Guerra Mundial tornou-se conhecido mundialmente (CLARKE, 1985).

3.2 Importância econômica e características do café

O mercado do café brasileiro é de grande destaque no cenário internacional. Na safra de 2015, o Brasil foi responsável por cerca de 30,13% da produção mundial, totalizando mais de 43,2 milhões de sacas de 60 kg de café beneficiado (CONAB, 2016). Na safra de 2016, foram colhidas mais de 51 milhões de sacas de

café. Esse resultado representa um acréscimo de 18,8% em relação a 2015 (CONAB, 2017).

Em relação a produção por espécie, estima-se que a produção de café arábica tenha um nível recorde de 93,5 milhões de sacas na safra de 2016/2017, com colheitas do Brasil, Colômbia e Honduras, enquanto para o café conilon estima-se uma menor produção (OIC, 2016).

O café arábica representou cerca de 74,4% da produção total de café no Brasil no ano de 2015 (CONAB, 2016). Na safra de 2016, o café arábica foi responsável por cerca de 84,4% da produção total do país, com mais de 43 milhões de sacas beneficiadas colhidas (CONAB, 2017). Este tipo de café é considerado economicamente o mais importante (LIN et al., 2005). Além de maior produção no Brasil, há maior predominância na preferência de consumo, em razão das características de sabor e aroma serem superiores ao do café conilon (MENDES et al., 2001), visto que o café arábica é mais frutado e ácido, já o café conilon é mais amargo (FONSECA et al., 2007).

Segundo a Companhia Nacional de Abastecimento CONAB (2017), em 2016 o Estado maior produtor de café no Brasil foi Minas Gerais, produzindo 30,7 milhões de sacas beneficiadas de 60 kg. O Estado do Espírito Santo foi o segundo maior produtor, produzindo 8,9 milhões de sacas beneficiadas, representando cerca de 18% da produção nacional.

O café solúvel também é de grande destaque e representa um crescimento relevante no setor. Segundo a Associação Brasileira da Indústria de Café Solúvel - ABICS (2017), cerca de 10% da safra anual é destinada à produção de café solúvel, sendo que 80% desse volume é destinado à exportação para mais de 130 países, uma vez que é o 12º produto mais exportado do Brasil. No ano de 2016, o Brasil teve a participação de 11,5% na exportação de café solúvel, o que equivale a mais de 3 milhões de sacas de 60 kg de café. Isso implica em um crescimento de 6,8% em relação a 2015, enquanto nas exportações de café cru, arábica e conilon, houve uma queda de 10,7%. Este setor proporciona aproximadamente US\$ 700 milhões por ano em receitas cambiais ao Brasil (ABICS, 2016).

Tais informações indicam a importância que o café representa para a economia do país. Em razão disso, a cadeia do café, da produção ao

processamento, gera mais de 25 milhões de empregos em todo o mundo (O'BRIEN; KINNAIRD, 2003).

Além da contribuição que representa para o desenvolvimento do país, o café possui muitos benefícios para a saúde. Ele possui constituintes químicos como compostos nitrogenados, carboidratos e lipídios, bem como os compostos bioativos, como ácidos clorogênicos, cafeína, melanoidinas, flavonóides, vitaminas e minerais (MORAIS et al., 2009; LIMA et al., 2010). Na saúde humana, os efeitos positivos do café são atribuídos à presença dos compostos bioativos que conferem a eliminação de radicais (CÄMMERER; KROH, 2006, PARRAS et al., 2007), podendo atuar prevenindo o câncer, a hipertensão, as doenças cardiovasculares, entre outras (MORAIS et al., 2009).

3.3 Atividade antioxidante

Diversos métodos são utilizados para avaliar a atividade antioxidante em cafés. Vignoli et al. (2011) estudaram a atividade antioxidante de cafés solúveis liofilizados pelos métodos de ABTS (2,2'-azino-bis (3-etilbenzotiazolona-6-ácido sulfônico), DPPH (2,2 Difenil-1- picrilhidrazil), FRAP (Ferric Reducing Antioxidant Power) e Folin Ciocalteu. Sánchez-González et al. (2005) determinaram a atividade antioxidante de bebidas de café utilizando o método FRAP e ABTS, Daglia et al. (2004) utilizaram deoxirribose e Borreli et al. (2002) determinaram a atividade antioxidante de bebidas de café pelo ensaio Folin Ciocalteu.

O método de DPPH é utilizado para avaliar a atividade sequestradora de compostos específicos ou extratos, em que a redução do radical estável DPPH• (2,2-difenil -1- picrilhidrazil) é monitorada pela diminuição da absorbância desse radical a 517 nm (HUANG et al., 2005).

O método utilizando o radical ABTS é baseado na habilidade dos antioxidantes em sequestrar o ânion radical de longa vida ABTS•+. Assim, o ABTS é oxidado pelo radical peroxil ou outros oxidantes para seu radical cátion, ABTS.+ , sendo a capacidade antioxidante medida pela capacidade que o composto possui de descolorir a solução, reagindo diretamente com o radical ABTS.+ (AWIKA et al., 2003).

3.4 Café solúvel

O café solúvel é definido como um produto resultante da desidratação do extrato aquoso, obtido da extração do café torrado com água. De acordo com o processo de desidratação e forma de apresentação é classificado como: café solúvel em pó, granulado e liofilizado (BRASIL, 1999).

O seu consumo crescente é devido às vantagens como a velocidade de preparo, praticidade e evita desperdícios. Além disso, possui vida de prateleira alta, devido à baixa umidade do produto (ABICS, 2017).

O processamento do café solúvel consiste essencialmente nas seguintes etapas: seleção dos grãos, torração, moagem, extração dos sólidos solúveis dos grãos torrados e moídos, concentração, secagem por spray drying ou por liofilização, e por fim envasamento do produto (SMITH, 1985a).

As espécies utilizadas na produção de café solúvel são a *Coffea arabica* e a *Coffea canephora* (ABICS, 2017). Segundo Nogueira e Trugo (2003), a composição final do café solúvel depende das espécies e variedades utilizadas na formulação, sendo esta usualmente feita por meio de misturas. A utilização das duas espécies é determinante para a qualidade final do café solúvel, visto que apresentam diferenças na sua composição. No seu processamento, o café conilon possui maior rendimento, em decorrência da extração de maiores quantidades de sólidos solúveis (VIGNOLI et al., 2011), enquanto a espécie arábica possui maior valor comercial e qualidade sensorial (ALMEIDA; BENASSI, 2011).

O processo da torra consiste em submeter os grãos de café a um aquecimento controlado de tempo e temperatura, em que são desencadeadas uma série de reações exotérmicas responsáveis pela formação de substâncias que conferem o sabor e o aroma do café (CORTEZ, 2001). Posteriormente, a moagem é realizada para facilitar a extração dos sólidos solúveis e as substâncias voláteis responsáveis pelas características sensoriais do café (ESTEVES, 2006).

No processo de extração industrial utiliza-se uma série de percoladores em coluna nos quais os sólidos solúveis são extraídos do café torrado e moído com água à temperatura de cerca de 180 °C (CLARKE, 1985; MUSSATO et al., 2011). Segundo Bassoli (2006), após a extração, geralmente ocorre a concentração por evaporação térmica.

Por fim, a secagem do extrato de café é feita utilizando as técnicas de secagem por atomização (spray drying) ou por liofilização (ISHWARYA, ANANDHARAMAKRISHNAN, 2015).

Tais processos exigem grandes investimentos, compensados por produções em grande escala, e por isso é executado por um pequeno número de empresas. Em razão disto, atualmente, no Brasil existem somente seis indústrias de café solúvel (ABICS, 2016).

3.5 Leito de espuma

A secagem em leito de espuma foi desenvolvida nos Estados Unidos em 1959 por Arthur Morgan e seus colaboradores e patenteada em 1961 (MORGAN, 1959), citado por Carvalho (2014).

Este método de secagem consiste em transformar os alimentos líquidos ou semilíquidos em uma espuma estável em decorrência da adição de agente espumante seguido de aeração por meio de agitação. Posteriormente, a espuma é seca em baixas temperaturas para a obtenção de um produto em pó (SILVA et al. 2008).

Nos últimos anos, muitos estudos foram conduzidos em relação a este método em vários tipos de alimentos, como: carambola (KARIM; WAI, 1999) banana (SANKAT; CASTAIGNE, 2004), manga (BASTOS et al., 2005; RAJKUMAR et al., 2007), própolis (PEREIRA, 2008), caldo de cana (MARQUES, 2009), araçá-boi (SOARES, 2009), ceriguela (FURTADO et al., 2010), tomate (KADAM; BALASUBRAMANIAN, 2011), iogurte (KRASAEKOOPT; BHATIA, 2012), mamão (KANDASAMY et al., 2014), abóbora (CARVALHO, 2014), suco de yacon (FRANCO et al., 2015), cogumelo (PASBAN et al., 2015), cereja (ABBASI; AZIZPOUR, 2016), camarão (AZIZPOUR et al., 2016), entre outros.

Essa técnica apresenta vantagens como as baixas temperaturas e curtos tempos de secagens, devido à maior área de superfície exposta ao ar (SILVA et al., 2008), sendo a secagem aproximadamente três vezes mais rápida do que uma camada similar de líquido (FRANCIS, 2000). Em razão disto, esse processo resulta em produtos de alta qualidade, devido à alta retenção de aromas e nutrientes, e de fácil reidratação (FRANCIS, 2000; FELLOWS, 2006; KADAM et al., 2010).

Entretanto, existem vários parâmetros que afetam a sua utilização para obtenção de um produto de maior qualidade. Kandasamy et al. (2014) reportaram que as diferentes temperaturas do ar de secagem e espessuras da espuma de mamão tiveram efeito diretamente no tempo de secagem, bem como nas características nutricionais e sensoriais dos pós. Franco et al. (2015) verificaram que a temperatura de secagem e espessura da espuma foram os parâmetros mais decisivos na taxa de secagem de suco de yacon, o que influenciou na demanda de energia do processo, bem como no tempo de secagem e, conseqüentemente, nas características dos pós. Kadam et al. (2012), estudando o efeito das temperaturas de 65 °C, 75 °C e 85 °C sobre a qualidade físico-química dos pós de abacaxi na secagem em leito de espuma, observaram que a temperatura de 65 °C resultou em uma melhor manutenção da qualidade nutricional. Abbasi e Azizpour (2016) verificaram que o tipo e concentração dos agentes influenciaram na densidade e estabilidade da espuma de cereja para posterior secagem em leito de espuma.

Thuwapanichayanan et al. (2008) estudaram a influência da densidade da espuma de purê de banana e observaram que, quanto menor era a densidade das espumas, mais rápida e mais fácil era a difusão da água através da espuma durante a secagem, ou seja, menor era o tempo gasto no processo. Asokapandian et al. (2016) verificaram que o tempo de bateção influenciou nas propriedades de formação de espuma da polpa de melão. Bastos et al. (2005) observaram que a temperatura de secagem da polpa da manga influenciou em alguns dos constituintes nutricionais, tais como açúcares redutores e ácido ascórbico.

Nesse contexto, o uso do leito de espuma requer o estudo de uma série de variáveis inter-relacionadas, a fim de verificar as condições em que o processamento deve ser executado para preservar ao máximo as características sensoriais, nutricionais e funcionais dos alimentos e, assim, obter maior qualidade do produto final. Na Tabela 1 são mostrados, de forma resumida, alguns parâmetros que devem ser considerados ao realizar a secagem por esse método.

Tabela 1. Parâmetros importantes no processo de secagem em leite de espuma

Produção da espuma	Natureza química do alimento a ser utilizado Teor de sólidos solúveis do alimento Tipo de agente espumante Uso isolado e/ou mistura dos agentes Concentração dos agentes Tempo de agitação Densidade e estabilidade da espuma
Secagem	Quantidade de espuma Espessura da espuma Velocidade do ar de secagem Temperatura do ar de secagem Tempo de secagem Umidade do ar

Fonte: Elaborada pelo autor.

3.5.1 Espuma

A espuma é muito similar a uma emulsão, visto que possui em sua estrutura gotículas gasosas cobertas por um líquido contínuo e descrito termodinamicamente como um sistema instável (FOLEGATTI, 2001).

A produção da espuma no processo de leite de espuma é realizada pela adição de aditivos empregando-se energia mecânica, que pode ser por batimento, agitação ou aeração (FOLEGATTI, 2001). A espuma tem função de aumentar a eficiência da secagem, uma vez que aumenta a área superficial, resultando em maior transferência de calor e massa, bem como através dos poros da espuma, facilitando a perda da umidade (FRANCIS, 2000), o que proporciona um produto seco com alta qualidade.

Alguns alimentos possuem capacidade de gerar espuma, como clara de ovo e proteínas. Entretanto, em geral, a falta de estabilidade da espuma durante o processamento de secagem tem sido observada em alguns processos, em decorrência da coalescência da espuma, afetando a operação de secagem (THUWAPANICHAYANAN et al., 2012). Assim, o uso de emulsificantes tem função de auxiliar a formação e estabilização da espuma, reduzindo a energia livre e a

tensão interfacial (CAPITANI, 2004). Os emulsificantes mais utilizados são: Emulstab®, Maltodextrina, carragena e Liga Neutra (SOUZA, 2011).

As maltodextrinas são biopolímeros da hidrólise parcial do amido e são classificadas pela porcentagem de açúcares redutores calculados como glicose em relação ao peso seco do amido (TAKEITI, 2007). Como ingrediente para alimentos, as maltodextrinas oferecem consistência, viscosidade, textura suave e estabilidade, bem como pelo aumento do teor de sólidos solúveis, inibem a cristalização, controlam o ponto de congelamento (FIGUEIREDO, 1998), ajudam a evitar a aglomeração dos produtos nas tubulações e favorecem a obtenção de pós com granulometria mais homogênea (MALTODEXTRINAS, [s.d.]). Além disso, possuem sabor suave, baixa densidade e boa relação custo benefício (SAÉNZ et al., 2009).

O soro do leite é obtido como um subproduto da fabricação de queijos. As proteínas do soro são conseguidas realizando técnicas de separação, como a filtração por membrana, isolando-as da lactose e da gordura, o que resulta em proteína pura (NAKAI; CHAN, 1985). A solubilidade das proteínas pode ser afetada de acordo com as condições do processo tais como pH, concentração de sal e temperatura. Quando em ambientes adversos, esses fatores podem alterar seu comportamento físico, podendo ocorrer o processo de desnaturação (FORNY et al., 2011). Elas também possuem alta solubilidade e capacidade de retenção de água, sendo muito utilizadas em emulsões (ANTUNES, 2003).

Na secagem em leito de espuma, a densidade e a estabilidade da espuma são as características mais relevantes do processo (CRUZ, 2013), sendo importante realizar uma pesquisa para avaliar e selecionar os agentes que possam garantir as melhores condições do processo para cada tipo de alimento.

Além do tipo de agente utilizado, a concentração ideal irá permitir que a espuma seja estável durante todo o processo de secagem, visto que existe um limite crítico para a sua adição, uma vez que acima desse valor a espuma fica instável. A instabilidade também pode ocorrer quando empregados tempos muito longos de agitação para formação da espuma (FALADE et al., 2003; RATTI; KUDRA, 2006).

Sendo assim, tem-se estudado diferentes combinações dos tipos e concentrações de agentes para melhorar as características da espuma de alimentos, e conseqüentemente a secagem. Rajkumar et al. (2007) verificaram que a produção da espuma de polpa de manga com 10% de albumina como agente espumante e

com 0,5% de metilcelulose como agente estabilizante foi considerada a melhor. Marques (2009) reportou que os aditivos Emustab®, Super Liga Neutra® e Carbonato de Cálcio, nas concentrações de 2%, 10%, 0,7% e 0,35%, respectivamente, demonstraram a melhor combinação para a formação de espuma de caldo de cana com melhores características. Breda et al. (2013) verificaram que a polpa de cajamanga desidratada em leito de espuma contendo a concentração de agentes de 1,5% de Emustab e 1,0% de pectina obteve maior retenção de vitamina C. Salahi et al. (2015), ao otimizarem as condições de formação de espuma para secagem de melão, verificaram que os valores ótimos para a melhor qualidade do produto foram de 3% de albumina e 0,17% de goma arábica.

3.5.2 Secagem

O uso de condições de secagem adequadas é de fundamental importância para a qualidade do produto final (Franco et al., 2015), sendo que a temperatura é um dos fatores de maior importância. A secagem em leito de espuma apresenta vantagens em relação a outras, como a secagem por atomização (spray-drying), a secagem em tambor (drum-drying) e a secagem por liofilização, em decorrência do custo operacional menor, facilidade de implantação, ser mais simples, possibilidade do uso de temperaturas mais baixas (FRANCIS, 2000) e maior retenção dos compostos voláteis e não voláteis que são perdidos pelos métodos que usam ar quente (RAJKUMAR; KAILAPPAN, 2006; KUDRA; RATTI, 2008).

Entretanto, como desvantagens, para atender a grande quantidade de produção, são requeridos equipamentos com grandes superfícies de secagem em razão da camada de espuma utilizada nesse método ser muito fina (2 a 10 mm), o que eleva os custos do processo para grandes indústrias (FRANCIS, 2000; MARQUES, 2009).

4. MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram realizados nos laboratórios de Química de Alimentos, Operações Unitárias e Análise Sensorial do Departamento de Engenharia de Alimentos, localizados no Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre/ES.

4.1 Materiais

Para o preparo do café desidratado foram utilizados café arábica gourmet torrado e moído, maltodextrina e proteínas do soro de leite. Na elaboração da mistura para o preparo do cappuccino foram utilizados açúcar refinado, leite em pó desnatado, cacau em pó, bicarbonato de sódio e canela em pó. Para o cappuccino controle foi utilizado café solúvel obtido do mercado. Todos os ingredientes foram adquiridos no comércio local da cidade de Alegre/ES.

4.2 Obtenção do extrato de café

Para a obtenção do extrato de café foi realizado o processo de lixiviação do café que ocorreu em 3 estágios em contracorrente. Para cada estágio foram pesados 25 g de café arábica gourmet torrado e moído, os quais foram submetidos à extração dos sólidos solúveis com 100 mL de água a 100 °C. As amostras de extrato de café eram recolhidas após obterem uma concentração de 10°Brix. Esse valor foi fixado por meio de testes preliminares, nos quais o objetivo era apresentar maior rendimento de extração em razão das condições do teste, além da capacidade de formar espuma por meio da adição de agentes.

O teor de sólidos solúveis foi determinado em leitura direta em refratômetro de bancada, expresso em °Brix (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 2008), utilizando o refratômetro digital.

O extrato seco foi determinado por meio da pesagem de 20 mL de extrato de café em uma cápsula de porcelana, previamente tarada em estufa e foi evaporado em banho-termostático a 100 °C, por três horas. Decorrido esse tempo, o material foi seco em estufa a 105 °C até obter massa constante. O percentual foi calculado por diferença de massa (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 2008).

4.3 Planejamento experimental e análise estatística dos dados

O experimento foi dividido em duas fases:

a) 1ª Fase: Efeito dos agentes na produção de café desidratado pelo processo de leite de espuma.

Testes preliminares foram conduzidos com diversos agentes encontrados no mercado com o objetivo de verificar os agentes que tivessem a capacidade de formação de espuma na matéria-prima utilizada. Sendo assim, foram selecionados foram a maltodextrina e as proteínas do soro de leite.

Para otimizar as concentrações dos agentes a serem adicionados no extrato de café para a produção da espuma, e posterior secagem em secador convectivo na temperatura de 60 °C, foi realizado um Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR), com as concentrações dos dois agentes variando de 0 a 6%, sendo estes valores definidos por meio de testes preliminares.

Para duas variáveis fixas, como é o caso, esse delineamento gera 9 tratamentos (quatro pontos fatoriais, quatro pontos axiais e um ponto central). Para um DCCR com dois fatores, utiliza-se um valor de $\alpha = 1,41$ (TEÓFILO; FERREIRA, 2006). Na Tabela 2 são mostrados os valores das concentrações dos dois agentes (x_1 e x_2) em cada tratamento, bem como os valores das variáveis codificadas (c_1 e c_2). Foram realizadas três repetições de cada tratamento, totalizando 27 experimentos.

Tabela 2 – Delineamento Composto Central Rotacional – Valores das variáveis fixas codificadas (c1 e c2) e não codificadas (% m/m Maltodextrina e % m/m Proteínas do soro)

Tratamentos	C ₁	X ₁	C ₂	X ₂
		Maltodextrina (%)		Proteínas do soro (%)
1	1	5,13	1	5,13
2	1	5,13	-1	0,87
3	-1	0,87	1	5,13
4	-1	0,87	-1	0,87
5	-1,41	0,00	0	3,00
6	1,41	6,00	0	3,00
7	0	3,00	-1,41	0,00
8	0	3,00	1,41	6,00
9	0	3,00	0	3,00

As condições ótimas do estudo devem ser tais que minimizem as variáveis densidade, índice de coalescência da espuma, tempo de secagem e molhabilidade e que maximizem as variáveis solubilidade, atividade antioxidante (ABTS e DPPH) e aceitação sensorial (sabor, aroma, aparência e impressão global).

Uma vez que as regiões ótimas para as diferentes variáveis podem ser distintas, para otimizar as quantidades de maltodextrina e de proteínas do soro de leite como agentes foi utilizada a técnica de otimização simultânea por meio da função desejabilidade (DERRINGER; SUICH, 1980).

Também foi avaliado para cada tratamento a cinética de secagem na temperatura de 60 °C da espuma do extrato de café. Em relação aos pós obtidos foi realizado uma caracterização físico-química, sendo feitas as análises de umidade, atividade de água, pH, acidez e cor.

O experimento foi realizado com 3 repetições, em triplicata. Para a análise sensorial foi empregado o Delineamento em Blocos Casualizados (DBC) e para as análises físico-químicas foi utilizado o Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC). Os resultados obtidos foram analisados pela Análise de Variância (ANOVA) da regressão e da falta de ajuste, havendo diferença significativa ao nível de 5% de probabilidade, foram apresentados gráficos de superfície de resposta.

Em relação à análise sensorial, para comparação dos resultados das 9 formulações com o controle, foi utilizado o teste de Dunnet a 5% de probabilidade.

b) 2ª Fase: Efeito da temperatura do ar de secagem no processo de obtenção de café desidratado pelo método de leite de espuma

Após a escolha da melhor concentração dos agentes (maltodextrina e proteínas do soro de leite) na primeira fase, a mesma foi fixada com o objetivo de verificar a influência da temperatura do ar de secagem na produção de café desidratado.

As temperaturas utilizadas foram de 40 °C, 50 °C, 60 °C, 70 °C e 80 °C, sendo realizadas em três repetições. Para considerar a temperatura do ar de secagem ideal desta fase, também foi utilizado a metodologia função desejabilidade (DERRINGHER; SUICH, 1980), sendo as condições ótimas tais que minimizem as variáveis resposta tempo de secagem e molhabilidade e que maximizem as variáveis solubilidade, atividade antioxidante e aceitação sensorial (aparência, aroma, sabor e impressão global).

Nessa fase também foi realizada a cinética de secagem da espuma dos 5 tratamentos e a caracterização físico-química dos pós obtidos, sendo elas: umidade, atividade de água, pH, acidez e cor.

As análises foram feitas em três repetições, em triplicata. Foi utilizado o Delineamento em Blocos Casualizados e Delineamento Inteiramente Casualizado, para a aceitação sensorial e características físico-químicas, respectivamente. Os resultados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) ao nível de significância de 5%. Para as variáveis significativas, foi realizada a análise de regressão.

Para a análise sensorial, foi utilizado o teste de Dunnet a 5% de probabilidade, a fim de comparar os resultados das 5 formulações com o controle.

4.3.1 Metodologia função desejabilidade

A condição ótima para as duas fases do experimento foi realizada com base nos modelos estatísticos propostos e com o auxílio da técnica de otimização simultânea (função desejabilidade) segundo Derringer e Suich (1980).

Para isso foram especificados valores numéricos limites que determinam a importância da função para encontrar o valor médio desejado. Assim, cada variável resposta, y_i , foi convertida em uma função desejabilidade individual, d_i , dentro do intervalo $0 \leq d_i \leq 1$ usando a Equação 1 para as variáveis que devem ser minimizadas e a Equação 2 para as variáveis que devem ser maximizadas.

$$d_i = \begin{cases} 1 & \hat{y}_i < T_i \\ \left(\frac{U_i - \hat{y}_i}{U_i - T_i}\right)^{r_i} & T_i \leq \hat{y}_i \leq U_i \\ 0 & \hat{y}_i > U_i \end{cases} \quad (1)$$

$$d_i = \begin{cases} 0 & \hat{y}_i < L_i \\ \left(\frac{\hat{y}_i - L_i}{T_i - L_i}\right)^{r_i} & L_i \leq \hat{y}_i \leq T_i \\ 1 & \hat{y}_i > T_i \end{cases} \quad (2)$$

Em que:

U_i é o valor máximo admissível;

L_i é o valor mínimo admissível;

T_i é o valor alvo (ótimo).

Foi utilizada uma função desejabilidade linear ($r_i = 1 \forall i$). Os valores T_i , U_i e L_i foram definidos após a obtenção dos resultados experimentais. A partir dos valores das N desejabilidades individuais (d_i), o valor da desejabilidade global, D , foi calculado pela equação 3.

$$D = \left(\prod_{i=1}^N d_i\right)^{1/N} \quad (3)$$

Foi considerada como condição ótima aquela que obteve o maior valor da desejabilidade global.

4.4 Caracterização e produção da espuma

Para a produção da espuma do extrato de café com adição de agentes foi utilizada uma batedeira doméstica na velocidade máxima durante o tempo de agitação de 20 minutos.

4.4.1 Densidade e coalescência

A densidade foi determinada dividindo-se a massa pelo volume por meio da adição da espuma em uma proveta de 250 mL. Para a determinação do índice de coalescência foi medido o volume da espuma coalescida depositada no fundo da proveta após o tempo de 30 minutos.

4.5 Secagem em leito de espuma

As espumas obtidas foram espalhadas em uma bandeja de aço inox com 10 mm de altura e colocadas em um secador de bandejas com circulação forçada de ar, na vazão de 0,1 m/s (Figura 1).

Para avaliar as cinéticas de secagem, a massa das amostras foi registrada de 5 em 5 minutos durante 30 minutos, 10 em 10 minutos até completar 2 horas e de 15 em 15 minutos até obter peso constante.



Figura 1 – Bandeja com espuma de extrato de café em secador convectivo.

Com os dados obtidos, foram ajustados os modelos de Page, Equação 4, Henderson e Pabis, Equação 5, Exponencial, Equação 6, e Midili, Equação 7 para cada tratamento:

$$RU = \frac{X_t - X_e}{X_0 - X_e} = e^{-kt^n} \quad (4)$$

$$RU = \frac{X_t - X_e}{X_0 - X_e} = Ce^{-kt} \quad (5)$$

$$RU = \frac{X_t - X_e}{X_0 - X_e} = e^{-kt} \quad (6)$$

$$RU = \frac{X_t - X_e}{X_0 - X_e} = e^{-kt^n} + bt \quad (7)$$

Em que k , n , b e C são parâmetros dos modelos, RU é a razão de umidade, X_t é o teor de água, em base seca, em qualquer instante de tempo, X_e é o teor de água na condição de equilíbrio, X_0 é o teor de água inicial e t é o tempo de secagem em minutos.

Os modelos de curva de secagem foram ajustados por meio de análise de regressão não linear, usando a técnica de minimização da soma de quadrados dos desvios. Os modelos ajustados foram comparados pelo coeficiente de determinação ajustado (R_{aj}^2), definido pela Equação 8, e pelo erro padrão da regressão (S), definido pela Equação 9.

$$R_{aj}^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (RU_{exp,i} - RU_{prev,i})^2}{\sum_{i=1}^N (RU_{exp,i} - \bar{RU})^2} \frac{N-1}{N-p} \quad (8)$$

$$S = \left(\frac{\sum_{i=1}^N (RU_{exp,i} - RU_{prev,i})^2}{N-p} \right)^{1/2} \quad (9)$$

Em que $RU_{exp,i}$ e $RU_{prev,i}$ são, respectivamente, os valores experimentais e previstos da razão de umidade para a i -ésima observação, em que N é o número de observações e p o número de parâmetros no modelo.

4.6 Análises físico-químicas dos pós obtidos após a secagem em leite de espuma

4.6.1 pH

O pH foi medido utilizando pHmetro digital de bancada em uma solução aquosa a 2% m/v da amostra, à temperatura ambiente (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 2008).

4.6.2 Acidez titulável

A acidez titulável foi determinada mediante titulação com NaOH 0,1 N até pH 8,2, utilizando pHmetro, em uma solução aquosa a 2% m/v da amostra, sob temperatura ambiente (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 2008).

4.6.3 Atividade antioxidante

4.6.3.1 Método ABTS

A atividade antioxidante das amostras foi realizada de acordo com Re et al. (1999). A solução radical de ABTS foi produzida por reação de 7 mmol / L de solução estoque de ABTS com 2,45 mmol / L de persulfato de potássio, na qual foi deixada em repouso no escuro durante 12-16 h antes da sua utilização. No momento da análise, a solução de ABTS foi diluída com 5 mM de tampão fosfato (pH 7,4) até uma absorbância de 0,7 no comprimento de 730 nm. Para as leituras a 730 nm, foi adicionada 0,1 mL da amostra ou padrão trolox com 3,9 mL da solução de ABTS diluída, após 6 minutos de reação.

Para a curva de calibração foram utilizadas soluções de etanol com concentrações conhecidas de Trolox. Os resultados foram expressos como atividade antioxidante equivalente ao Trolox (g Trolox/100g de amostra).

4.6.3.2 Método DPPH

A redução do radical livre DPPH (1,1-difenil-2-picrilhidrazil) foi determinada pela mudança colorimétrica medida a 517 nm. As leituras foram feitas após 30 minutos de reação da mistura de 1 mL de tampão acetato 100 mM (pH 5,5), 1 mL de etanol, 0,5 mL de 250 µM de solução etanoica de DPPH e 0,1 mL de amostra. O controle positivo foi preparado na ausência de amostra, na qual indica o máximo de

elétrons ímpares de DPPH •, que foi considerado 100% de radicais livres na solução. O branco foi preparado pela mistura com exceção da amostra e da solução de DPPH (CASAGRANDE et al., 2007).

O poder antioxidante das amostras foi calculado pela porcentagem de inibição da atividade do radical livre (IA %), de acordo com a equação 10.

$$IA \% = 100 - (Absorbância da amostra/Absorbância do controle)*100 \quad (10)$$

4.6.4 Atividade de água

A atividade de água foi determinada por leitura direta em medidor de atividade de água LabMASTER, da Novasina AG.

4.6.5 Cor instrumental

As análises de cor foram realizadas com auxílio de um colorímetro, utilizando as coordenadas de cor do sistema CIELab, L*, a*, b*, c e h em que L* indica a luminosidade (expressa o grau de claridade da cor), que varia do preto (L*= 0) ao branco (L*= 100), a* consiste no eixo que varia do vermelho ao verde, b* varia do amarelo ao azul. Também foram analisadas a cromaticidade (C*) e o ângulo de tonalidade (h°) (CANER e ADAY, 2009).

4.6.6 Molhabilidade

O teste foi efetuado colocando-se 2,0 g de amostra, sem agitação, em 400 mL de água destilada a 25 °C, utilizando-se um béquer de 1 L, sendo medido o tempo necessário para que todas as partículas molhassem. A análise foi realizada segundo metodologia proposta por Hla e Kogekamp (1999) modificada por Vissotto et al. (2006).

4.6.7 Solubilidade

O estudo da solubilidade foi conduzido segundo Eastman e Moore (1984) com algumas modificações. Uma amostra de 1 g foi diluída em 100 mL de água destilada, a qual foi agitada em velocidade máxima em agitador magnético por 5 minutos. Posteriormente, as soluções foram transferidas para tubos de ensaio e centrifugadas a 2600 rpm durante 5 minutos. Alíquotas de 20 mL do sobrenadante foram transferidas para placas de petri e secas em estufa a 105 °C até peso

constante. O percentual de solubilidade foi calculado pela diferença entre a massa inicial e final.

4.6.8 Teor de água

O teor de água foi determinado pesando-se 5 g de amostra em placa de petri, o qual foi colocado em estufa a 105 °C até obter massa constante (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 2008).

4.7 Análise sensorial

A análise sensorial teve como objetivo verificar a influência da adição dos cafés desidratados, produzidos pelo método de secagem em leito de espuma, na aceitação de um produto a base de café. No presente estudo foi escolhido o cappuccino.

4.7.1 Mistura para o preparo de cappuccino

Testes preliminares foram realizados a fim de determinar as concentrações de cada ingrediente na formulação do cappuccino (Tabela 3), os quais foram preparados pela mistura da formulação com água quente a 75 °C.

Tabela 3 – Formulação da mistura para o preparo de cappuccino

Ingredientes	Concentração (%)
Leite em pó desnatado	40,0
Açúcar	37,0
Café desidratado	20,0
Cacau	1,0
Bicarbonato de sódio	1,5
Canela	0,5

4.7.2 Aspectos éticos

A pesquisa foi aprovada pelo Comitê de Ética em Pesquisa do Centro de Ciências da Saúde (CCS) da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES) – ES, Brasil, sob o número 1.637.369.

4.7.3 Aceitação sensorial

Para a realização do teste de aceitação sensorial na primeira fase, foram recrutados 102 consumidores, sendo 62 mulheres e 40 homens, com faixa etária entre 18 e 57 anos. O objetivo do estudo era investigar a influência de diferentes concentrações dos agentes maltodextrina e proteínas do soro de leite utilizados na produção dos cafés desidratados em leite de espuma na aceitação de cappuccino. Todos os tratamentos delineados pelo DCCR (Tabela 2) foram utilizados no teste de aceitação.

Na segunda fase do estudo, foram recrutados 80 consumidores, sendo 25 homens e 55 mulheres, com faixa etária entre 18 e 58 anos. O teste de aceitação sensorial teve o intuito de verificar o efeito de diferentes temperaturas do ar de secagem (40, 50, 60, 70 e 80 °C) sobre as características dos cafés desidratados pelo método de processamento de leite de espuma, na aceitação de cappuccino, sendo um total de 5 tratamentos.

Em ambas as fases do estudo foi ofertada aos consumidores um cappuccino controle, além das formulações teste, na qual foi utilizado café solúvel do mercado na formulação para fins de comparação.

Na análise sensorial foram servidas 20 mL de cada uma das amostras de cappuccino de maneira aleatória e monádica, em cabines individuais e sob luz branca. Cada consumidor recebeu uma ficha (APÊNDICE A), contendo uma escala hedônica de nove pontos (variando de 1 – “desgostei extremamente” a 9 – “gostei extremamente”). Os consumidores provaram as amostras e indicaram o quanto gostaram ou desgostaram da aparência, do aroma, do sabor e da impressão global da bebida (REIS; MINIM, 2013).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Influência dos agentes na produção de café desidratado em leite de espuma

Os valores médios de pH e de extrato seco encontrados para os extratos de café a 10 °Brix foi de 5,0 e de 8,12%, respectivamente.

5.1.1 Densidade e índice de coalescência da espuma

As combinações de maltodextrina e proteínas do soro de leite utilizadas nas formulações não influenciaram significativamente ($p > 0,05$) na densidade das espumas do extrato de café. Nesse caso, não foi ajustado nenhum modelo. Os resultados indicaram uma média de 0,094 g/mL.

No entanto, para o índice de coalescência da espuma houve influência dos agentes, apresentando regressão significativa ($p < 0,05$) e falta de ajuste não significativa ($p > 0,05$) (Tabela 4). Dessa forma, conclui-se que o modelo ajustado é adequado para explicar o comportamento dessa variável, o qual obteve um coeficiente de determinação (R^2) de 0,9908 (Equação 11).

Tabela 4 – Análise de Variância da regressão e da falta de ajuste para o índice de coalescência das espumas

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	p
Regressão	5	0,005287	0,001057	82,7593*	0,000000
Resíduo	21	0,000268	0,000013		
Falta de ajuste	3	0,000049	0,000016	1,3463 ^{ns}	0,290798
Erro puro	18	0,000219	0,000012		
Total	26	0,005566			

*: Significativo ($p < 0,05$); ^{ns}: Não significativo ($p > 0,05$).

$$\hat{Y} = 0,035135 - 0,001472 x_1 + 0,000901 x_1^2 - 0,014412 x_2 + 0,003153 x_2^2 - 0,003604 x_1 x_2$$

(11)

Na Figura 2 é mostrado o gráfico de superfície de resposta que representa o comportamento do índice de coalescência em relação aos teores de agentes utilizados na produção da espuma. De acordo com o gráfico, verifica-se que o mesmo não possui ponto crítico dentro do intervalo estudado. Quanto maiores os

teores de maltodextrina (x_1) e menores os teores de proteínas do soro de leite (x_2), maior o índice de coalescência.

A estabilidade é o atributo físico de maior importância na avaliação da qualidade da espuma (MUTHUKUMARAN et al., 2008). É desejável que a espuma tenha o menor índice de coalescência possível, para que a espuma seja estável durante todo o processo de secagem e, assim, obter uma secagem rápida e facilidade de remoção do material seco das bandejas, o que aumenta a qualidade do produto final (ABBASI; AZIZPOUR, 2016). No presente estudo as espumas que tiveram maior estabilidade continham menores teores de maltodextrina e teores de proteínas do soro acima de 3% (pontos médios).

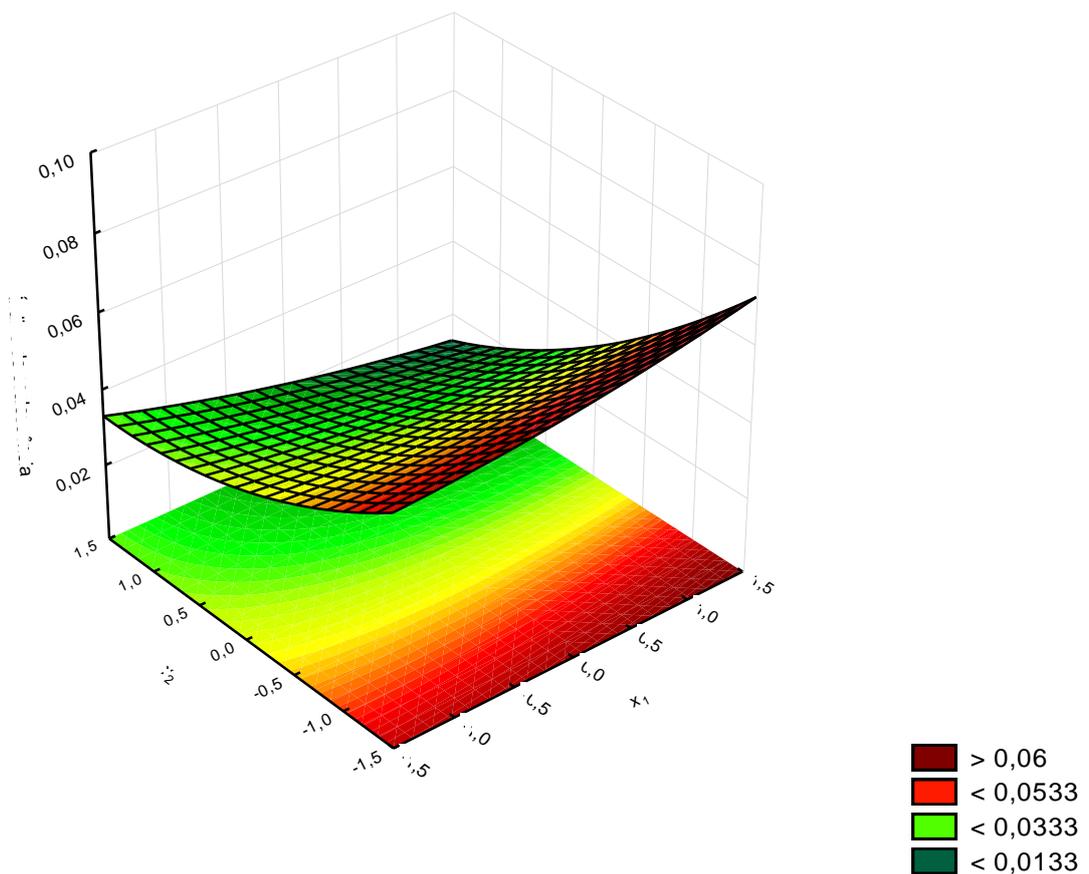


Figura 2 – Gráfico de superfície de resposta do índice de coalescência das espumas em função dos agentes maltodextrina (x_1) e proteínas do soro de leite (x_2).

Resultado semelhante foi observado por Carvalho (2014) ao estudar o efeito dos agentes Albumina, Emustab®, Maltodextrina e Super Liga Neutra® na produção da espuma de polpa de abóbora. O autor verificou que a maltodextrina apresentou

menor estabilidade da espuma em todas as concentrações testadas, em relação aos demais aditivos.

5.1.2 Curvas e Tempo de secagem dos extratos de café em leite de espuma à 60 °C

Na Figura 3 são apresentadas as curvas de secagem para as diferentes concentrações de agentes (DCCR) na temperatura de 60 °C, bem como os modelos ajustados. Na Tabela 5 são apresentados os valores dos parâmetros ajustados, o coeficiente de determinação ajustado e o erro padrão da regressão para cada modelo.

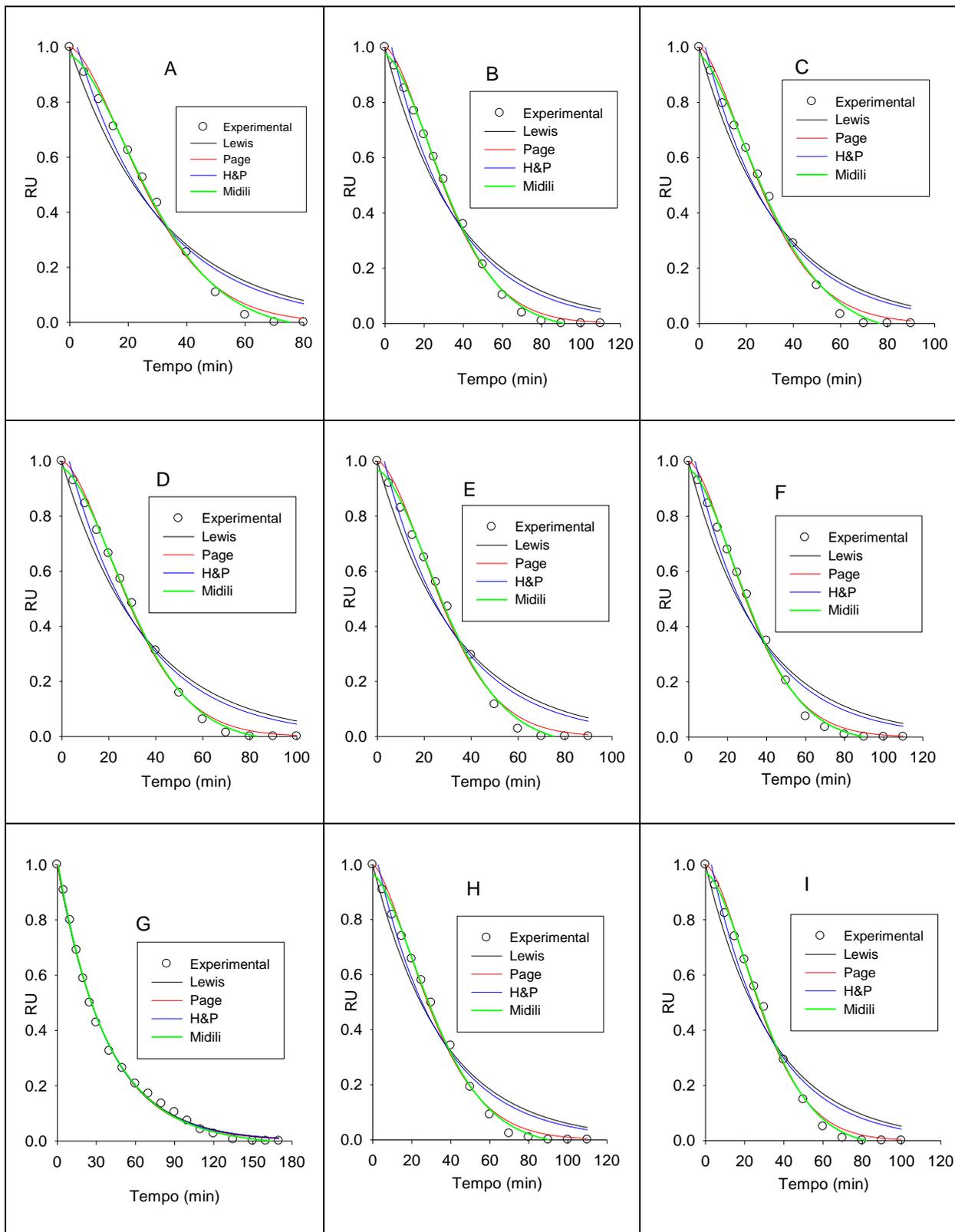


Figura 3 – Curvas de secagem em leito de espuma do extrato de café na temperatura de 60 °C em diferentes concentrações de agentes (DCCR). A: Tratamento 1; B: Tratamento 2; C: Tratamento 3; D: Tratamento 4; E: Tratamento 5; F: Tratamento 6; G: Tratamento 7; H: Tratamento 8; I: Tratamento 9.

Pode-se observar na Tabela 5, em termos de coeficiente de determinação ajustado, os modelos de Page e de Midili representam de forma satisfatória a cinética da secagem do extrato de café em leite de espuma, apresentando-se maior que 0,99. Todavia, o modelo de Midili apresentou o melhor ajuste em todos os dados experimentais, apresentando maiores valores de coeficiente de determinação e menores valores do erro padrão da regressão em todas as concentrações de agentes estudadas. Esse resultado também é observado na Figura 3, em que a curva ajustada pelo modelo de Midili foi a que se aproximou mais dos dados experimentais em todos os tratamentos. No início da secagem, a velocidade de perda de umidade é alta, e à medida que o tempo de secagem aumenta, reduz-se a perda de umidade, até atingir a umidade de equilíbrio.

Tabela 5 – Parâmetros estimados, coeficiente de determinação ajustado e erro padrão da regressão para os modelos ajustados em diferentes concentrações de agentes

Tratamentos	Modelo	k	n	a	b	R_{aj}^2	Erro Padrão
1	Lewis	0,03169	-	-	-	0,9517	0,08211
	Page	0,004474	1,5653	-	-	0,9942	0,02840
	H&P	0,03485	-	1,0938	-	0,9591	0,07557
	Midili	0,003594	1,6034	0,9693	-0,000326	0,9958	0,02428
2	Lewis	0,02687	-	-	-	0,9517	0,08319
	Page	0,003204	1,5852	-	-	0,9965	0,02253
	H&P	0,02991	-	1,1067	-	0,9621	0,07370
	Midili	0,002554	1,6279	0,973	-0,000198	0,9976	0,01865
3	Lewis	0,03063	-	-	-	0,9524	0,08080
	Page	0,004880	1,5246	-	-	0,9920	0,03319
	H&P	0,03356	-	1,0888	-	0,9590	0,07495
	Midili	0,004291	1,5307	0,9705	-0,000472	0,9941	0,02840
4	Lewis	0,02883	-	-	-	0,9480	0,08663
	Page	0,003198	1,6190	-	-	0,9962	0,02333
	H&P	0,03214	-	1,1084	-	0,9585	0,07733
	Midili	0,002589	1,6586	0,9741	-0,000225	0,9973	0,01983
5	Lewis	0,03002	-	-	-	0,9415	0,09139
	Page	0,003233	1,6351	-	-	0,9925	0,03277
	H&P	0,03333	-	1,1031	-	0,9506	0,08399
	Midili	0,002444	1,6867	0,9664	-0,000358	0,9942	0,02872
6	Lewis	0,02743	-	-	-	0,9512	0,08375
	Page	0,003234	1,5913	-	-	0,9956	0,02516
	H&P	0,03050	-	1,1059	-	0,9611	0,07474
	Midili	0,002432	1,6502	0,9700	-0,00018	0,9966	0,02199
7	Lewis	0,02661	-	-	-	0,9972	0,01737
	Page	0,02325	1,0368	-	-	0,9974	0,01671
	H&P	0,02728	-	1,0207	-	0,9975	0,01630
	Midili	0,02775	0,9902	1,019	-0,00008	0,9975	0,01630
8	Lewis	0,02824	-	-	-	0,9592	0,07505
	Page	0,004669	1,4997	-	-	0,9941	0,02847
	H&P	0,03088	-	1,0880	-	0,9657	0,06877
	Midili	0,0034	1,5634	0,9634	-0,00022	0,9958	0,02417
9	Lewis	0,02954	-	-	-	0,9502	0,08430
	Page	0,003618	1,5938	-	-	0,9950	0,02671
	H&P	0,03274	-	1,1024	-	0,9593	0,07620
	Midili	0,00277	1,6474	0,9697	-0,000228	0,9962	0,02338

Para estimar o tempo de secagem considerou-se o tempo no qual a razão de umidade atingiu o valor de equilíbrio, ou seja, razão de umidade igual a zero. Como o modelo escolhido foi o de Midili, tem-se uma equação não linear (Equação 12).

$$a e^{-k t_s^n} + b t_s = 0 \quad (12)$$

Para calcular a solução dessa equação utilizou-se o método de Newton com tolerância utilizada de 10^{-5} . O número máximo de iterações necessário para a convergência foi de 7 iterações. A partir dos resultados ajustou-se o modelo matemático apresentado na Equação 13. Foi realizada a Análise de Variância da regressão e da falta de ajuste (Tabela 6), em que foi verificado que o valor de F foi significativo ($p < 0,05$) para ambas. No entanto, o modelo proposto foi aceito, visto que houve influência dos agentes nessa variável; além disso, ele obteve um coeficiente de determinação (R^2) de 0,6828.

Tabela 6 – Análise de Variância da regressão e da falta de ajuste para o tempo de secagem das espumas

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	p
Regressão	5	12229,58	2445,917	8,329449*	0,000182
Resíduo	21	6166,58	293,6469		
Falta de ajuste	3	5681,42	1893,808	70,2625*	0,000000
Erro puro	18	485,16	26,953		
Total	26	18396,17			

*: Significativo ($p < 0,05$).

$$\hat{Y} = 71,8458 + 3,4812 x_1 - 5,9079 x_1^2 - 15,1197 x_2 + 16,6652 x_2^2 - 1,5565 x_1 x_2 \quad (13)$$

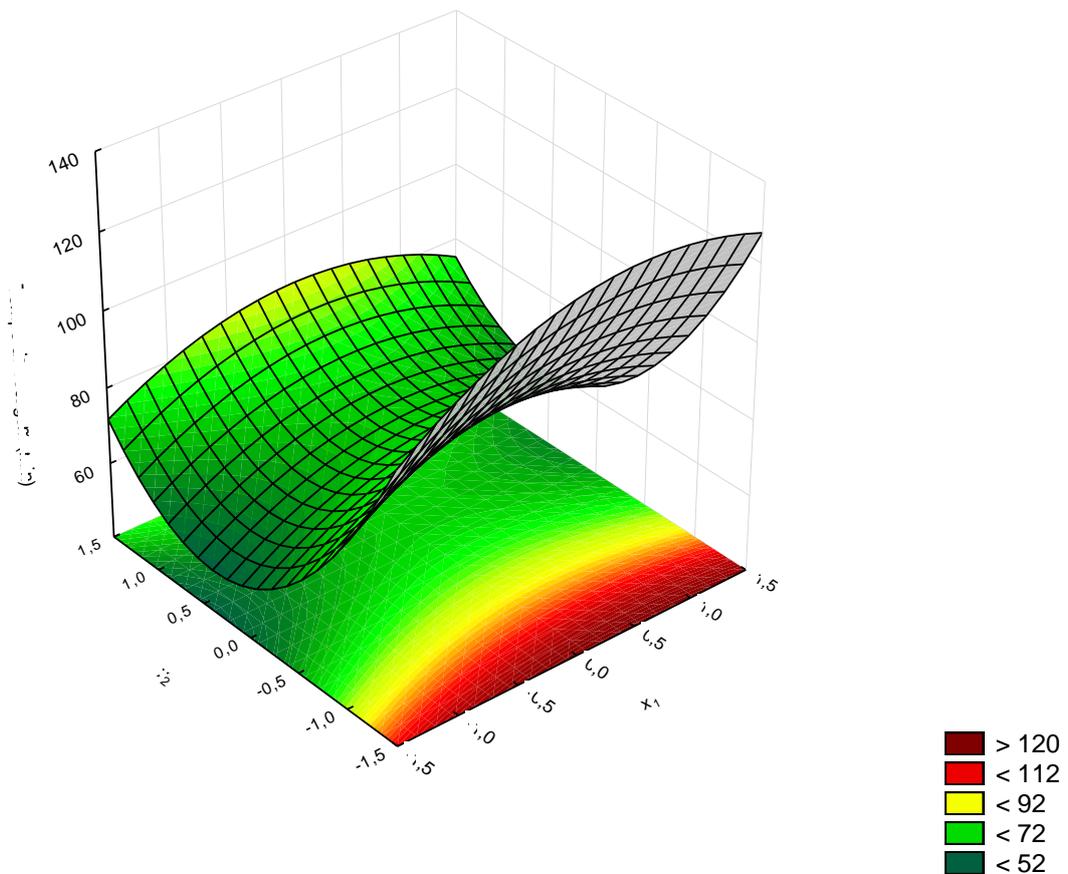


Figura 4 – Gráfico de superfície de resposta do tempo de secagem das espumas em função dos agentes maltodextrina (x_1) e proteínas do soro de leite (x_2).

Ao analisar a Figura 4 estimada pelo modelo, verifica-se que o gráfico não possui extremos relativos dentro do intervalo estudado. Maiores tempos de secagem são previstos nas maiores concentrações de maltodextrina (x_1) e menores de proteínas do soro (x_2). Segundo Rajkumar et al. (2007) a formação de espaço poroso na espuma aumenta a área superficial, o que facilita o processo de difusão de umidade durante a secagem. Assim, os resultados indicam que as proteínas do soro contribuiriam mais para esse processo, pois é possível observar que maiores concentrações de x_2 contribuiriam para reduzir o tempo de secagem. Esse fato é importante para o estudo da secagem, visto que, quanto menor o tempo que o produto fica exposto à temperatura de secagem, mais preservadas são as características sensoriais, nutricionais e funcionais do alimento (SOUZA, 2011).

5.1.3 Análise sensorial

Os agentes usados nesse método de secagem podem modificar as características sensoriais dos alimentos, de modo a influenciar a aceitação sensorial do produto final, sendo necessário realizar análises sensoriais para verificar esta influência.

De acordo com os resultados da Análise de Variância (ANOVA) verifica-se que houve diferença significativa ($p < 0,05$) entre as médias hedônicas de todos os atributos sensoriais (Tabela 7). Foi também realizado o teste de Dunnett, a 5% de probabilidade entre as notas da aceitação sensorial de todos os tratamentos (DCCR) e o controle (Tabela 8).

Tabela 7 – Análise de variância para os atributos sensoriais da aceitação sensorial dos cappuccinos

Atributos	F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	p
Aparência	Tratamento	9	40,12	4,46	4,89*	0,000002
	Bloco	101	596,02	5,90	6,48*	0,000000
	Resíduo	909	828,38	0,91		
Aroma	Tratamento	9	276,19	30,69	23,58*	0,000000
	Bloco	101	710,50	7,03	5,41*	0,000000
	Resíduo	909	1183,01	1,30		
Sabor	Tratamento	9	875,20	97,24	50,33*	0,000000
	Bloco	101	622,16	6,16	3,19*	0,000000
	Resíduo	909	1756,30	1,93		
Impressão Global	Tratamento	9	524,39	58,27	41,10*	0,000000
	Bloco	101	505,58	5,01	3,53*	0,000000
	Resíduo	909	1288,51	1,42		

*: Significativo ($p < 0,05$).

Tabela 8 – Média das notas hedônicas para as formulações do cappuccino e do controle

Tratamentos	Aparência	Aroma	Sabor	Impressão global
1	7,7*	7,5*	7,6*	7,6*
2	7,8*	7,5*	7,4*	7,3*
3	7,7*	7,7*	7,3*	7,3*
4	7,7*	7,6*	6,9*	7,2*
5	7,8*	7,7*	7,2*	7,5*
6	7,9*	7,6*	7,8*	7,8*
7	7,7*	7,5*	7,1*	7,2*
8	7,7*	7,7*	7,6*	7,6*
9	7,9*	7,7*	7,7*	7,7*
Controle	7,1	5,9	4,4	5,2

*: Diferem do controle pelo teste de Dunnet ($p < 0,05$).

Os resultados do Teste de Dunnet demonstraram que as 9 formulações diferiram significativamente ($p < 0,05$) da formulação controle para todos os atributos sensoriais (aparência, aroma, sabor e impressão global). Dessa forma, nota-se que todas as formulações de cappuccinos feitas com os cafés solúveis obtidos pelo DCCR apresentaram maiores notas hedônicas em relação à formulação controle, a qual foi preparada com café solúvel do mercado (Tabela 8), demonstrando maior aceitação sensorial.

Para os atributos aparência, aroma e impressão global, as médias hedônicas de todas as formulações do DCCR (1 a 9) encontraram-se entre a classificação "gostei moderadamente" (nota hedônica 7) e "gostei muito" (nota hedônica 8). Para o atributo sabor, todas as formulações (1 a 9) também obtiveram médias entre as categorias "gostei moderadamente" (nota hedônica 7) e "gostei muito" (nota hedônica 8), com exceção da formulação 4, que apresentou média entre "gostei ligeiramente" (nota hedônica 6) e "gostei moderadamente" (nota hedônica 7).

Em relação à formulação controle, para os atributos aroma e impressão global, as médias hedônicas obtidas ficaram entre a classificação "indiferente" (nota hedônica 5) e "gostei ligeiramente" (nota hedônica 6). Para o atributo aparência, o controle apresentou média entre "gostei moderadamente" (nota hedônica 7) e

"gostei muito" (nota hedônica 8), e para o atributo sabor, a formulação controle obteve classificação entre "desgostei ligeiramente" (nota hedônica 4) e "indiferente" (nota hedônica 5), sendo o atributo com menor aceitação sensorial.

Foi realizada a análise de variância (ANOVA) da regressão e da falta de ajuste para as variáveis resposta da avaliação sensorial das 9 formulações de cappuccinos (Tabela 9). Não houve diferença significativa ($p > 0,05$) para a aparência entre as 9 formulações testadas, não sendo ajustado nenhum modelo. Nesse caso, considera-se a média hedônica geral de 7,7, o que corresponde entre as categorias "gostei moderadamente" e "gostei muito".

Os demais atributos (aroma, sabor e impressão global) apresentaram regressão significativa ($p < 0,05$) e falta de ajuste não significativa ($p > 0,05$); sendo assim, os modelos ajustados são adequados para descrever os comportamentos das médias hedônicas em função dos agentes utilizados nesse estudo, bem como os coeficientes de determinação, os quais são apresentados na Tabela 10.

Tabela 9 – Análise de Variância da regressão e da falta de ajuste para os atributos sensoriais

Atributos	F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	p
Aroma	Regressão	4	9,602	2,4006	2,5523*	0,037847
	Bloco	101	654,38			
	Resíduo	812	763,731	2,01776		
	F. A.	4	1,878	1,2274	1,3017 ^{ns}	0,2677
	E. P.	808	761,853	0,94289		
Sabor	Regressão	4	73,582	18,3955	11,0995*	0,000000
	Bloco	101	491,13	4,86267		
	Resíduo	812	1345,751	1,65733		
	F. A.	4	4,91	1,2274	0,7396 ^{ns}	0,565075
	E. P.	808	1340,841	1,659457		
Impressão Global	Regressão	5	31,593	6,3185	5,5702*	0,000047
	Bloco	101	406,56			
	Resíduo	811	919,956	1,1343		
	F. A.	3	7,436	2,4788	2,1949 ^{ns}	0,087251
	E. P.	808	761,853	0,94289		

*: Significativo ($p < 0,05$); ^{ns}: Não significativo ($p > 0,05$); F. A.: falta de ajuste; E. P.: erro puro.

Tabela 10 – Modelos ajustados para os atributos sensoriais

Variável resposta	Modelos ajustados	R ²
Aroma	$\hat{Y} = 7,7451 - 0,046562 x_1 - 0,058121 x_1^2 + 0,073668 x_2 - 0,089983 x_2^2$	0,8122
Sabor	$\hat{Y} = 7,7255 + 0,19755 x_1 - 0,13276 x_1^2 + 0,17214 x_2 - 0,20383 x_2^2$	0,9335
Impressão Global	$\hat{Y} = 7,7059 + 0,10217 x_1 - 0,064731 x_1^2 + 0,12785 x_2 - 0,15787 x_2^2 + 0,051889 x_1 x_2$	0,8023

Para o atributo aroma, observa-se na Figura 5 que as notas hedônicas aumentaram para as formulações adicionadas de cafés desidratados com teores de maltodextrina e proteínas do soro próximos aos médios (ponto central). O modelo prevê um ponto de máximo ($\hat{Y}_{max} = 7,7695$), que ocorre em $x_1 = -0,4006$ e $x_2 = 0,4093$, correspondendo, respectivamente, a 2,15% de maltodextrina e a 3,87% de proteínas do soro.

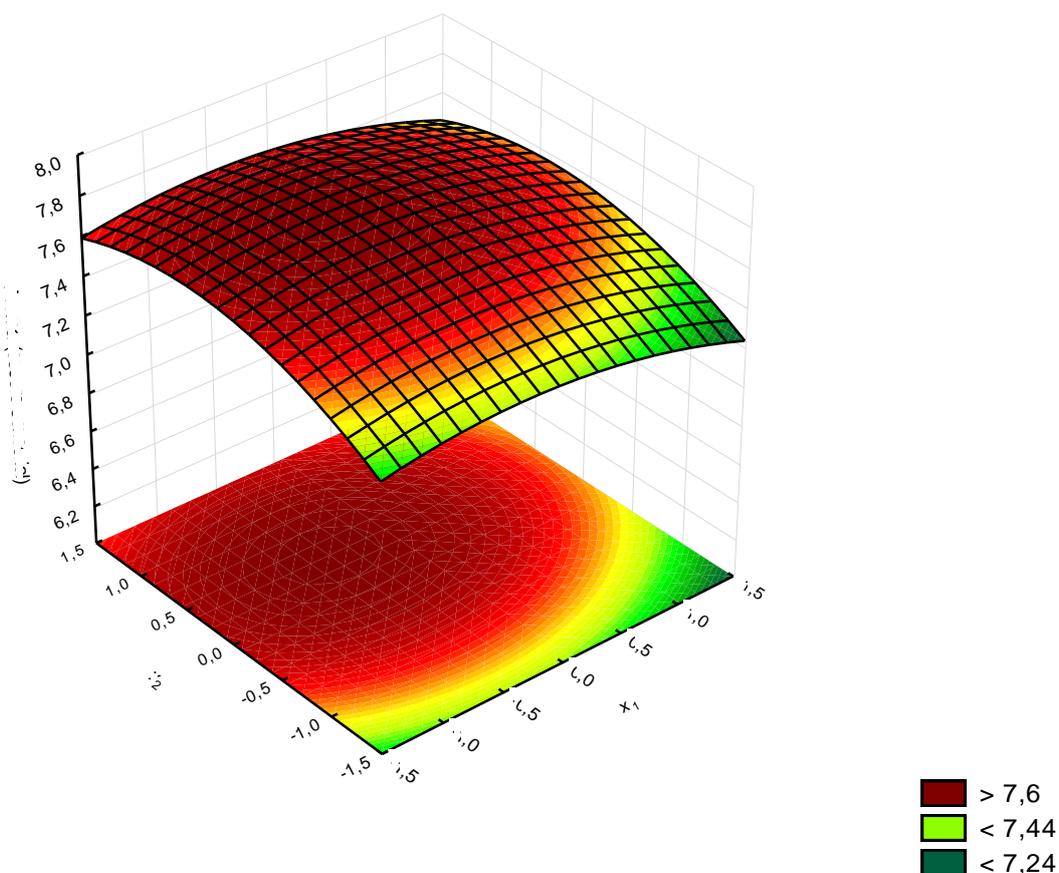


Figura 5 – Gráfico de superfície de resposta das notas hedônicas de aroma em função dos agentes maltodextrina (x_1) e proteínas do soro de leite (x_2).

Ao analisar o gráfico (Figura 6), verifica-se que valores intermediários de ambos os agentes contribuíram para aumentar as notas hedônicas de sabor. De acordo com os resultados, o ponto de máximo (maior aceitação) se encontra em 7,8353, ocorrendo em $x_1 = 0,7440$ e $x_2 = 0,4223$, o que corresponde, respectivamente, a 4,58% de maltodextrina e a 3,90% de proteínas do soro.

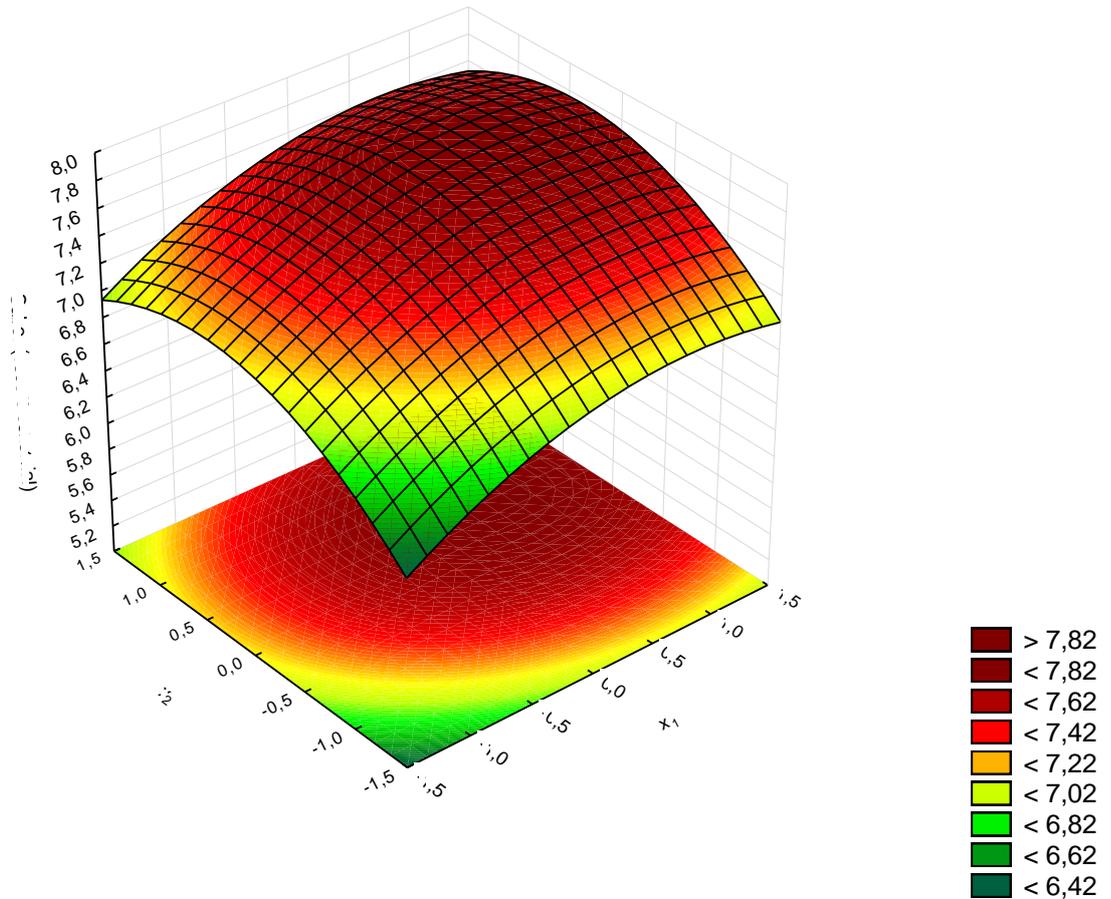


Figura 6 – Gráfico de superfície de resposta das notas hedônicas de sabor em função dos agentes maltodextrina (x_1) e proteínas do soro de leite (x_2).

Em relação à impressão global, as maiores notas hedônicas foram obtidas nas formulações que continham maiores teores de maltodextrina e proteínas do soro próximos ao médio. Nota-se um ponto de máximo ($\hat{Y}_{max} = 7,7945$), o qual ocorre em $x_1 = 1,0186$ e $x_2 = 0,5723$, e corresponde, respectivamente a 5,16% de maltodextrina e 4,21% de proteínas do soro (Figura 7).

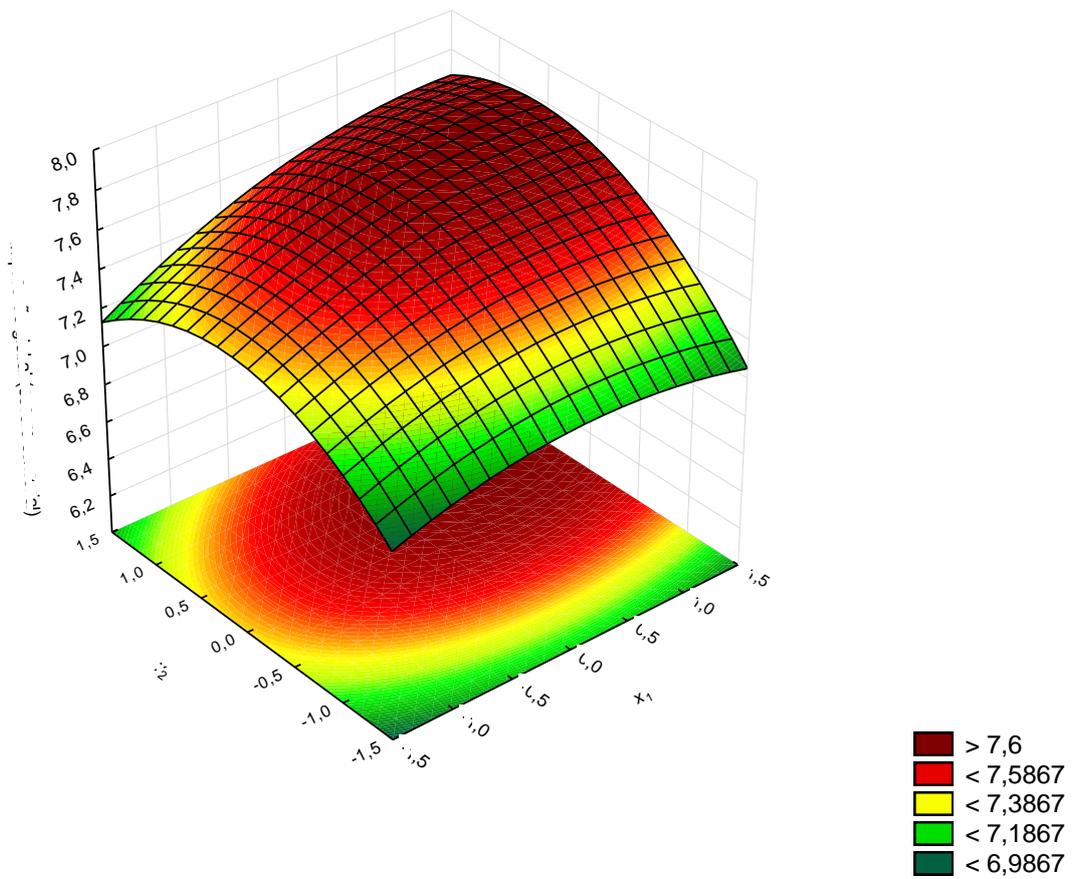


Figura 7 – Gráfico de superfície de resposta das notas hedônicas de impressão global em função dos agentes maltodextrina (x_1) e proteínas do soro de leite (x_2).

Ao avaliar os resultados obtidos para os diferentes atributos estudados em relação às formulações de cappuccino, verifica-se que, para todas as variáveis resposta, ao utilizar concentrações de agentes (maltodextrina e proteínas do soro de leite) próximos dos valores codificados de -1,41, ou seja, com concentrações próximos de 0, foram obtidas as menores notas hedônicas.

Portanto, é possível observar que o uso dos agentes na produção de café desidratado contribuiu significativamente para uma melhor aceitação dos cappuccinos, entre as formulações (DCCR), bem como em relação ao controle. Contudo, vale ressaltar que a forma de processamento do café solúvel seria outra possível causa que possa ter contribuído para a melhor aceitação dos cappuccinos desse estudo. Em contraste à obtenção do café desidratado nesse estudo, na produção industrial a extração dos sólidos solúveis do café ocorre em altas temperaturas e pressões, fazendo com que possa extrair compostos que não são extraídos a pressão atmosférica, como os de alto peso molecular, bem como na

secagem do extrato de café por spray dryer, em razão das altas temperaturas utilizadas, podem ocorrer transformações e perdas de compostos voláteis do café; sendo assim, esses fatores podem ter colaborado para alterar de forma negativa o sabor e o aroma do café solúvel.

5.1.4 Atividade antioxidante (ABTS)

Ao estudar a atividade antioxidante pelo método de ABTS, também foi ajustado um modelo (Equação 14) para explicar o comportamento dessa variável resposta em função dos agentes utilizados nas formulações. De acordo com os resultados (Tabela 11), a ANOVA da regressão foi significativa ($p < 0,05$) e da falta de ajuste do modelo foi não significativo ($p > 0,05$), ou seja, o modelo se ajustou bem aos dados, apresentando um coeficiente de determinação (R^2) igual a 0,9832.

$$\hat{Y} = 18,1645 - 2,1165 x_1 + 0,07942 x_1^2 - 2,4626 x_2 - 0,4706 x_2^2 + 0,02005 x_1 x_2 \quad (14)$$

Tabela 11 – Análise de Variância da regressão e da falta de ajuste para a atividade antioxidante dos pós (ABTS)

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	p
Regressão	5	257	51,41868	49,87822*	0,000000
Resíduo	21	21,6486	1,030884		
Falta de ajuste	3	4,4028	1,4676	1,5318 ^{ns}	0,240494
Erro puro	18	17,2458	0,9581		
Total	26	278,7420			

*: Significativo ($p < 0,05$); ^{ns}: Não significativo ($p > 0,05$).

Foi observado para a atividade antioxidante avaliada pelo método ABTS que não houve ponto crítico dentro do intervalo estudado, e que os tratamentos que possuíam maiores teores de maltodextrina e proteínas do soro apresentaram menor atividade antioxidante, e aqueles que tinham menores teores de ambos os agentes apresentaram maior atividade antioxidante (Figura 8). Assim, os resultados indicam que, à medida que se aumenta a quantidade dos agentes para a produção da espuma, ocorre uma diluição do extrato de café, ocasionando menor valor de antioxidantes nesses tratamentos.

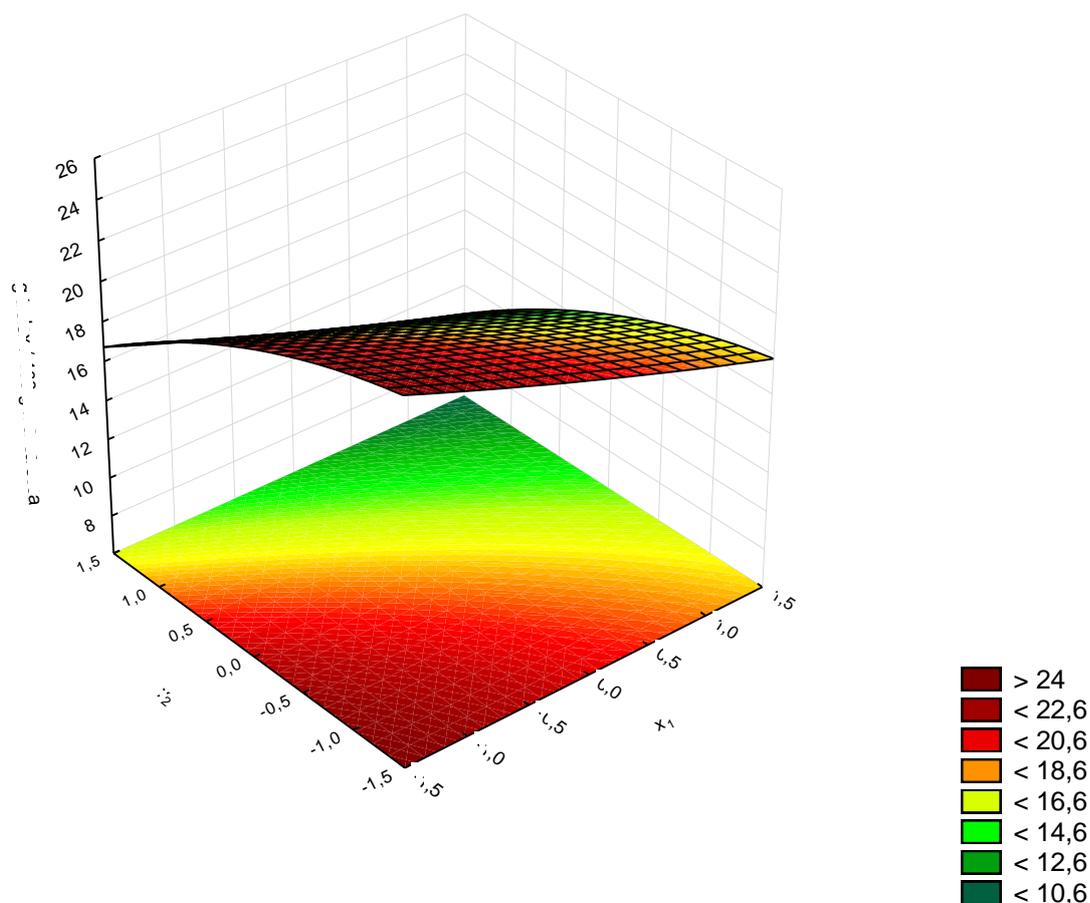


Figura 8 – Gráfico de superfície de resposta da atividade antioxidante dos pós pelo método ABTS em função dos agentes maltodextrina (x_1) e proteínas do soro de leite (x_2).

Vignoli et al. (2011) avaliaram a atividade antioxidante de cafés solúveis liofilizados obtidos de diferentes condições de graus de torra de café arábica e condições de extração convencional e sistemas de dupla extração. Os autores encontraram valores de atividade antioxidante variando de 18,77 a 24,78 g trolox/100 g e correlacionaram a associação da atividade antioxidante com a presença de compostos fenólicos, cafeína e melanoidinas. Esses resultados são semelhantes do presente estudo, demonstrando a eficiência da secagem em leito de espuma quando comparada a liofilização.

5.1.5 Atividade antioxidante (DPPH)

Foi observado que os agentes (maltodextrina e proteínas do soro de leite) influenciaram significativamente ($p < 0,05$) na atividade antioxidante dos pós obtidos

após a secagem pelo método de sequestro do radical estável DPPH. Sendo assim, foi realizado o teste do modelo (Tabela 12), em que o F para a regressão foi significativo ($p < 0,05$) e para a falta de ajuste foi não significativo ($p > 0,05$). Conclui-se que o modelo proposto (Equação 15) se ajustou bem aos dados; além disso, obteve um elevado coeficiente de determinação (R^2) de 0,9908.

Tabela 12 – Análise de Variância da regressão e da falta de ajuste para a atividade antioxidante dos pós (DPPH)

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	p
Regressão	3	647,713	215,904	4,6253*	0,011301
Resíduo	23	1073,618	46,6790		
Falta de ajuste	5	12,861	2,5723	0,04365 ^{ns}	0,998698
Erro puro	18	1060,756	58,9309		
Total	26	1721,331			

*: Significativo ($p < 0,05$); ^{ns}: Não significativo ($p > 0,05$).

$$\hat{Y} = 88,101 - 3,49859 x_1 - 3,77827 x_2 + 0,97222 x_1 x_2 \quad (15)$$

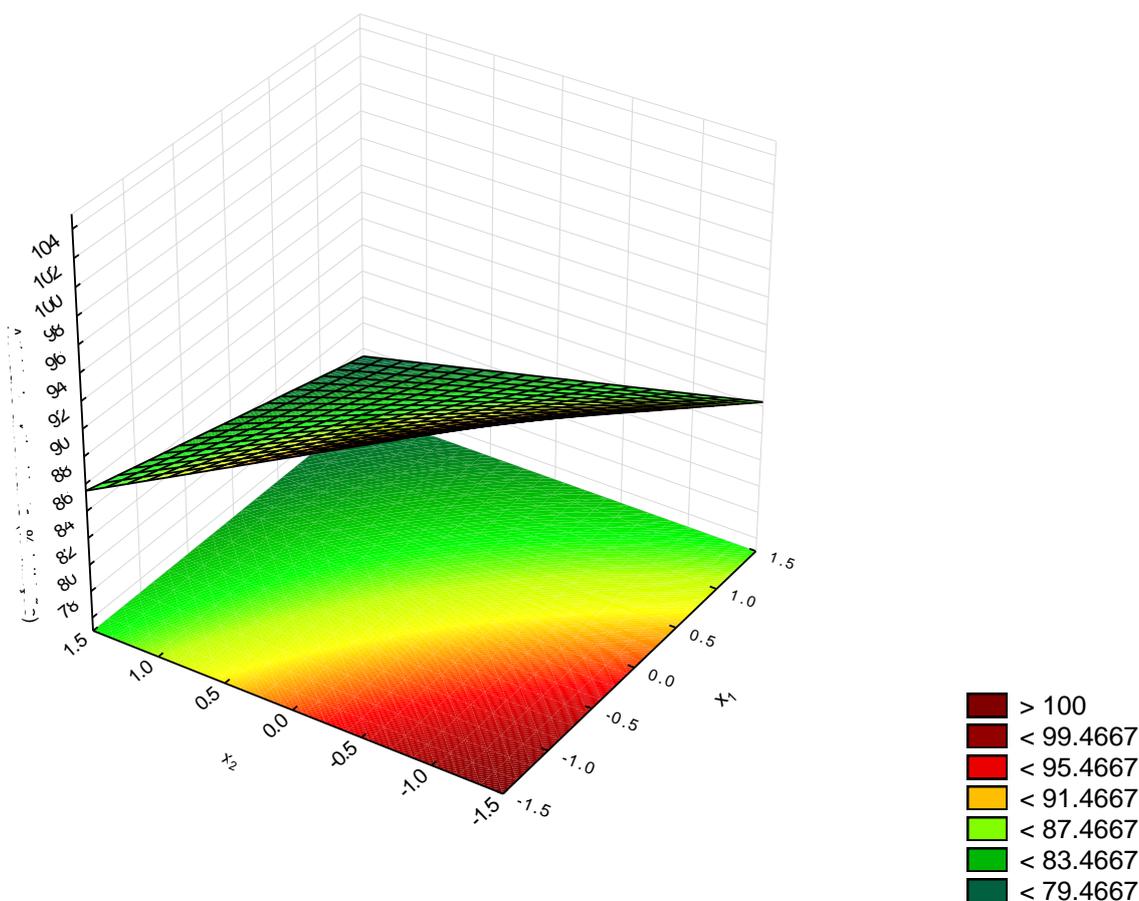


Figura 9. Gráfico de superfície de resposta da atividade antioxidante dos pós pelo método DPPH em função dos agentes maltodextrina (x_1) e proteínas do soro de leite (x_2).

É possível observar no gráfico de superfície de resposta a não existência de ponto crítico dentro do intervalo estudado (Figura 9). Quanto maiores os teores de maltodextrina (x_1) e de proteínas do soro (x_2), menor a atividade antioxidante dos pós. Por outro lado, ao utilizar menores concentrações de x_1 e x_2 maior é atividade antioxidante. Esse resultado assemelha-se ao observado para a atividade antioxidante pelo método ABTS, podendo ser justificado da mesma maneira.

De acordo com os resultados, constataram-se elevadas porcentagens de sequestro de radicais, sendo superiores a 79%, evidenciando a alta atividade antioxidante dos pós produzidos por esse método, o que justifica a grande retenção dos compostos bioativos oriundos do café.

5.1.6 Solubilidade

A solubilidade é considerada como um fator determinante dos pós reconstituídos (JAYASUNDERA et al., 2011), e quando utilizados como ingredientes, devem proporcionar uma boa solubilidade, garantindo a qualidade dos produtos (MORR et al., 1985).

Foi verificado, no presente estudo, que o uso de diferentes concentrações de agentes (maltodextrina e proteínas do soro de leite) não exerceu influência significativa ($p > 0,05$) na solubilidade dos pós obtidos após a secagem, não se ajustando nenhum modelo. Os resultados apresentam uma média de 97,31%, o que indica uma alta solubilidade dos pós.

Resultado semelhante foi obtido por Dantas (2010), o qual obteve solubilidade de 98% em pós de abacaxi e 91% em pós de manga desidratados em leite de espuma com adição de 1% de liga neutra e 1% de emulsificante na temperatura de 70 °C. Cruz (2013) obteve solubilidade de 88,8 a 89% em pós de goiaba ao variar a concentração de agente emulsificante na temperatura de 60 °C.

5.1.7 Molhabilidade

Foi observado que o teor de agentes influenciou significativamente na molhabilidade dos pós. Portanto, foi realizado o teste do modelo, e o F para a regressão e para a falta de ajuste foi significativo ($p < 0,05$) (Tabela 13). O modelo ajustado foi aceito (Equação 16), visto que o coeficiente de determinação (R^2) encontrado foi de 0,9487, ou seja, o modelo explica 94,87% da variação dos dados de molhabilidade.

Tabela 13 – Análise de Variância da regressão e da falta de ajuste para a molhabilidade dos pós

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	p
Regressão	5	3963.032	792.6065	34.45817*	0.000000
Resíduo	21	483.042	23.00199		
Falta de ajuste	3	214.375	71.45835	4.787532*	0.012671
Erro puro	18	268.667	14.92593		
Total	26	4446.074			

*: Significativo ($p < 0,05$).

$$\hat{Y} = 50 + 0,58875 x_1 - 2,6875 x_1^2 + 11,19733 x_2 - 3,85417 x_2^2 - 8,25 x_1 x_2 \quad (16)$$

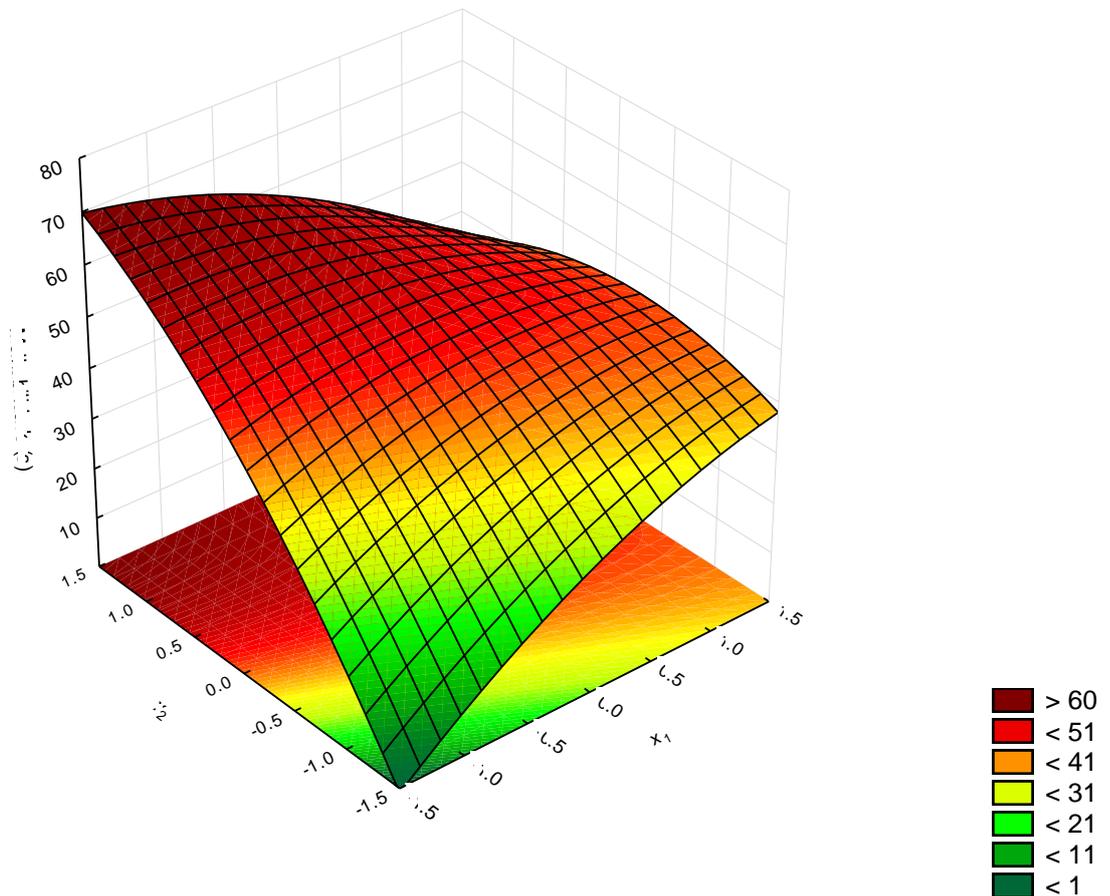


Figura 10 – Gráfico de superfície de resposta da molhabilidade dos pós em função dos agentes maltodextrina (x_1) e proteínas do soro de leite (x_2).

Não foi obtido ponto crítico dentro do intervalo estudado. Maiores tempos de molhabilidade são previstos nas menores concentrações de maltodextrina (x_1) combinadas com maiores concentrações de proteínas do soro (x_2), enquanto menores tempos de molhabilidade são encontrados quando utilizadas menores concentrações de ambos agentes (Figura 10).

A molhabilidade pode ser caracterizada pela susceptibilidade das partículas em serem penetradas pela água, podendo influenciar em uma série de etapas tais como aglomeração, granulação, revestimento, secagem, bem como na dissolução e solubilidade dos pós (FORNY et al., 2011). Segundo esses autores, ao dispersar os pós com um mínimo de agitação em água quente e fria e não ocorrer a formação de grumos, os pós podem ser denominados como instantâneos.

Sendo assim, de maneira geral, os pós obtidos nesse estudo apresentaram alta molhabilidade, alcançando um tempo máximo de 60 segundos, o que demonstra a instantaneidade dos pós produzidos por esse método. Esse fator se deve à porosidade dos pós, em decorrência da espuma estável, pois a água percorre com maior facilidade entre os poros, promovendo a maior reconstituição dos pós (ABBASI; AZIZPOUR, 2016).

Tonon (2009) encontrou um tempo de molhamento de 8,61 minutos do pó de suco de açaí com maltodextrina obtido por spray dryer. Fernandes et al. (2014), ao estudarem o tipo de material para encapsular óleo essencial de alecrim também em spray dryer, verificaram elevados tempos de molhamento (acima de 4 minutos) dos pós quando usada a maltodextrina na formulação. Os maiores tempos de molhamento obtidos por esses autores, podem ser decorrentes da composição do alimento, bem como do método de secagem utilizado.

5.1.8 Umidade

Observou-se que os agentes apresentaram efeito significativo ($p < 0,05$) na variável resposta (umidade), obtendo-se regressão significativa ($p < 0,05$) e falta de ajuste não significativa ($p > 0,05$) (Tabela 14). Dessa forma, conclui-se que o modelo ajustado (Equação 17) é adequado para explicar o comportamento dessa variável, e obteve um coeficiente de determinação (R^2) de 0,6596.

Tabela 14 – Análise de Variância da regressão e da falta de ajuste para a umidade dos pós

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	p
Regressão	5	1,8609	0,46522	3,213222*	0,02613
Resíduo	21	3,1852	0,144783		
Falta de ajuste	3	0,9471	0,315694	2,553898 ^{ns}	0,087657
Erro puro	18	2,2250	0,123613		
Total	26	5,0461			

*: Significativo ($p < 0,05$); ^{ns}: Não significativo ($p > 0,05$).

$$\hat{Y} = 3,251027 + 0,052841 x_1 + 0,242818 x_1^2 - 0,176178 x_2 - 0,12389 x_1 x_2 \quad (17)$$

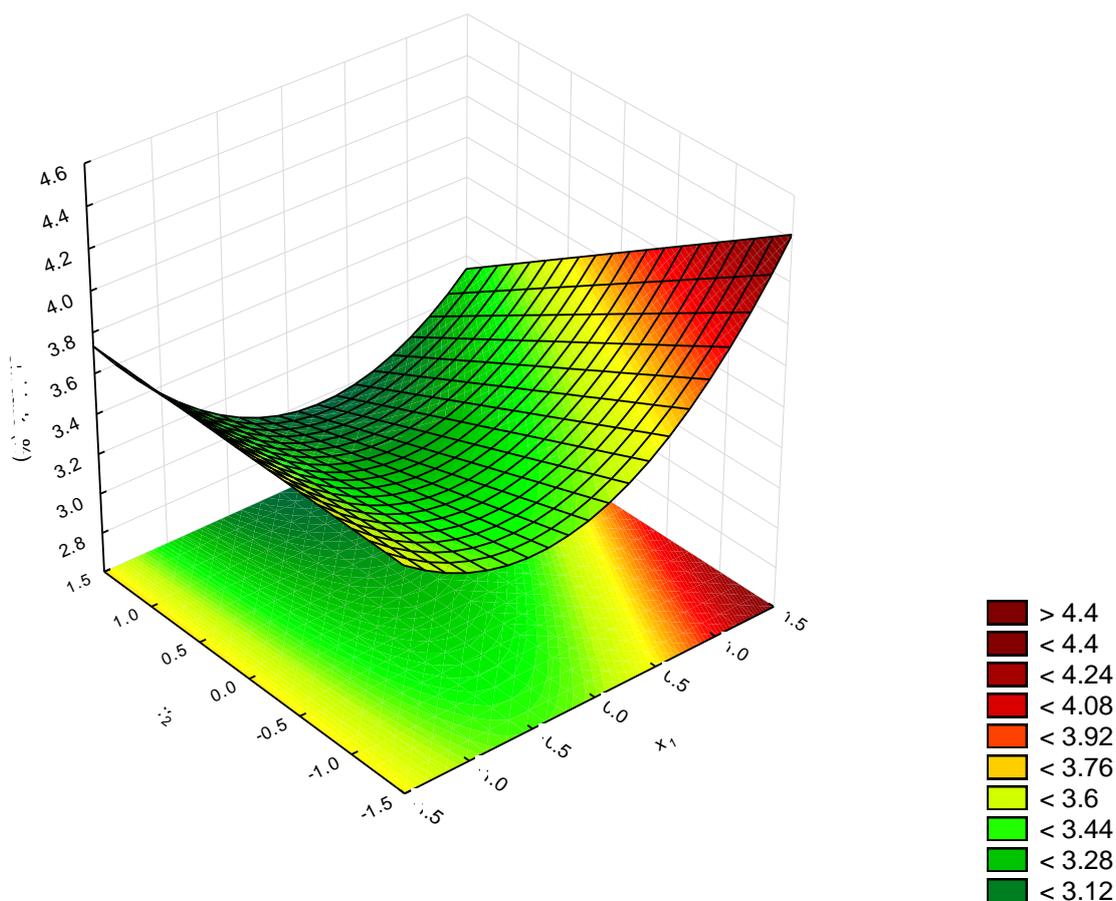


Figura 11 – Gráfico de superfície de resposta da umidade dos pós em função dos agentes maltodextrina (x_1) e proteínas do soro de leite (x_2).

Foi averiguado para o teor de umidade que não houve ponto crítico dentro do intervalo estudado (Figura 11). Maiores valores de umidade foram encontrados para os tratamentos que apresentavam maiores concentrações de maltodextrina e menores concentrações de proteínas do soro, enquanto menores valores de umidade para aqueles que tinham maiores concentrações de proteínas do soro e concentrações intermediárias de maltodextrina.

Os resultados de umidade encontrados em todos os tratamentos estão dentro do limite estabelecido pela legislação brasileira para café solúvel, o qual deve possuir no máximo 5% de umidade (BRASIL, 1999).

5.1.9 Otimização das concentrações dos agentes pela função desejabilidade

Para os cálculos da desejabilidade individual das variáveis resposta que se desejam minimizar, o valor alvo (T) considerado foi o valor mínimo estimado para

essas variáveis resposta pelos modelos ajustados dentro do intervalo para as variáveis codificadas de -1,4142 a +1,4142 e o limite superior admissível (U) foi o valor máximo estimado dentro do mesmo intervalo. Para as variáveis resposta que se desejam maximizar, o valor alvo (T) considerado foi o valor máximo estimado para essas variáveis resposta pelos modelos ajustados dentro desse intervalo e o limite inferior admissível (L) foi o valor mínimo. Os valores estabelecidos para as variáveis utilizadas são apresentados na Tabela 15.

Tabela 15 – Valores limite das variáveis resposta utilizadas na função desejabilidade

Variáveis resposta	L	T	U
Sabor	6,53	7,84	-
Aroma	7,28	7,77	-
Impressão global	7,04	7,79	-
Índice de coalescência	-	0,0136	0,0688
Tempo de secagem	-	52,60	127,93
ABTS	10,95	23,90	-
DPPH	79,75	100,34	-
Molhabilidade	-	3,75	68,42
Umidade	-	2,99	4,31

Ao utilizar a função desejabilidade, foi obtido um gráfico de superfície de resposta (Figura 12) que apresenta o perfil da desejabilidade global, definida de acordo com os valores limite escolhidos. Verifica-se que a desejabilidade máxima foi igual a 0,6503, obtida em valores das variáveis codificadas x_1 igual a -0,79196 e x_2 igual a -0,16971, o que corresponde a um tratamento que adiciona 1,32% de maltodextrina (x_1) e 2,64% de proteínas do soro de leite (x_2) para a formação da espuma de extrato de café. Estes níveis de fatores representam o conjunto de respostas mais satisfatório, estabelecendo um ponto ótimo do processamento.

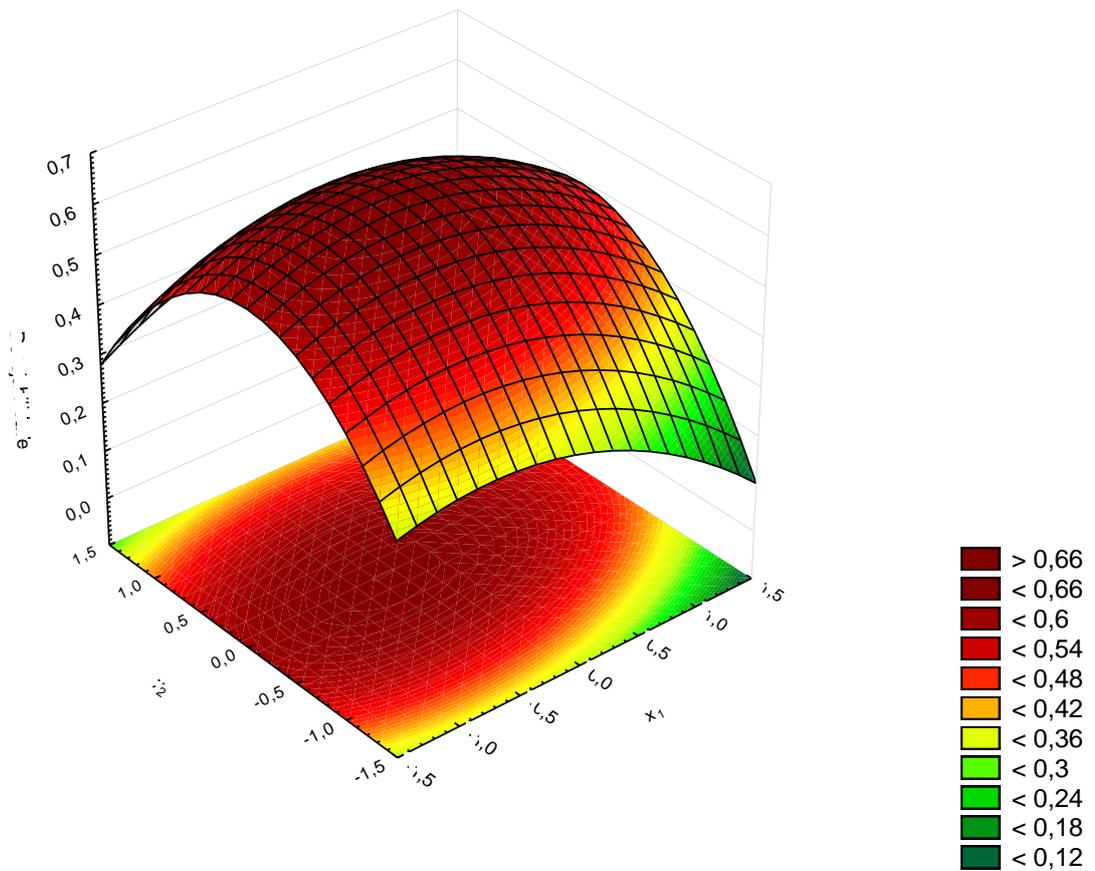


Figura 12 – Gráfico da desejabilidade global para as concentrações de maltodextrina (x_1) e proteínas do soro de leite (x_2).

5.1.10 Características físico-químicas dos pós

O aspecto dos cafés desidratados obtidos em diferentes concentrações de agentes em leite de espuma são mostrados na Figura 13.

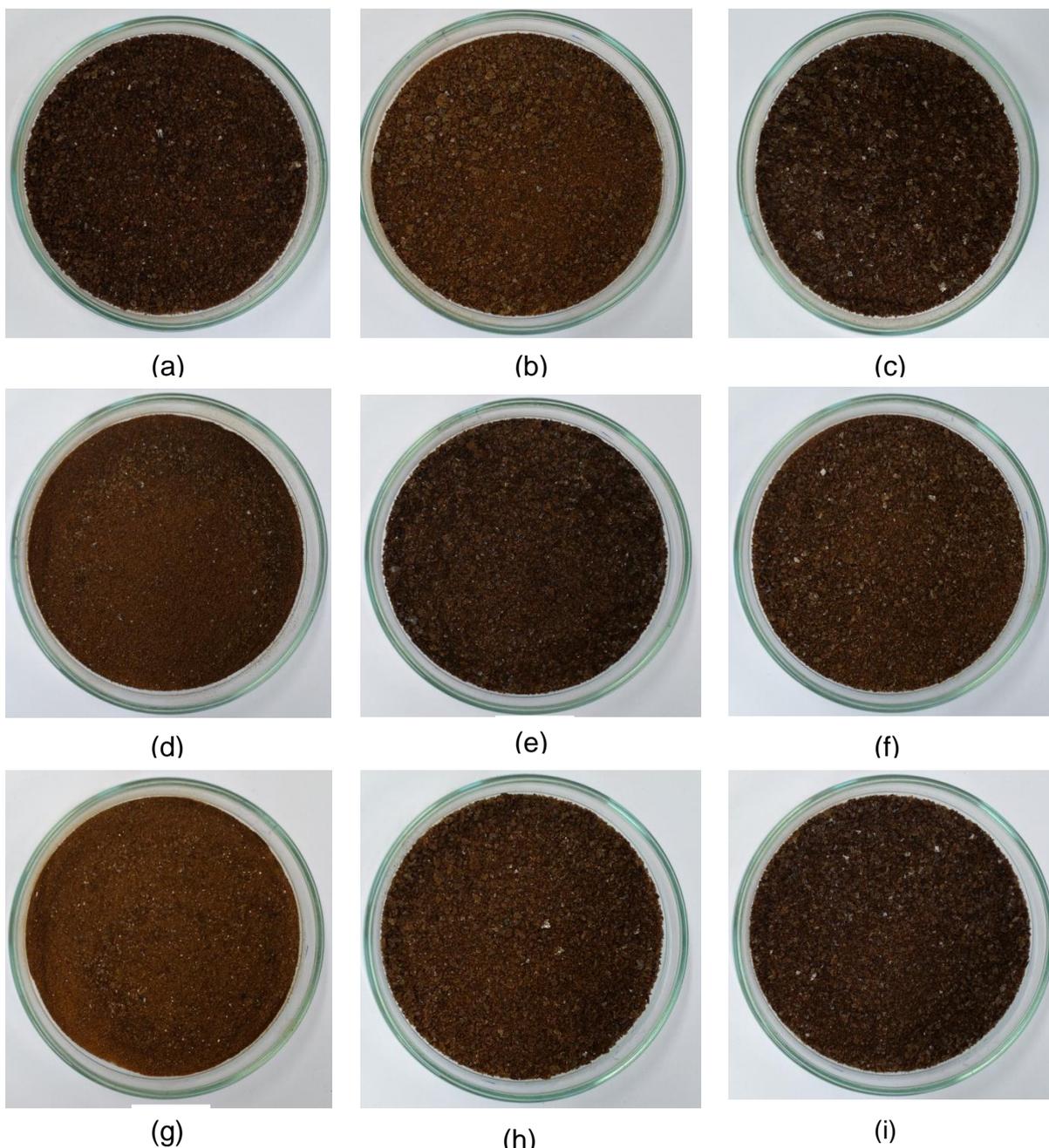


Figura 13 – Cafés desidratados em diferentes combinações de agentes maltodextrina e proteínas do soro (DCCR) obtidos em leite de espuma a 60 °C. a: Tratamento 1; b: Tratamento 2; c: Tratamento 3; d: Tratamento 4; e: Tratamento 5; f: Tratamento 6; g: Tratamento 7; h: Tratamento 8; i: Tratamento 9.

5.1.10.1 Cor instrumental

Foi verificado que as variáveis L^* , a^* , b^* , C^* e h^* foram influenciadas pelos diferentes agentes, portanto, foram testados modelos matemáticos que explicassem o comportamento dessas variáveis. Foi realizada a ANOVA da regressão e da falta de ajuste (Tabela 16), na qual foi verificado que o F da regressão foi significativo ($p < 0,05$) e da falta de ajuste foi não significativo ($p > 0,05$) para todas as coordenadas avaliadas. Na Tabela 17 são apresentados os modelos matemáticos ajustados, bem como os coeficientes de determinação (R^2).

Tabela 16 – Análise de Variância da regressão e da falta de ajuste para as coordenadas de cor dos pós

Coordenadas	F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	p
L^*	Regressão	5	91,3692	18,27384	17,79304*	0,000000
	Resíduo	21	21,5675	1,027022		
	F. A.	3	5,8924	1,964125	2,255443 ^{ns}	0,116793
	E. P.	18	15,6751	0,870838		
a^*	Regressão	5	18,5623	3,712453	22,82417*	0,000000
	Resíduo	21	3,4157	0,162654		
	F. A.	3	0,7790	0,259658	1,772561 ^{ns}	0,188406
	E. P.	18	2,6368	0,146487		
b^*	Regressão	5	108,6986	21,73973	28,23847*	0,000000
	Resíduo	21	16,1671	0,769862		
	F. A.	3	3,4801	1,16004	1,645837 ^{ns}	0,214147
	E. P.	18	12,6870	0,704833		
C^*	Regressão	5	116,7476	23,34951	28,28911*	0,000000
	Resíduo	21	17,3332	0,825389		
	F. A.	3	3,8050	1,268333	1,68759 ^{ns}	0,205278
	E. P.	18	13,5282	0,751565		
h^*	Regressão	5	206,0738	41,21476	18,92796*	0,000000
	Resíduo	21	45,7265	2,177454		
	F. A.	3	5,1035	1,701155	0,753779 ^{ns}	0,534430
	E. P.	18	40,6231	2,256837		

*: Significativo ($p < 0,05$); ^{ns}: Não significativo ($p > 0,05$); F. A.: falta de ajuste; E. P.: erro puro.

Tabela 17 – Modelos ajustados e coeficientes de determinação (R²) para as coordenadas de cor

Variável resposta	Modelos ajustados	R ²
L*	$\hat{Y} = 33,13556 + 0,69143 x_1 + 0,10431 x_1^2 - 1,44541 x_2 + 1,41153 x_2^2 - 0,51 x_1 x_2$	0,9394
a*	$\hat{Y} = 6,898889 + 0,622204 x_1 - 0,059444 x_1^2 - 0,417413 x_2 + 0,413611 x_2^2 + 0,415278 x_1 x_2$	0,9597
b*	$\hat{Y} = 8,69222 + 1,00967 x_1 - 0,10375 x_1^2 - 1,56382 x_2 + 1,14764 x_2^2 + 0,56583 x_1 x_2$	0,9690
C*	$\hat{Y} = 11,10889 + 1,16885 x_1 - 0,11465 x_1^2 - 1,51445 x_2 + 1,17785 x_2^2 + 0,69833 x_1 x_2$	0,9684
h*	$\hat{Y} = 51,28333 + 0,6602 x_1 + 0,0866 x_1^2 - 2,64576 x_2 + 1,3916 x_2^2 + 0,33528 x_1 x_2$	0,9758

Observa-se nas Figuras 14 a 18 um comportamento semelhante do efeito dos agentes nas variáveis resposta avaliadas. Verifica-se que não há ponto crítico dentro do intervalo estudado de agentes, e quando utilizadas maiores concentrações de proteínas do soro de leite (x₂) combinadas com menores concentrações de maltodextrina (x₁) ocorreu uma diminuição de todos os valores (L*, a*, b*, C* e h*), diferentemente de quando utilizadas menores concentrações de proteínas do soro e maiores de maltodextrina, as quais contribuíram para aumentar esses valores. Entretanto, para as coordenadas a*, b* e C* também houve um aumento dos valores quando utilizados teores de ambos agentes próximos aos pontos extremos (1,41).

Segundo Ramos e Gomide (2007), o valor de L* indica luminosidade, a qual varia de 0 (preto) a 100 (branco), indicando se a cor é clara ou escura, o que demonstra a coloração escura dos tratamentos, próximos ao preto (0), sendo a coordenada de maior interesse, devido à coloração do café. Os valores positivos de a* indicam uma tendência à cor vermelha, em razão dessa coordenada variar do verde (-) ao vermelho (+). O valor de b* varia do azul (-) ao amarelo (+); por apresentar valores positivos, os tratamentos apresentam tendência para a cor amarela. A coordenada C* (chroma) representa o índice de saturação de cor, ou seja, a intensidade de uma tonalidade, identificando cores fracas ou fortes e sua mistura com as cores cinzas, preto e branco; sendo assim, os tratamentos com diferentes concentrações de agentes possuem coloração forte. E por fim, o valor de h* mede a grandeza que caracteriza a qualidade da cor, permitindo diferenciar as

cores, e é calculado com base nos resultados de a^* e b^* , indicando o ângulo de tonalidade cromática, podendo variar de 0° a 360° (RAMOS; GOMIDE, 2007); isto corresponde na escala de cores a uma tendência dos pós a apresentar cor vermelha.

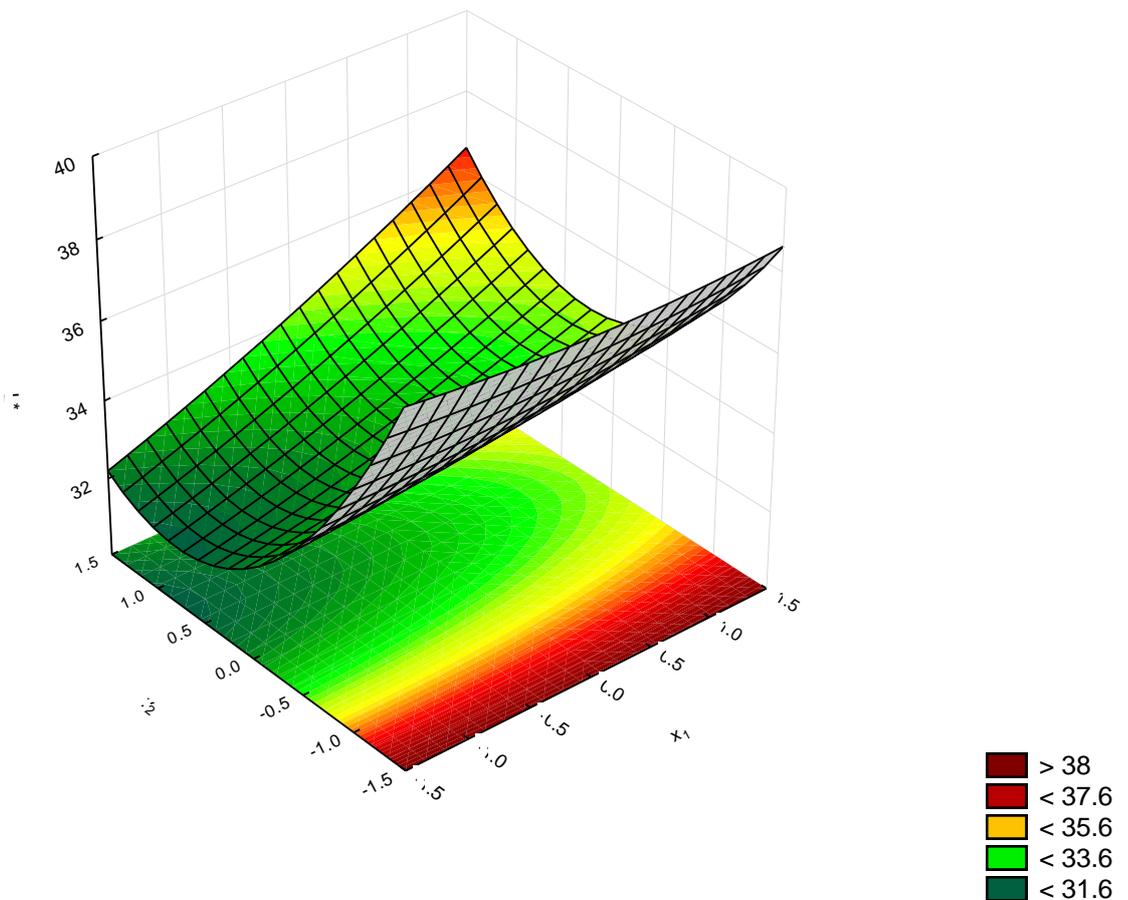


Figura 14 – Gráfico de superfície de resposta da coordenada L^* dos pós em função dos agentes maltodextrina (x_1) e proteínas do soro de leite (x_2).

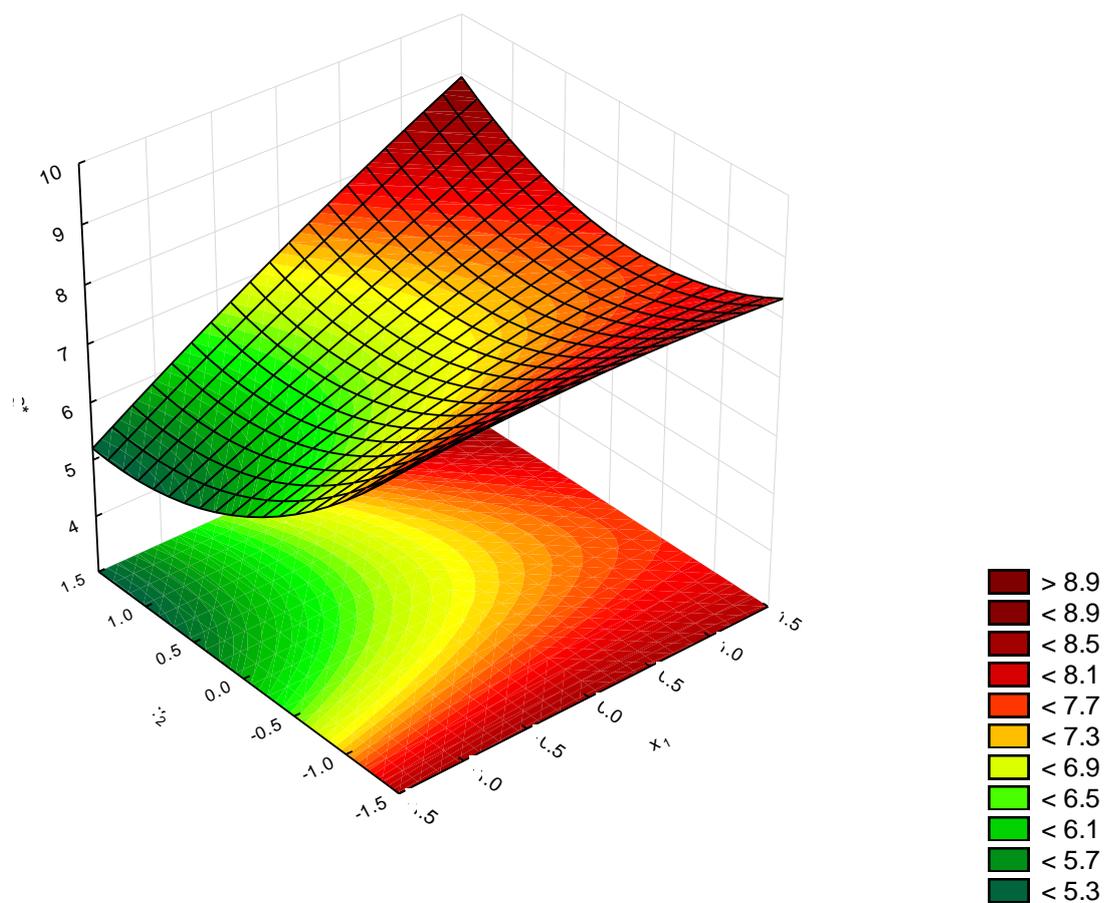


Figura 15 – Gráfico de superfície de resposta da coordenada a^* dos pós em função dos agentes maltodextrina (x_1) e proteínas do soro de leite (x_2).

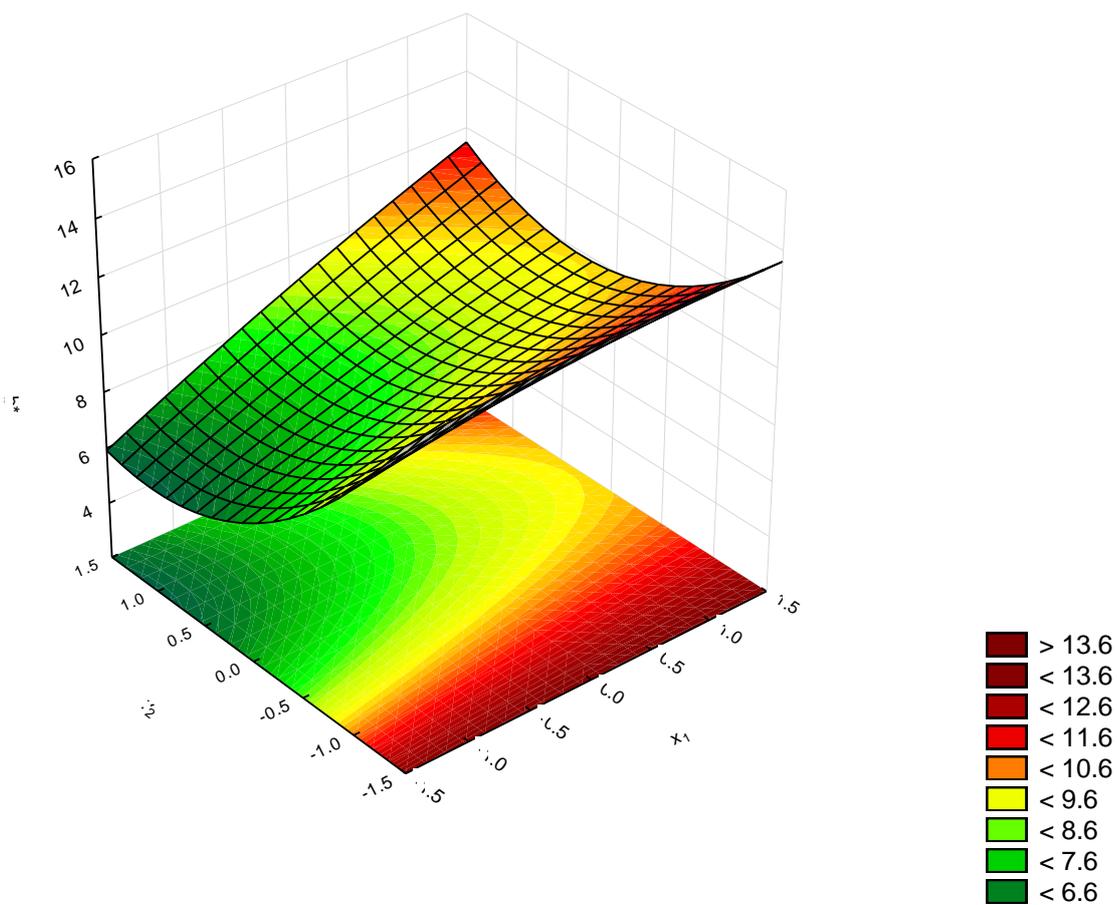


Figura 16 – Gráfico de superfície de resposta da coordenada b^* dos pós em função dos agentes maltodextrina (x_1) e proteínas do soro de leite (x_2).

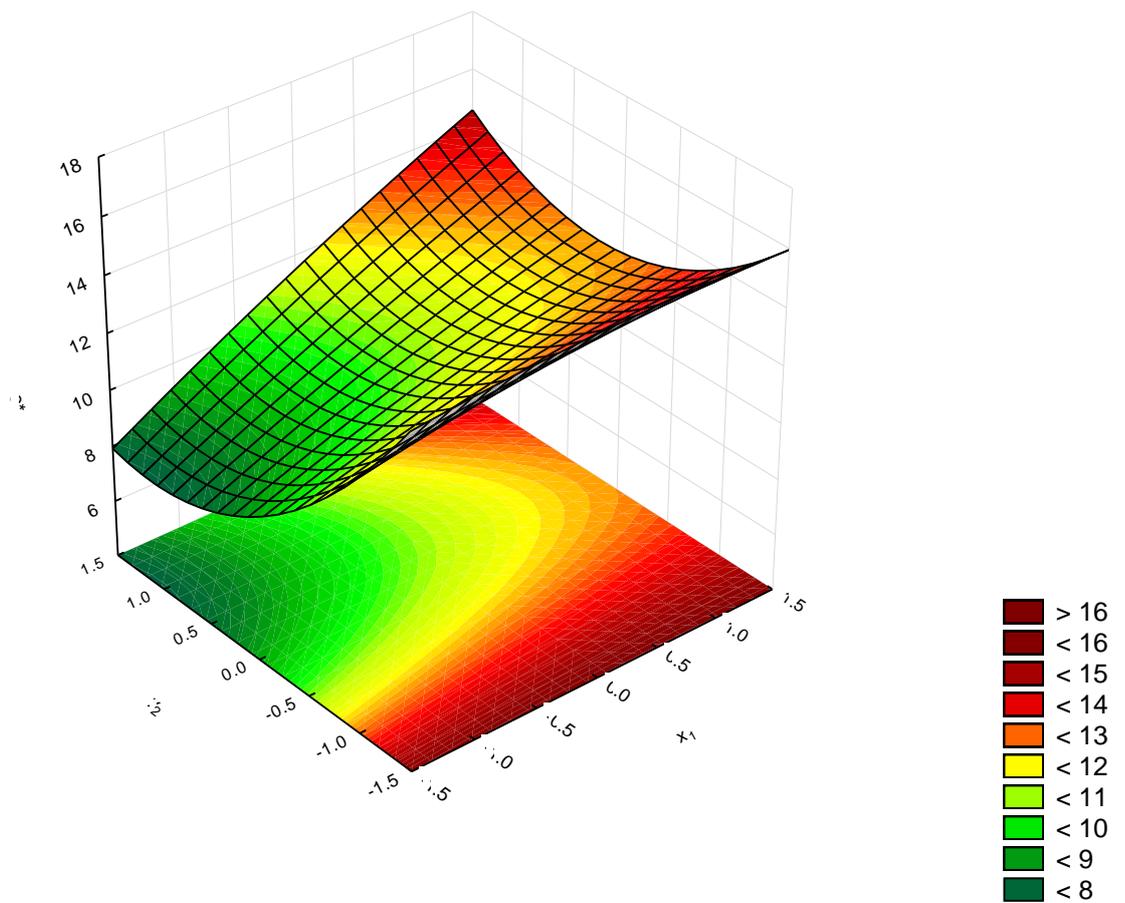


Figura 17 – Gráfico de superfície de resposta da coordenada C^* dos pós em função dos agentes maltodextrina (x_1) e proteínas do soro de leite (x_2).

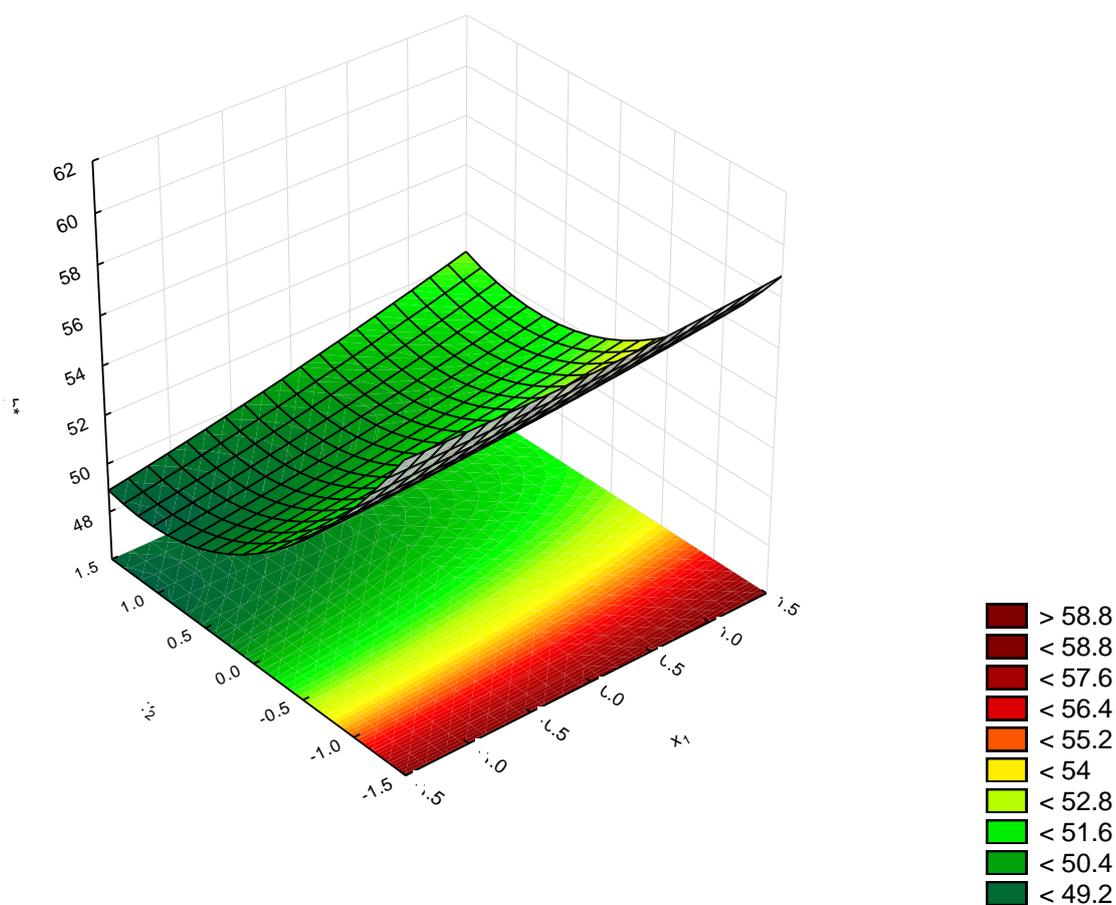


Figura 18 – Gráfico de superfície de resposta da coordenada h^* dos pós em função dos agentes maltodextrina (x_1) e proteínas do soro de leite (x_2).

5.1.10.2 pH

Foi observado que os agentes (maltodextrina e proteínas do soro de leite) influenciaram significativamente ($p < 0,05$) no pH dos pós. Foi realizado o teste do modelo (Tabela 18), em que o F para a regressão foi significativo ($p < 0,05$) e para a falta de ajuste foi não significativo ($p > 0,05$). Conclui-se que o modelo proposto (Equação 18) ajustou-se bem aos dados, com o coeficiente de determinação (R^2) de 0,9668.

Tabela 18 – Análise de Variância da regressão e da falta de ajuste para o pH dos pós

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	p
Regressão	5	0,2299	0,045978	37,47973*	0,000000
Resíduo	21	0,0258	0,001227		
Falta de ajuste	3	0,0079	0,002632	2,651293 ^{ns}	0,07994
Erro puro	18	0,0179	0,000993		
Total	26	0,2557			

*: Significativo ($p < 0,05$); ^{ns}: Não significativo ($p > 0,05$).

$$\hat{Y} = 5,34 + 0,003494 x_1 + 0,018958 x_1^2 + 0,091795 x_2 - 0,023542 x_2^2 - 0,021667 x_1 x_2$$

(18)

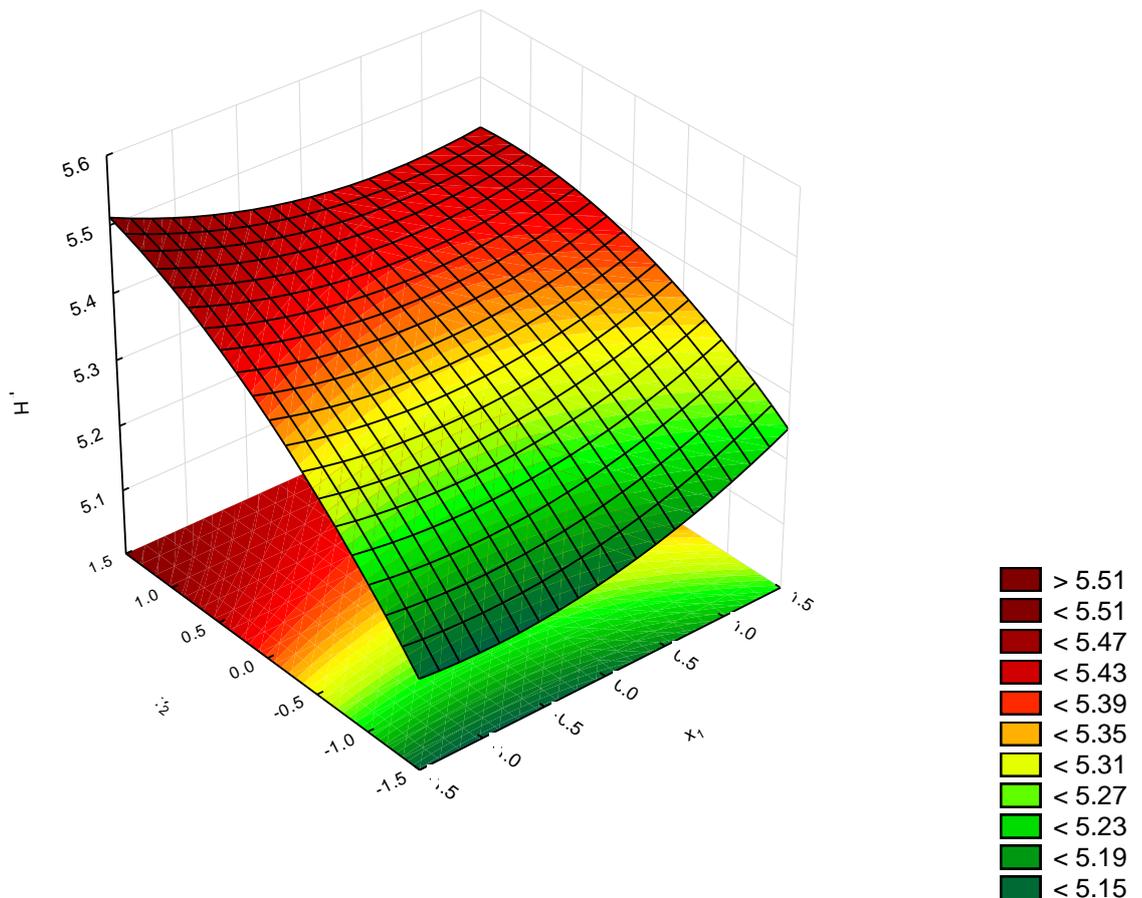


Figura 19 – Gráfico de superfície de resposta de pH dos pós em função dos agentes maltodextrina (x_1) e proteínas do soro de leite (x_2).

Verifica-se que não há ponto crítico dentro do intervalo estudado. Menores valores de pH são encontrados quando utilizadas menores concentrações de proteínas do soro, porém as concentrações de maltodextrina pouco influenciaram nessa variável (Figura 19). De acordo com os resultados, a adição dos agentes contribuiu para aumentar o pH dos pós, o qual variou de 5,17 a 5,50.

A Legislação Brasileira determina um limite para o pH do café solúvel, sendo de 5,0 +- 0,5 (BRASIL, 1999). Dessa forma, os resultados demonstram que todos os tratamentos estão dentro da faixa estabelecida.

Duarte et al. (2005) encontraram valores de pH variando de 4,69 a 5,20 em bebidas de café arábica obtidas por diferentes processos e graus de torra.

5.1.10.3 Acidez Titulável

Para a acidez dos pós, houve influência dos agentes utilizados nessa variável, apresentando regressão significativa ($p < 0,05$) e falta de ajuste não significativa ($p > 0,05$) (Tabela 19). Dessa forma, conclui-se que o modelo ajustado é adequado para explicar o comportamento dessa variável, o qual obteve um coeficiente de determinação (R^2) de 0,9791 (Equação 19).

Tabela 19 – Análise de Variância da regressão e da falta de ajuste para a acidez titulável dos pós

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	p
Regressão	5	1114,8549	222,971	61,317*	0,000000
Resíduo	21	76,3637	3,636365		
Falta de ajuste	3	23,8397	7,946571	2,723297 ^{ns}	0,074711
Erro puro	18	52,5239	2,917997		
Total	26	1191,2185			

*: Significativo ($p < 0,05$); ^{ns}: Não significativo ($p > 0,05$).

$$\hat{Y} = 43,7792 - 5,61279 x_1 + 2,75273 x_1^2 - 3,12113 x_2 + 1,20154 x_2^2 + 2,12929 x_1 x_2$$

(19)

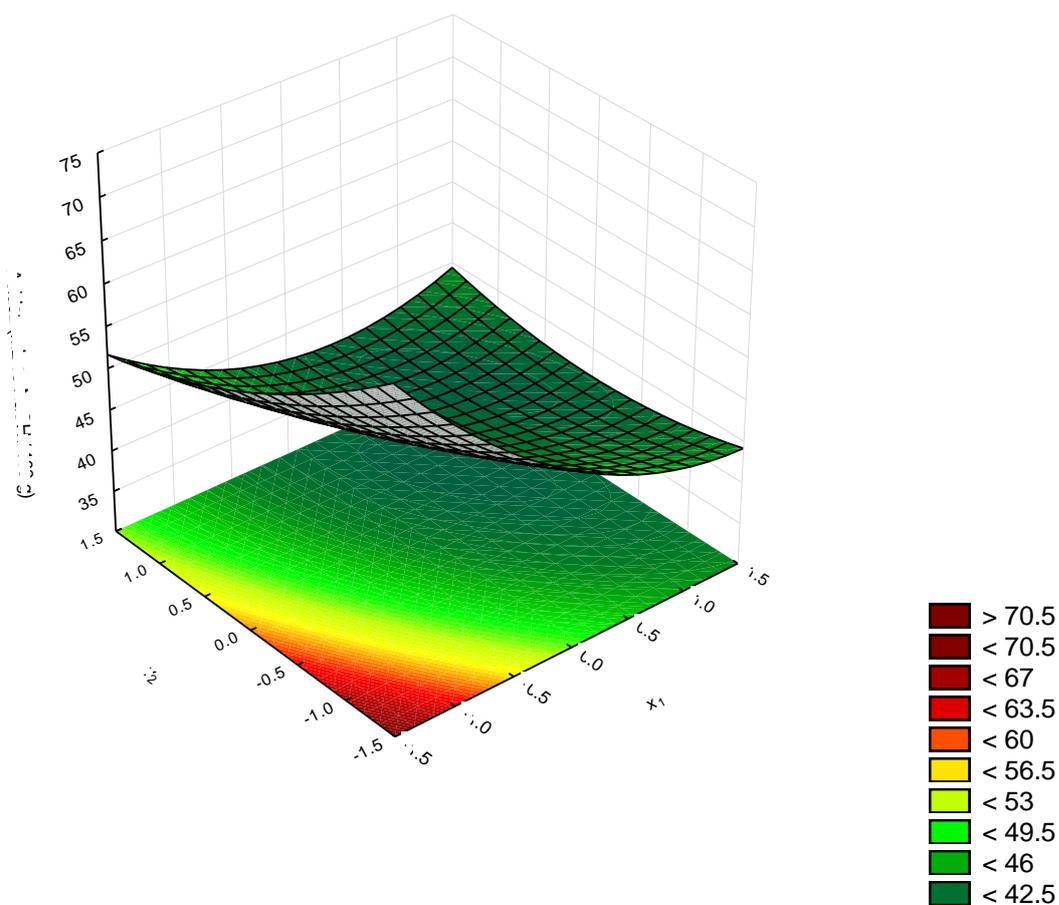


Figura 20 – Gráfico de superfície de resposta de acidez titulável dos pós em função dos agentes maltodextrina (x_1) e proteínas do soro de leite (x_2).

De acordo com a Figura 20, não há ponto crítico dentro do intervalo estudado. Para a acidez dos cafés desidratados, maiores valores de acidez são encontrados nos tratamentos que possuem menores concentrações de ambos agentes (maltodextrina e proteínas do soro).

5.1.10.4 Atividade de água

Foi observado que a concentração de agentes influenciou significativamente na atividade de água dos pós. Portanto, foi realizado o teste do modelo, e o F para a regressão foi significativo ($p < 0,05$) e para a falta de ajuste foi não significativo ($p > 0,05$) (Tabela 20). Conclui-se que o modelo ajustado (Equação 20) foi aceito, o qual obteve um coeficiente de determinação (R^2) de 0,8476, ou seja, o modelo explica 84,76% da variação dos dados dessa variável.

Tabela 20 – Análise de Variância da regressão e da falta de ajuste para a atividade de água dos pós

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	p
Regressão	5	0,0094	0,001872	3,48727*	0,018873
Resíduo	21	0,0113	0,000537		
Falta de ajuste	3	0,0017	0,000561	1,053326 ^{ns}	0,393281
Erro puro	18	0,0096	0,000533		
Total	26	0,0206			

*: Significativo ($p < 0,05$); ^{ns}: Não significativo ($p > 0,05$).

$$\hat{Y} = 0,337 + 0,004849 x_1 - 0,003354 x_1^2 - 0,016391 x_2 - 0,008604 x_2^2 - 0,011667 x_1 x_2$$

(20)

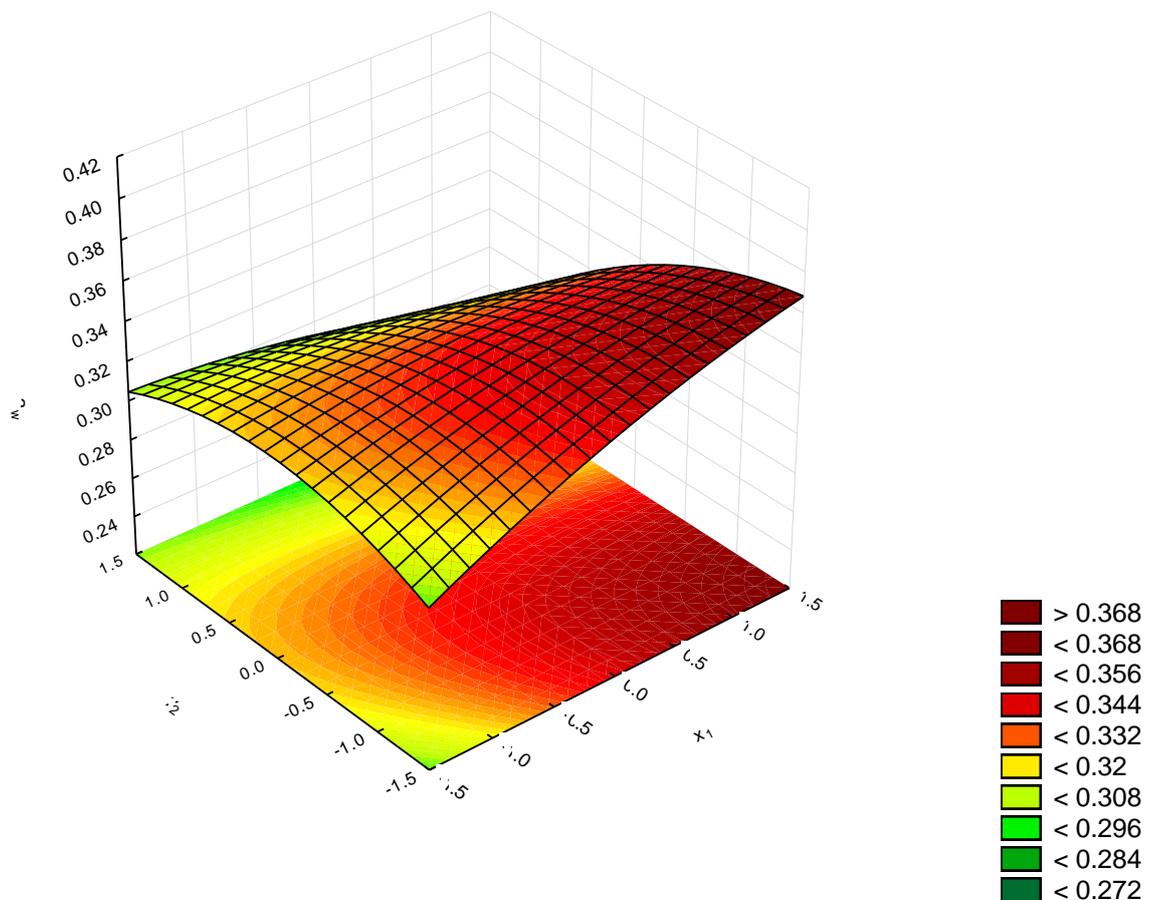


Figura 21 – Gráfico de superfície de resposta da atividade de água dos pós em função dos agentes maltodextrina (x₁) e proteínas do soro de leite (x₂).

De acordo com o gráfico (Figura 21) não há ponto crítico dentro do intervalo estudado. Maiores valores de atividade de água são encontrados nos tratamentos que possuem menores concentrações de proteínas do soro (x_2) e maiores concentrações de maltodextrina (x_1).

É possível observar que os pós tiveram valores de atividade de água variando entre 0,2 e 0,4. Segundo Araújo (2015), a estabilidade de alimentos desidratados nessa faixa de atividade de água é considerada alta, visto que, abaixo de 0,6, não há crescimento de nenhum microrganismo, dispensando-se o uso de conservantes para controlar o seu crescimento (FELLOWS, 2006).

Resultado semelhante foi observado por Lima (2016) ao verificar que a maltodextrina proporcionou maiores valores de atividade de água para os pós de antocianinas microencapsuladas por spray dryer, em relação à goma arábica e à inulina.

5.2 Influência de diferentes temperaturas do ar de secagem do extrato de café em leito de espuma

5.2.1 Curvas e Tempo de secagem

Na Figura 22 são apresentados os pontos experimentais da secagem para as diferentes temperaturas testadas, bem como os modelos ajustados. Na Tabela 21 são apresentados os valores dos parâmetros, o coeficiente de determinação ajustado e o erro padrão da regressão para cada modelo ajustado.

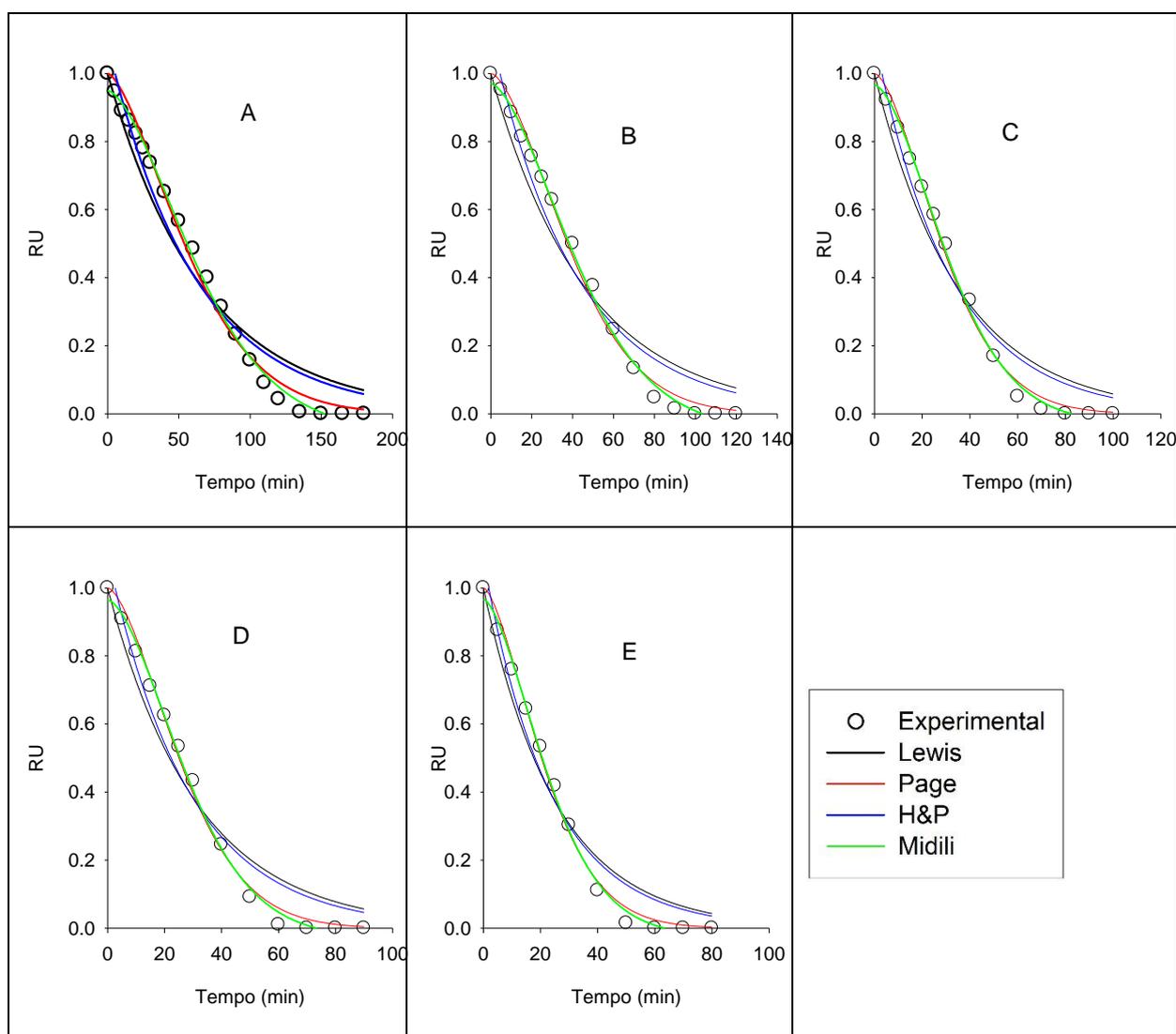


Figura 22 – Curvas de secagem do extrato de café em leito de espuma em diferentes temperaturas. A: 40 °C; B: 50 °C; C: 60 °C; D: 70 °C; e E: 80 °C.

Tabela 21 – Parâmetros estimados, coeficiente de determinação ajustado e erro padrão da regressão para os modelos ajustados em diferentes temperaturas

Temp. (°C)	Modelo	k	n	a	b	R_{aj}^2	Erro Padrão
40	Lewis	0,014847	-	-	-	0,9498	0,08215
	Page	0,001552	1,530472	-	-	0,9901	0,03644
	H&P	0,016335	-	1,089695	-	0,9586	0,07462
	Midili	0,000834	1,64130	0,949694	0,0002548	0,9949	0,02615
50	Lewis	0,021508	-	-	-	0,9402	0,09306
	Page	0,001887	1,629283	-	-	0,9933	0,03115
	H&P	0,024187	-	1,115058	-	0,9534	0,08213
	Midili	0,001535	1,652447	0,969980	0,0003554	0,9957	0,02481
60	Lewis	0,028430	-	-	-	0,9456	0,08842
	Page	0,003132	1,617257	-	-	0,9938	0,02974
	H&P	0,031583	-	1,104611	-	0,9552	0,08028
	Midili	0,002292	1,679885	0,966237	0,0002615	0,9954	0,02581
70	Lewis	0,031966	-	-	-	0,9467	0,08703
	Page	0,003875	1,610448	-	-	0,9930	0,03165
	H&P	0,035253	-	1,097715	-	0,9544	0,08050
	Midili	0,002801	1,678530	0,964405	0,0002962	0,9945	0,02799
80	Lewis	0,039370	-	-	-	0,9562	0,07758
	Page	0,006544	1,548643	-	-	0,9932	0,03067
	H&P	0,042692	-	1,082350	-	0,9608	0,07345
	Midili	0,004894	1,614578	0,966037	0,0002807	0,9941	0,02843

Verifica-se na Tabela 21 que, assim como para as diferentes concentrações de agentes estudados, o modelo de Midili também apresentou o melhor ajuste em todos os tratamentos, apresentando maiores valores de coeficiente de determinação e menores valores do erro padrão da regressão. Foi também observado que o modelo de Midili também se aproximou mais dos dados experimentais em todos os tratamentos (Figura 22).

A razão de umidade reduziu rapidamente no início e, posteriormente, diminuiu lentamente à medida que se aumentava o tempo de secagem, conforme o mesmo comportamento da secagem da fase anterior. Resultados semelhantes foram obtidos por Goyal et al., (2007), Rocha (2013), Azizpour et al. (2014) e Qadri e Srivastava (2015).

Como o modelo de Midili também obteve o melhor ajuste para essa fase do experimento, foi utilizado o mesmo critério para estimar o tempo de secagem.

A partir dos resultados ajustou-se o modelo de decaimento exponencial (Equação 21), o qual apresentou um coeficiente de determinação de 0,9974.

$$t_s = 60,6827 + 1692,6482 e^{-0,07296 T} \quad (21)$$

Em que,

T é a temperatura de secagem, em °C;

t_s é o tempo de secagem, em min.

Na Figura 23 é mostrada a temperatura de secagem estimada pelo modelo dado pela Equação 21. Verifica-se que, dentro do intervalo de temperatura estudado, quanto maior a temperatura do ar de secagem, menor o tempo gasto para realizar a secagem das espumas, em decorrência do maior gradiente de temperatura entre o ar e a espuma, ocorrendo redução da umidade relativa do ar de secagem, aumento da pressão de vapor d'água de equilíbrio e, principalmente, aumento da difusividade efetiva do vapor d'água.

O maior tempo foi encontrado na temperatura de 40 °C (152,5 minutos), enquanto o menor tempo foi encontrado ao utilizar a temperatura de 80 °C (63,6 minutos).

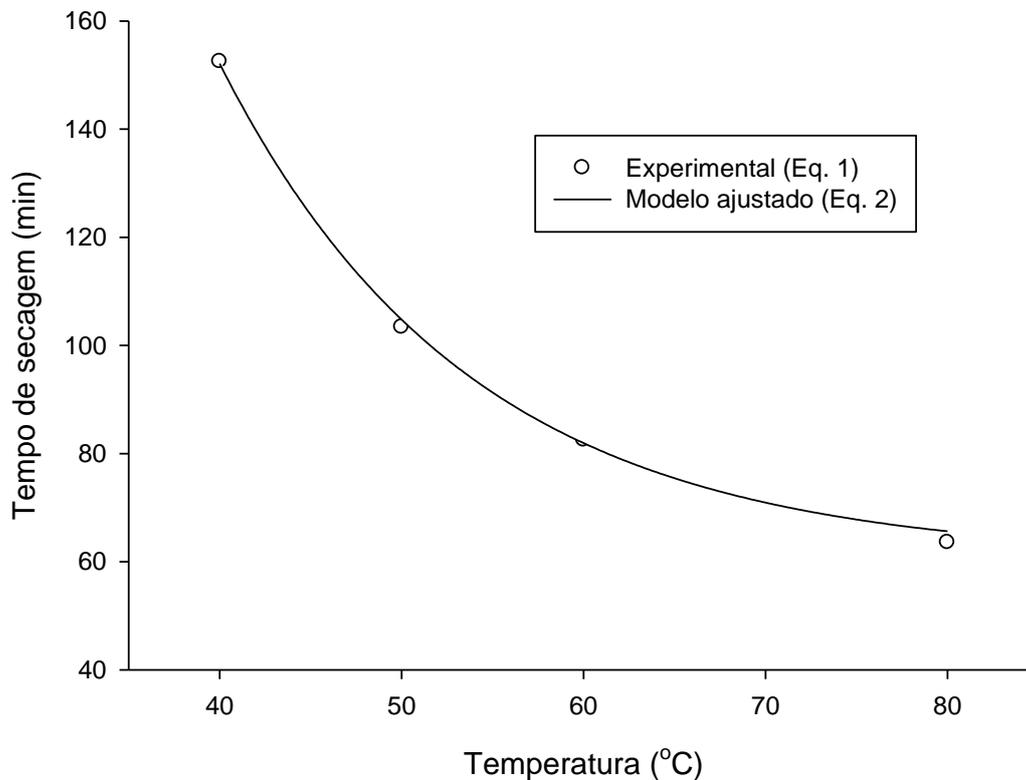


Figura 23 – Curva da regressão ajustada para o tempo de secagem dos extratos de cafés em leito de espuma em função das diferentes temperaturas do ar de secagem.

Comportamento semelhante foi observado ao utilizarem o leito de espuma para secarem melão (SALAHÍ et al., 2015), suco misto (ROCHA, 2013), polpa de goiaba (CRUZ, 2013), iogurte (KRASAEKOOPT; BHATIA, 2012), graviola (BAPTESTINI, et al. 2015), abacate (ALVES; RODOVALHO, 2016) e manga (LOBO et al., 2017).

5.2.2 Análise sensorial

Na aceitação sensorial dos cappuccinos foi verificado que houve diferença significativa ($p < 0,05$) entre as médias hedônicas de todos os atributos sensoriais, para todas as formulações, incluindo o controle. Foi também realizado o teste de Dunnett a 5% de probabilidade entre as notas da aceitação sensorial de todos os tratamentos obtidos em diferentes temperaturas e o café solúvel comercial (Tabela 22).

Tabela 22 – Médias das notas hedônicas para as formulações de cappuccino e do controle

Tratamentos	Aparência	Aroma	Sabor	Impressão Global
1	7,5*	7,7*	7,0*	7,2*
2	7,6*	7,8*	7,4*	7,5*
3	7,6*	7,6*	7,4*	7,4*
4	7,7*	7,8*	7,6*	7,6*
5	7,5*	7,6*	7,1*	7,3*
Controle	7,3	6,3	5,3	6,1

*: Diferem do controle pelo teste de Dunnet ($p < 0,05$).

Para as formulações nas quais estavam sendo avaliadas a influência da temperatura de secagem (40 a 80 °C) nas características dos cafés desidratados, os resultados demonstraram que as 5 formulações de cappuccinos diferiram significativamente ($p < 0,05$) da formulação controle para todos os atributos sensoriais (aparência, aroma, sabor e impressão global) (Tabela 22). Constatou-se que as médias hedônicas de todos os 5 tratamentos se encontraram entre a classificação "gostei moderadamente" (nota hedônica 7) e "gostei muito" (nota hedônica 8).

Em relação à formulação controle, para os atributos aroma e impressão global, as médias hedônicas obtidas ficaram entre a classificação "gostei ligeiramente" (nota hedônica 6) e "gostei moderadamente" (nota hedônica 7). Para o atributo aparência, o controle apresentou média entre as categorias "gostei moderadamente" (nota hedônica 7) e "gostei muito" (nota hedônica 8) e, por fim, para o atributo sabor, obteve-se classificação entre "indiferente" (nota hedônica 5) e "gostei ligeiramente" (nota hedônica 6), o qual foi o atributo com menor aceitação sensorial.

Nesse contexto, observa-se que todos os tratamentos que continham cafés desidratados obtidos nesse estudo apresentaram maiores notas hedônicas, o que indica maior aceitação sensorial em relação à formulação controle, a qual foi feita com café solúvel do mercado. Esse resultado foi similar ao obtido na fase anterior, podendo ser justificado da mesma maneira.

Foi realizada a Análise de Variância Geral para verificar se o uso de diferentes temperaturas influenciou nas variáveis resposta da avaliação sensorial

entre as 5 formulações de cappuccinos (Tabela 23). De acordo com os resultados observa-se que houve diferença significativa ($p < 0,05$) somente entre as médias da aceitação para o atributo sabor.

Tabela 23 – Análise de variância para os atributos sensoriais da aceitação sensorial dos cappuccinos

Atributos	F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	p
Aparência	Bloco	79	322,31	4,08	5,16*	0,000000
	Temperatura	4	3,06	0,77	0,97 ^{ns}	0,425216
	Resíduo	316	249,74	0,79		
Aroma	Bloco	79	226,80	2,87	4,01*	0,000000
	Temperatura	4	3,36	0,84	1,17 ^{ns}	0,322494
	Resíduo	316	226,24	0,72		
Sabor	Bloco	79	375,14	4,75	3,04*	0,000000
	Temperatura	4	20,90	5,22	3,34*	0,010621
	Resíduo	316	493,90	1,56		
Impressão Global	Bloco	79	324,98	4,11	4,17*	0,000000
	Temperatura	4	6,67	1,67	1,69 ^{ns}	0,152261
	Resíduo	316	311,74	0,99		

*: Significativo ($p < 0,05$); ^{ns}: Não significativo ($p > 0,05$).

Foi realizada a análise da regressão para o atributo sabor (Tabela 24), apresentando-se significativo ($p < 0,05$). Além disso, a falta de ajuste foi não significativo ($p > 0,05$). Dessa forma, o modelo matemático ajustado (Equação 22) é adequado para explicar o comportamento das médias hedônicas dessa variável em função da temperatura, no qual obteve-se um coeficiente de determinação R^2 igual a 0,8078.

Tabela 24 – Análise de variância da regressão e da falta de ajuste para o atributo sabor

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	p
Modelo	3	16,88214	5,627381	3,582697*	0,014185
Bloco	79	375,14			
Resíduo	317	497,9154	1,570711		
Falta de ajuste	1	4,0154	4,0154	2,57 ^{ns}	0,1096
Erro Puro	316	493,90	1,56		
Total	399	889,9375	2,23042		

*: Significativo ($p < 0,05$); ^{ns}: Não significativo ($p > 0,05$).

$$\hat{Y}_{ij} = 8,0054 - 0,1173 x_i + 0,003321 x_i^2 + 0,000025 x_i^3 \quad (22)$$

Por meio da Figura 24, pode-se observar que todos os tratamentos obtiveram médias hedônicas acima de 7, que corresponde à categoria "gostei moderadamente". No entanto, as formulações de cappuccino que continham cafés desidratados secos nas temperaturas de 40 °C e 80 °C apresentaram as menores médias, enquanto as que continham cafés secos nas temperaturas intermediárias (50 a 70 °C) obtiveram maiores médias hedônicas.

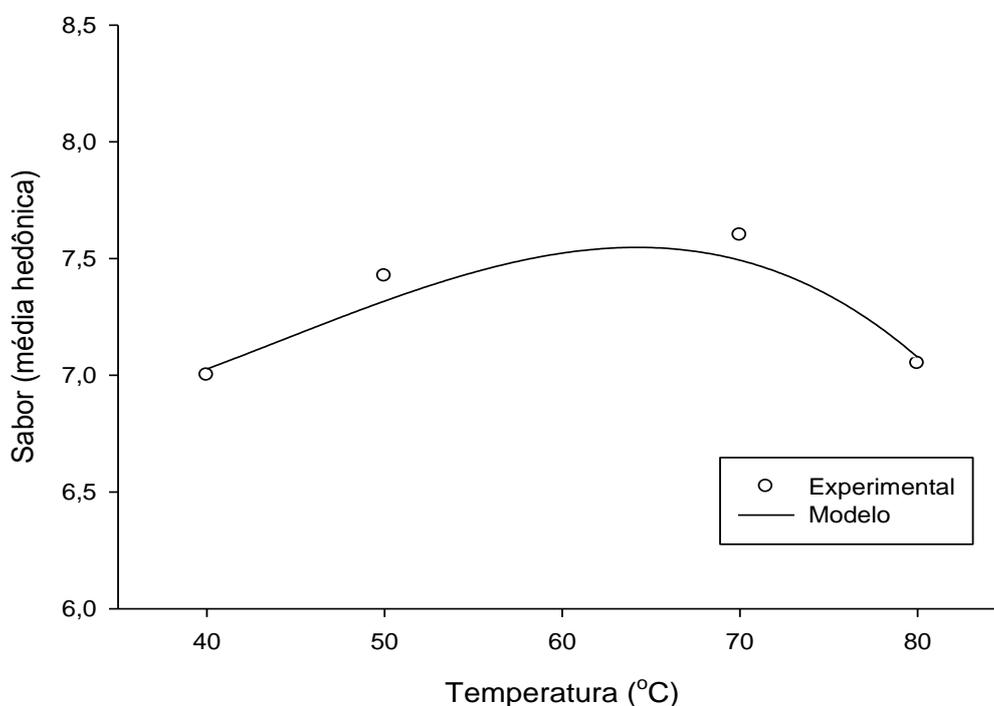


Figura 24 – Médias das notas hedônicas de sabor em função de diferentes temperaturas de secagem.

5.2.3 Molhabilidade

A instantaneidade e melhoria da molhabilidade de produtos em pó são fatores importantes para a qualidade do produto final. Esta característica é afetada por diversos fatores, tais como a composição química do alimento e fatores físicos envolvidos na análise, como a microestrutura das partículas e temperatura da água de reconstituição (TONON, 2009).

A análise de variância da regressão apresentou-se significativa ($p < 0,05$) e o teste da falta de ajuste foi não significativo ($p > 0,05$) (Tabela 25). Sendo assim, o modelo ajustado é adequado para descrever o comportamento da molhabilidade em função da temperatura, bem como apresentou um elevado coeficiente de determinação (R^2) de 0,9908, ou seja, o modelo explica 99,98% da variação dos dados (Equação 23).

Tabela 25 – Análise de variância da regressão e da falta de ajuste para a molhabilidade dos pós

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	p
Modelo	3	1170,2321	390,0774	24,2282*	0,000038
Resíduo	11	177,1012	16,1012		
Falta de ajuste	1	0,2712	0,2712	0,0153 ^{ns}	0,9039
Erro Puro	10	176,83	17,68		
Total	14	1347,3333			

*: Significativo ($p < 0,05$); ^{ns}: Não significativo ($p > 0,05$).

$$\hat{Y}_{ij} = 372,5595 - 17,6605 x_i + 0,3002 x_i^2 + 0,001597 x_i^3 \quad (23)$$

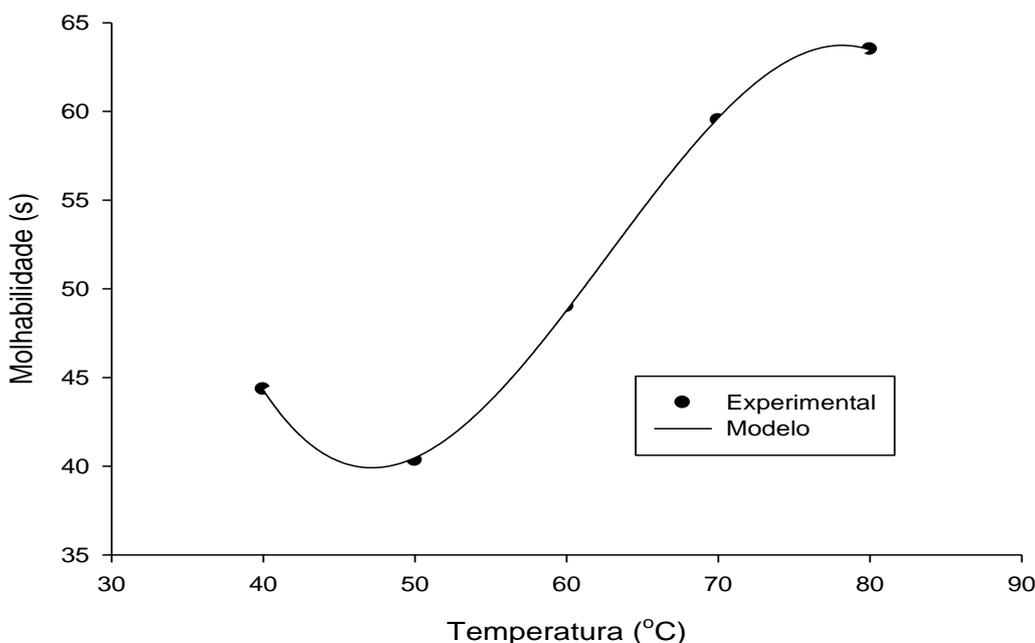


Figura 25 – Curva da regressão ajustada para a molhabilidade dos pós em função das diferentes temperaturas do ar de secagem.

A molhabilidade, determinada pelo tempo de molhamento, foi mínima na temperatura de 50 °C (40,33 segundos) e máxima na temperatura de 80 °C (63,50 segundos), conforme pode ser observado na Figura 25. De acordo com os resultados desse estudo, os pós também apresentaram alta instantaneidade nessa fase do experimento.

5.2.4 Umidade

A Análise de Variância da regressão (Tabela 26) apresentou-se significativa ($p < 0,05$) e não significativa ($p > 0,05$) a falta de ajuste. O modelo ajustado foi adequado para descrever o comportamento dessa variável, o qual apresentou um coeficiente de determinação de 0,9594 (Equação 24).

Tabela 26 – Análise de variância da regressão e da falta de ajuste para a umidade dos pós

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	p
Modelo	2	12,1429	6,0715	52,6489*	0,000001
Resíduo	12	1,3838	0,1153		
Falta de ajuste	2	0,5142	0,2571	2,9551 ^{ns}	0,098
Erro Puro	10	0,8696	0,0870		
Total	14	13,5267			

*: Significativo ($p < 0,05$); ^{ns}: Não significativo ($p > 0,05$).

$$\hat{Y}_{ij} = 3,5210 + 32,0998 e^{-0,06175 x_i} \quad (24)$$

Pode-se observar que, dentro do intervalo de temperatura testado, quanto maior a temperatura de secagem, menor a umidade dos pós (Figura 26). Isto indica que a umidade de equilíbrio diminuiu com o aumento da temperatura, bem como houve a diminuição da umidade relativa do ar.

A maior média de umidade foi encontrada na temperatura de 40 °C (6,24%), seguida de 5; 4,13; 4,28 e 3,58% nas temperaturas de 50, 60, 70 e 80 °C, respectivamente. Outros autores obtiveram resultados semelhantes (SILVA et al., 2008; AZIZPOUR et al., 2016; ASOKAPANDIAN et al., 2016).

Segundo a legislação brasileira, é permitido um teor máximo de 5% de umidade para café solúvel (BRASIL, 1999); sendo assim, somente o café

desidratado obtido da temperatura de 40 °C estaria fora do limite estabelecido pela legislação.

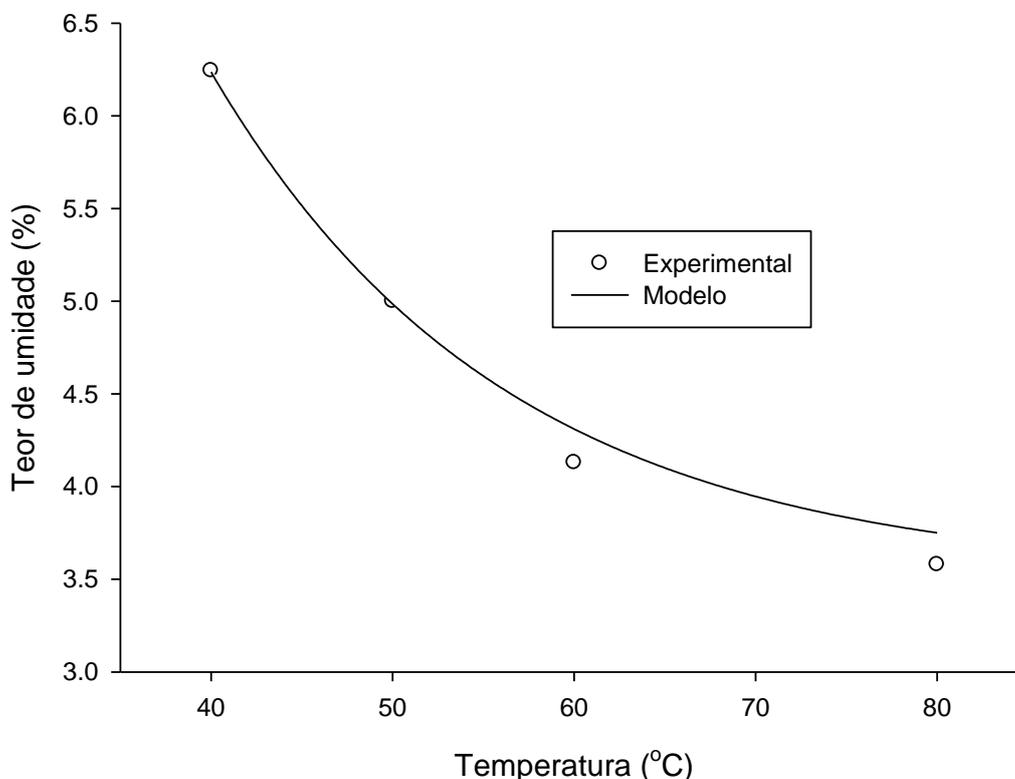


Figura 26 – Curva da regressão ajustada para a umidade dos pós em função das diferentes temperaturas do ar de secagem.

Esteves (2006) observou que houve diferença significativa da umidade dos cafés solúveis em relação às diferentes temperaturas do ar de entrada do spray dryer. O autor observou que, ao aumentar a temperatura, ocorreu uma diminuição da umidade dos pós, variando de 3,65 a 6,52%, comportamento semelhante ao obtido no presente estudo.

5.2.5 Atividade antioxidante (ABTS e DPPH) e solubilidade

Constatou-se que o uso de diferentes temperaturas do ar de secagem não exerceu influência significativa ($p > 0,05$), nas variáveis resposta atividade antioxidante pelo método ABTS e DPPH e solubilidade (Tabela 27). Em contraste, Lima (2016), ao estudar as antocianinas microencapsuladas com maltodextrina em

spray dryer, observou um decaimento da atividade antioxidante dos pós conforme aumento da temperatura de secagem.

Sendo assim, os resultados demonstram que a formulação ideal de agentes usados na produção de espuma de extrato de café foi eficiente, indicando uma boa estabilidade da espuma em proteger os compostos antioxidantes do café frente às faixas de temperaturas de secagem usadas no experimento. Além disso, obteve-se uma boa solubilidade dos pós. Resultados semelhantes foram observados por Lobo et al. (2017), ao verificarem que o processo de secagem em leito de espuma foi eficiente para retenção dos compostos bioativos da manga.

Tabela 27 – Valores de F e p obtidos na ANOVA e médias obtidas das variáveis resposta

Variáveis resposta	F	p	Médias
A. A. (ABTS)	2,98 ^{ns}	0,073667	17,21 g trolox/100 g
A. A. (DPPH)	2,0 ^{ns}	0,166266	95,40%
Solubilidade	0,77 ^{ns}	0,570959	90,79%

^{ns}: Não significativo ($p > 0,05$).

A. A.: Atividade antioxidante.

5.2.6 Otimização da temperatura pela função desejabilidade

Nos cálculos da desejabilidade individual para as variáveis resposta que se desejam minimizar, o valor alvo (T) considerado foi o valor mínimo estimado para essas variáveis resposta pelos modelos ajustados dentro do intervalo de temperatura de 40 a 80 °C e o limite superior admissível (U) foi o valor máximo estimado dentro do mesmo intervalo. Para as variáveis resposta que se desejam maximizar, o valor alvo (T) considerado foi o valor máximo estimado para essas variáveis resposta pelos modelos ajustados dentro do intervalo de temperatura de 40 a 80 °C e o limite inferior admissível (L) foi o valor mínimo estimado dentro do mesmo intervalo. Os valores limite obtidos são apresentados na Tabela 28.

Dessa forma, observa-se na Figura 27 que a desejabilidade máxima encontrada é igual a 0,726, obtida na temperatura de secagem de 61,77 °C. Este resultado apresenta o ponto ótimo do processamento, ou seja, representa o conjunto de respostas mais satisfatório.

Tabela 28 – Valores limite das variáveis resposta utilizadas na função desejabilidade

Variáveis resposta	L	T	U
Tempo de secagem	-	65,62	152,12
Umidade	-	3,75	5,00
Molhabilidade	-	39,91	63,72
Sabor	7,03	7,55	-

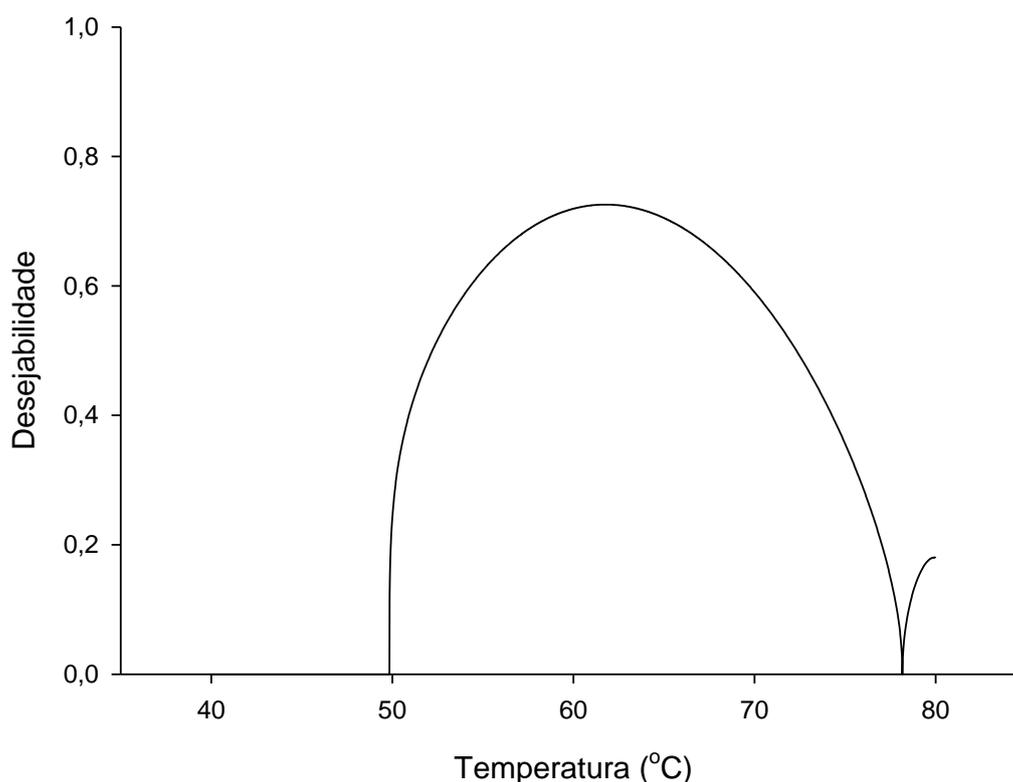


Figura 27 – Perfis dos valores preditos e da desejabilidade global para as diferentes temperaturas do ar de secagem do extrato de café em leite de espuma.

Resultado semelhante foi observado por Kandasamy et al. (2014) ao encontrar a temperatura de 60 °C como ótima para produzir mamão em pó com melhores características pelo método de secagem em leite de espuma. Krasaekoopt e Bhatia (2012) verificaram que, ao secar iogurte pelo método de secagem em leite de espuma, a temperatura de 60 °C foi a que obteve melhores características dos pós.

5.2.7 Caracterização físico-química dos pós

O aspecto dos cafés desidratados obtidos em diferentes temperaturas de secagem é mostrado na Figura 28.

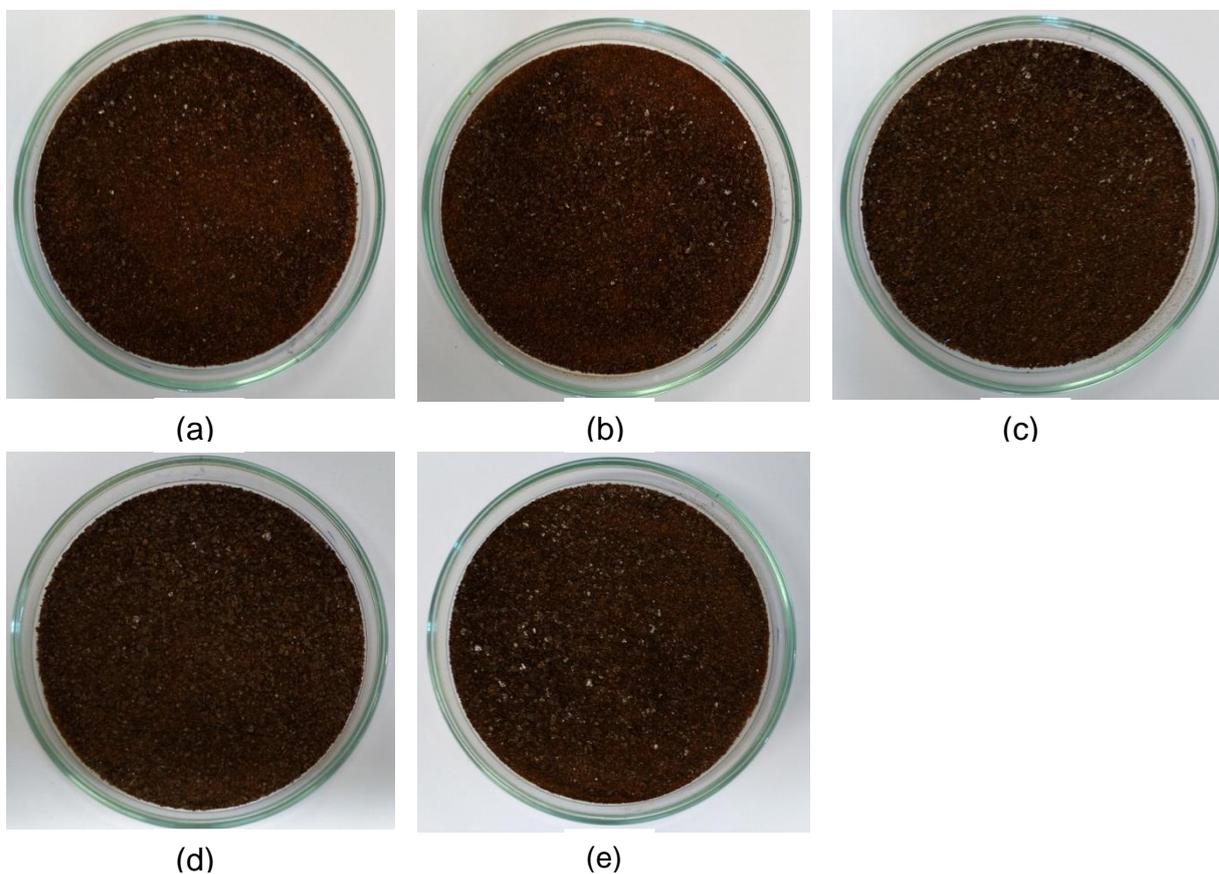


Figura 28 – Cafés desidratados obtidos em diferentes temperaturas de secagem. a: 40 °C; b: 50 °C; c: 60 °C; d: 70 °C; e e: 80 °C.

Observa-se que o uso de diferentes temperaturas do ar de secagem não exerceu influência significativa ($p > 0,05$), nas variáveis resposta pH, acidez e coordenadas de cor (L^* , a^* , b^* , C^* e h^*) dos cafés desidratados (Tabela 29).

Tabela 29 – Valores de F e p obtidos na ANOVA e médias obtidas das variáveis resposta

Variável resposta	F	p	Médias
Atividade de água	24,72*	0,000036	-
pH	2,50 ^{ns}	0,105209	5,24
Acidez	0,30 ^{ns}	0,869061	47,17 mL de NaOH/100g
L*	0,82 ^{ns}	0,539787	34,55
a*	2,18 ^{ns}	0,143872	7,46
b*	1,99 ^{ns}	0,170599	10,18
C*	2,69 ^{ns}	0,092688	12,22
h*	2,018 ^{ns}	0,167684	54,43

*: Significativo ($p < 0,05$); ^{ns}: Não significativo ($p > 0,05$).

Nesse caso, são apresentadas as médias encontradas para as variáveis resposta (Tabela 29). Verifica-se que os valores de pH dos pós estão dentro do limite estabelecido pela legislação, conforme já discutido anteriormente.

Os resultados demonstraram que a formulação ideal de agentes usados na produção de espuma de extrato de café foi eficiente, indicando uma boa estabilidade da espuma frente às faixas de temperatura de secagem usadas no experimento.

No entanto, ao contrário da maioria das características físico-químicas avaliadas, a temperatura de secagem influenciou significativamente ($p < 0,05$) na atividade de água (Tabela 29) dos cafés desidratados. Dessa forma, realizou-se a Análise de Variância da regressão com objetivo de verificar se o modelo proposto era adequado para explicar o comportamento dessa variável em função da temperatura. Foi verificado que o valor de F da regressão foi significativo ($p < 0,05$) e o valor F foi não significativo ($p > 0,05$) para a falta de ajuste (Tabela 30). O coeficiente de determinação foi de 0,9610; sendo assim, o modelo ajustado explica 96,10% da variação dos dados da atividade de água dos pós (Equação 25).

Tabela 30 – Análise de Variância da regressão para a atividade de água dos pós

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	p
Modelo	2	0,02853	0,01426	41,1316*	0,000004
Resíduo	12	0,004162	0,0003468		
Falta de ajuste	2	0,001159	0,00058	1,9297 ^{ns}	0,1956
Erro Puro	10	0,003003	0,00030		
Total	14	0,03269			

*: Significativo ($p < 0,05$); ^{ns}: Não significativo ($p > 0,05$).

$$\hat{Y}_{ij} = 0,3159 + 1,0214 e^{-0,04954 x_i} \quad (25)$$

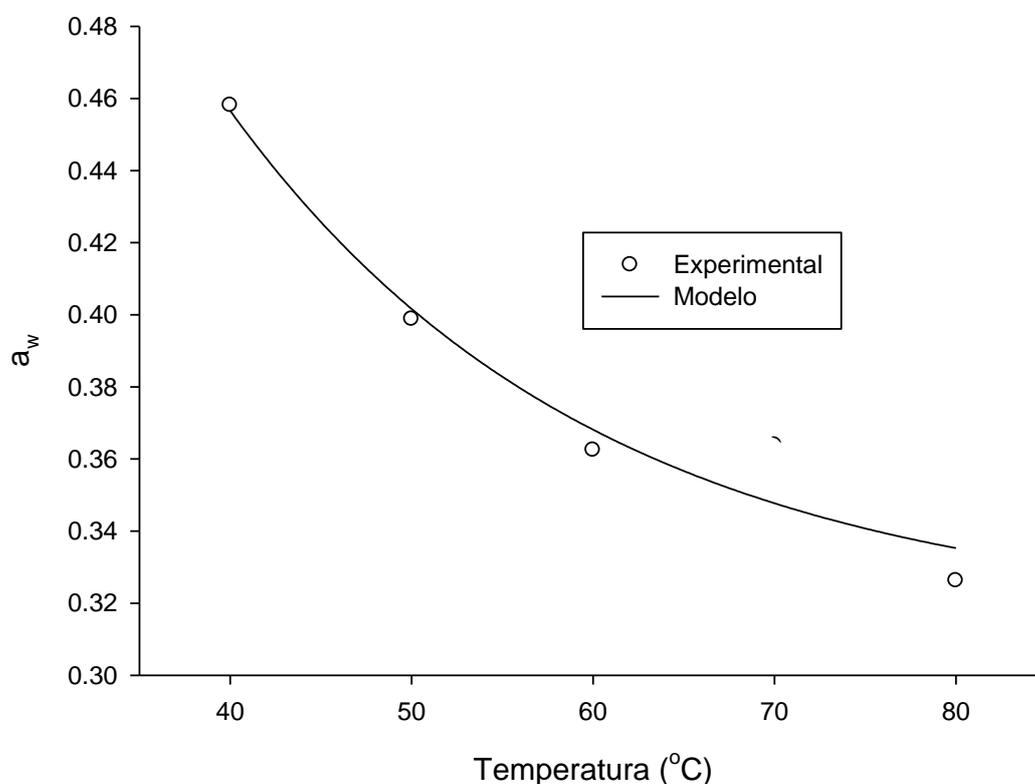


Figura 29 – Curva da regressão ajustada para a atividade de água dos pós em função das diferentes temperaturas do ar de secagem do extrato de café em leito de espuma.

Ao analisar o gráfico (Figura 29), nota-se que a variável resposta atividade de água obteve comportamento semelhante quando comparado ao da umidade. A maior atividade de água foi encontrada na temperatura de 40 °C (0,458), enquanto a menor na temperatura de 80 °C (0,326).

Resultados de atividade de água inferiores aos do presente estudo foram encontrados por Esteves (2006). O autor obteve valores de 0,099 a 0,170 nos cafés solúveis obtidos em diferentes temperaturas do ar de entrada do spray dryer. Entretanto, foram utilizadas temperaturas maiores (140 a 170 °C), o que contribuiu para reduzir a atividade de água dos pós.

6. CONCLUSÕES

Os efeitos das variáveis maltodextrina e proteínas do soro na produção de espuma do extrato de café foram significativos para o índice de coalescência e tempo de secagem da espuma, aceitação sensorial (sabor, aroma e impressão global) do cappuccino, atividade antioxidante (ABTS e DPPH), molhabilidade e umidade dos pós.

A influência da temperatura de secagem apresentou-se significativa para as variáveis tempo de secagem da espuma, aceitação sensorial (sabor) do cappuccino, molhabilidade e umidade dos pós.

O modelo de Midilli foi o que melhor se ajustou às curvas de secagem para os diferentes agentes e temperaturas.

Na caracterização físico-química dos pós obtidos com diferentes concentrações de agentes houve influência nas variáveis cor, pH, acidez e atividade de água. Já nos pós obtidos em diferentes temperaturas ocorreu diferença significativa somente na variável resposta atividade de água.

A espuma produzida com a condição ótima de agentes se manteve estável durante todo o processo de secagem na faixa de temperatura estudada, demonstrando que nessas condições houve pouca influência da temperatura nas características dos pós, apresentando principalmente alta retenção de compostos antioxidantes.

Os resultados indicaram que a produção de espuma com 1,32% de maltodextrina e 2,64% de proteínas do soro de leite, utilizando a temperatura de 61,77 °C para a secagem, são as condições ótimas para a obtenção de café desidratado em leite de espuma.

Constatou-se que o processo de secagem em leite de espuma é adequado para a produção de café desidratado, sendo viável a sua incorporação como ingrediente em mistura para cappuccino.

7. REFERÊNCIAS

- ABBASI, E.; AZIZPOUR, M. Evaluation of physicochemical properties of foam mat dried sour cherry powder. **Food Science and Technology**, v. 68, p. 105–110, 2016.
- ABIC - Associação Brasileira da Indústria Do Café. **Produção agrícola**, 2015. Disponível em: <<http://www.abic.com.br/publique/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?sid=48>>. Acesso em: 18 set. 2015.
- ABICS - Associação Brasileira da Indústria do Café Solúvel. **Notícias**, 2017. Disponível em: <<http://www.abics.com.br/secao/informacoes/noticias/>>. Acesso em: 10 jan. 2017.
- ABICS - Associação Brasileira da Indústria do Café Solúvel. **Estatísticas**, 2016. Disponível em: <<http://www.abics.com.br/relatorio-do-cafe-soluvel-do-brasil-nov2016/>>. Acesso em: 20 dez. 2016.
- ABICS - Associação Brasileira da Indústria do Café Solúvel. **Fabricação**, 2017. Disponível em: <<http://www.abics.com.br/fabricacao/>>. Acesso em: 05 jan. 2017.
- ABICS - Associação Brasileira da Indústria do Café Solúvel. **História**, 2015. Disponível em: <<http://www.abics.com.br>>. Acesso em: 16 set. 2015.
- ABICS - Associação Brasileira da Indústria Do Café Solúvel. **Indústrias**, 2015. Disponível em: <<http://www.abics.com.br>>. Acesso em: 23 out. 2015.
- CÄMMERER, B.; KROH, L. W. Antioxidant activity of coffee brews. **European Food Research and Technology**, v. 223, p. 469–474, 2006.
- ALMEIDA, M. B.; BENASSI, M. T. Atividade antioxidante e estimativa do teor de melanoidinas em cafés torrados comerciais. **Semina: Ciências Agrárias, Londrina**, v. 32, n. 1, p. 1893-1900, 2011.
- ALVES, J. J. L.; RODOVALHO, R. S. CINÉTICA DE SECAGEM EM CAMADA DE ESPUMA DA POLPA DE ABACATE cv 'QUINTAL' (Persea Americana Mill). **Revista Agrotecnologia**, v. 7, n. 1, p. 86-98, 2016.
- ANTUNES, A. J. **Funcionalidade das proteínas de soro de leite bovino**. Barueri, Manole, 2003.
- ASOKAPANDIAN, S.; VENKATACHALAM, S.; SWAMY, G. J.; KUPPUSAMY, K. Optimization of Foaming Properties and Foam Mat Drying of Muskmelon Using Soy Protein. **Journal of Food Process Engineering**, v. 39, n. 6, p. 692-701, 2016.
- AWIKA, J. M., ROONEY, L. W., WU, X., PRIOR, R. L., CISNEROS-ZEVALLOS, L. Screening methods to measure antioxidant activity of sorghum (*Sorghum bicolor*)

and sorghum products. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 51, p. 6657–6662, 2003.

AZIZPOUR, M., MOHEBBI, M., KHODAPARAST, M. H. H., VARIDI, M. Optimization of foam parameters and investigating the effects of drying temperature on the foam-mat drying of shrimp (*Penaeus indicus*). **Drying Technology**, v. 32, p. 374-384, 2014.

AZIZPOUR, M.; MOHEBBI, M.; KHODAPARAST, M. H. H. Effects of foam-mat drying temperature on physico-chemical and microstructural properties of shrimp powder. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 34, p. 122–126, 2016.

BAPTESTINI, F. M.; CORRÊA, P. C.; JUNQUEIRA, M. S.; RAMOS, A. M.; VANEGAS, J. D. B.; COSTA, C. F. Modelagem matemática da secagem de espuma de graviola. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.19, n.12, p.1203–1208, 2015.

BASSOLI, D. G. **Impacto aromático dos componentes voláteis do café solúvel**. 2006. Tese (Doutorado em Ciência de Alimentos) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina PR, 2006.

BASTOS, D. S.; SOARES, D. M. B. G.; ARAÚJO, K. G. L.; VERRUMA-BERNARDI, M. R. Desidratação da polpa de manga “Tommy Atkins” utilizando a técnica de Foam Mat Drying. Avaliações químicas, físico-químicas e sensoriais. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 8, n. 4, p. 283-290, 2005.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Portaria n^o 130, de 19 de fevereiro 1999. Aprova o Regulamento Técnico referente a café solúvel. **Diário oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 19 fev. 1999. Disponível em: <http://www.anvisa.gov.br/anvisa/legis/portarias/130_99.htm>. Acesso em: 27 de nov. de 2015.

BORRELI, R. C.; VISCONTI, A.; MENNELLA, C.; ANESE, M.; FOGLIANO, V. Chemical characterization and antioxidant properties of coffee melanoidins. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 50, p. 6527-6533, 2002.

BREDA, C. A.; JUSTI, P. N.; SANJINEZ-ARGANDOÑA, E. J. Efeito da desidratação foam mat na retenção da vitamina C da polpa de cajamanga. **Alimentos e Nutrição = Brazilian Journal of Food and Nutrition**, v. 24, n. 2, p. 189-193, 2013.

CANER, C.; ADAY, M. S. Maintaining quality of fresh strawberries through various modified atmosphere packaging. **Packaging Technology and Science**, v. 22, p. 115-122, 2009.

CAPITANI, C. D. **Interação de proteínas do soro de leite com polissacarídeo: fracionamento e estudo das propriedades funcionais dos complexos**. Dissertação (Mestrado em Alimentos e Nutrição) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.

CARVALHO, M. S. **Produção de polpa de abóbora em pó pelo processo de secagem em leito de espuma**. 2014. 73 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2014.

CASAGRANDE, R.; GEORGETTI, S. R.; VERRI, W. A.; BORIN, M. F.; LOPEZ, R. F. V.; FONSECA, M. J. V. In vitro evaluation of quercetin cutaneous absorption from topical formulations and its functional stability by antioxidant activity. **International Journal of Pharmaceutics**, v. 328, p. 183-190, 2007.

CLARKE R. J. Water and mineral contents. In: CLARKE, R. J.; MACRAE, R. **Coffee: chemistry**. New York: Elsevier Applied Science, v. 1, cap. 2, p. 1-41, 1985.

CORTEZ, J. G. **Efeito de espécies e cultivares e do processamento agrícola e industrial nas características da bebida do café**. 2001. 71p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2007.

DANTAS, S. C. M. **Desidratação de polpas de frutas pelo método foam-mat**. 2010. 100 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2010.

OIC - Organização Internacional do café. **Estatísticas do comércio**. 2016. Disponível em: <
http://www.ico.org/pt/trade_statistics.asp?section=Estat%EDstica>. Acesso em: 15 jan. 2017.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira: Café**. Brasília, v. 4, n. 1, 2017. Disponível em: <
http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/17_01_17_14_51_54_boletim_cafe_-_janeiro_de_2017.pdf>. Acesso em: 18 jan. 2017.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira: Café**. Brasília, v. 3, n. 4, 2016. Disponível em: < >. Acesso em: 27 dez. 2016.

- CRUZ, W. F. **Obtenção de polpa de GOIABA (*Psidium guajava* L.) em pó pelo método de secagem em camada de espuma**. 2013. 78 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2013.
- DAGLIA, M., RACHI, M.; PAPETTI, A.; LANNI, C.; GOVONI, S.; GAZZANI, G. In vitro and ex vivo antihydroxyl radical activity of green and roasted coffee. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 52, p. 1700-1704, 2004.
- DERRINGER, G.; SUICH, R. Simultaneous optimization of several response variables. **Journal of Quality Technology**, v. 12, p. 214–219, 1980.
- DIBAN, N.; RUIZ, G.; URTIAGA, A.; ORTIZ, I. Granular activated carbon for the recovery of the main pear aroma compound: Viability and kinetic modeling of ethyl-2,4-decadienoate adsorption. **Journal of Food Engineering**, v. 78, p. 1259-1266, 2007.
- DUARTE, S. M. S.; C. M. P.; MENEZES, H. C.; SANTOS, M. H.; GOUVÊA, C. M. C. P. Effect of processing and roasting on the antioxidant activity of coffee brews. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 25, n. 2, p. 387-393, 2005.
- EASTMAN, J. E., MOORE, C. O. (1984). Cold water soluble granular starch for gelled food composition. U.S. Patent 4465702.
- ESTEVES, B. N. **Influência do processo de secagem por pulverização mecânica (spray dryer) no tamanho de partícula e densidade aparente do café solúvel**. 2006. 84 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.
- FALADE, K. O.; ADEYANJU, K. I.; UZO-PETERS, P. I. Foam-mat drying of cowpea (*Vigna unguiculata*) using glyceryl monostearate and egg albumin as foaming agents. **European Food Research and Technology**, Berlin, v. 217, n. 6, p. 486–491, 2003.
- FELLOWS, P. J. **Tecnologia do processamento de alimentos: Princípios e prática**. 2 ed. Porto Alegre: Artmed, 2006. 602p.
- FERNANDES, R. V. B.; BORGES, S. V.; BOTREL, D. A. Gum arabic/starch/maltodextrin/inulin as wall materials on the microencapsulation of rosemary essential oil. **Carbohydrate Polymers**, v. 101, p. 524-532, 2014.
- FIGUEIREDO, R. M. F. **Caracterização físico-química do suco e pó de acerola (*Malpighia punucifolia*, L.)**. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1998.

FLAMENT, I. **Coffee Flavor Chemistry**. Wiley: Chichester, 2002. 397 p.

FRANCIS, F. J. **Encyclopedia of Food Science and Technology**. 2 Ed.,. New York: John Wiley & Sons, v.1, 2000. 2907p.

FONSECA, A. F. A.; FERRÃO, R. G., FERRÃO, M. A. G.; VERDIN FILHO, A. C.; VOLPI, O. S. Qualidade do café conilon: operações de colheita e pós-colheita. In: FERRÃO, R. G.; DA FONSECA, A. F. A.; BRAGANÇA, S. M.; FERRÃO, M. A. G.; DE MUNER, L. H. (Eds.). **Café Conilon**. Vitória, Incaper. p. 501-520, 2007.

FOLEGATTI, M. I. S.; **Estudo do efeito do uso de diferentes agentes aerantes e gelificantes e do processamento nas características físicas e sensoriais e na estabilidade do produto mousse de maracujá**. 2001. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos). Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2001.

FORNY, L., MARABI, A., PALZER, S. Wetting, disintegration and dissolution of agglomerated water soluble powders. **Powder technology**, v. 206, p. 72-78, 2011.

FRANCO, T. S.; PERUSSELLO, C. A.; ELLENDERSEN, L. S. N.; MASSON, M. L. Foam mat drying of yacon juice: Experimental analysis and computer simulation. **Journal of Food Engineering**, v. 158, p. 48-57, 2015.

FURTADO, G. F.; SILVA, F. S.; PORTO, A. G.; SANTOS, P. Secagem de polpa de ceriguela pelo método de camada de espuma. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande - PB, v. 12, n. 1, p. 9-14, 2010.

GOYAL, R. K., KINGSLEY, A. R. P., MANIKANTHAN, M. R., ILYAS, S. M. Mathematical modeling of thin layer drying kinetics of plum in a tunnel dryer. **Journal Food Engineering**. v. 79, p. 176-180, 2007.

HLA, P. K.; HOGEKAMP, S. Wetting behaviour of instanzed cocoa beverage powders. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 34, n. 4, p. 335-342, 1999.

HUANG, D.; OU, B.; PRIOR, R. L. The Chemistry behind Antioxidant Capacity Assays. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 53, p. 1841-1856, 2005.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos químicos e físicos para análise de alimentos**. 4. ed. São Paulo: IMESP, 2008.

ISHWARYA, S.P.; ANANDHARAMAKRISHNAN, C. Spray-Freeze-Drying approach for soluble coffee processing and its effect on quality characteristics. **Journal of Food Engineering**, vol. 149, p. 171-18, 2015.

JAYASUNDERA, M.; ADHIKARI, B.; HOWES, T.; ALFRED, P. Surface protein coverage and its implications on spray-drying of model sugar-rich foods: Solubility, powder production and characterisation. **Food Chemistry**, v. 15, p. 1003–1016, 2011.

KADAM, D. M.; WILSON, R. A.; KAUR, S. Determination of biochemical properties of foam mat dried mango powder. **International Journal Food Science and Technology**, v. 45, n. 8, p. 626–1632, 2010.

KADAM, D. M.; BALASUBRAMANIAN, S. Foam mat drying of tomato juice. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 35, p. 488–495, 2011.

KADAM, D. M.; WILSON, R. A.; KAUR, V.; CHADHA, S.; KAUSHIK, P.; KAUR, S.; PATIL, R. T.; RAI, D. R. Physicochemical and microbial quality evaluation of foam-mat-dried pineapple powder. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 47, p. 1654–1659, 2012.

KANDASAMY, P.; VARADHARAJU, N.; KALEMULLAH, S.; MALADHI, D. Optimization of process parameters for foam-mat drying of papaya pulp. **Journal Food Science and Technology**, v. 51, n. 10, p. 2526–2534, 2014.

KARIM, A. A.; WAI, C. C. Foam-mat drying of starfruit (*Averrhoa carambola* L.) puree. Stability and air drying characteristics. **Food Chemistry**, v. 64, n. 3, p. 337–343, 1999.

KRASAEKOOPT, W.; BHATIA, S. Production of Yogurt Powder Using Foam-Mat Drying. **Journal of Technology**, v. 15, n. 3, p. 166-171, 2012.

O'BRIEN T. G; KINNAIRD, M. F. Caffeine and conservation. **Science**, v. 300, p. 587, 2003.

KUDRA, T.; RATTI, C. Process and energy optimization in drying of foamed materials. **Transactions of the Tambov State Technical University**, v. 14, n. 4, p. 812-819, 2008.

LIMA, A. R.; PEREIRA, R. G. F. A.; ABRAHÃO, S. A. Compostos bioativos do café: atividade antioxidante *in vitro* do café verde e torrado antes e após a descafeinação. **Química Nova**, v. 33, n. 1, 2010.

LIMA, E. M. F. **Microencapsulamento por spray dryer de antocianinas e polifenóis de jussara (*Euterpe edulis MARTIUS*) e incorporação em sistemas-modelo de bebida lácteas**. 2016. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, 2016.

LIN, C.; MUELLER, L. A.; Mc CARTHY, J.; CROUZILLAT, D.; PETIARD, V.; TANKSLEY, S. D. Coffee and tomato share common gene repertoires as revealed by deep sequencing of seed and cherry transcripts. **Theoretical and applied genetics**, v. 112, p. 114-130, 2005.

LOBO, F. A.; NASCIMENTO, M. A.; DOMINGUES, J. R.; FALCÃO, D. Q.; HERNANZ, D.; HEREDIA, F. J.; ARAUJO, K. G. L. Foam mat drying of Tommy Atkins mango: Effects of air temperature and concentrations of soy lecithin and carboxymethylcellulose on phenolic composition, mangiferin, and antioxidant capacity. **Food Chemistry**, v. 221, p. 258–266, 2017.

MALTODEXTRINAS: Características estruturais e aplicações. **Aditivos e ingredientes**, p. 42-47, [s.d.].

MANGAL, S. K. **Coffee Planting, Production & Processing**. New Delhi: Gene-Tech Books, 2007. 267 p.

MARQUES, G. M. R. **Secagem de caldo de cana em leite de espuma e avaliação sensorial do produto**. 2009. 84 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) - Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Itapetinga, 2009.

MENDES, L. C.; MENEZES, H. C.; APARECIDA, M.; da SILVA, A.P. Optimization of the roasting of robusta coffee (*C. canephora* conillon) using acceptability tests and RSM. **Food Quality and Preference**, v. 12, p. 153-162, 2001.

MORR, B.; GERMAN, J. E.; KINSELLA, J. M.; REGENSTEIN, J. P. V.; BUREN, A. KILARA. A collaborative study to develop a standardized food protein solubility procedure. **Journal of Food Science**, v. 50, p. 1715–1719, 1985.

MORAIS, S. A. L.; AQUINO, F. J. T.; NASCIMENTO, P. M. N.; NASCIMENTO, E. A.; CHANG, R. Compostos bioativos e atividade antioxidante do café conilon submetido a diferentes graus de torra. **Química Nova**, v. 32, n. 2, p. 327-331, 2009.

MUSSATTO, S. I.; BALLESTEROS, L. F.; MARTINS, S.; TEIXEIRA, J. A. Extraction of antioxidant phenolic compounds from spent coffee grounds. **Separation and Purification Technology**, v. 83, p. 173-179, 2011.

MUTHUKUMARAN, A.; RATTI, C.; RAGHAVAN, V. G. S. Foam-mat freeze drying of egg white—mathematical modeling part II: freeze drying and modeling. **Drying Technology**, v. 26, p. 513–518, 2008.

NAKAI, S.; CHAN, L. Structure modification and functionality of whey proteins: quantitative structure-activity relationship approach. **Journal of Dairy Science**, v. 68, n. 10, p. 2763-2772, 1985.

NOGUEIRA, M.; TRUGO, L. C. Distribuição de isômeros de ácido clorogênico e teores de cafeína e trigonelina em cafés solúveis brasileiros. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 23, n. 2, p. 296-299, 2003.

PARRAS, P.; MARTÍNEZ-TOMÉ, M.; JIMÉNEZ, A. M.; MÚRCIA, M. A. Antioxidant capacity of coffees of several origins brewed following three different procedures. **Food Chemistry**, v. 102, p. 582–592, 2007.

PASBAN, A.; MOHEBBI, M.; POURAZARANG, H.; VARIDI, M.; ABBASI, A. Optimization of foaming condition and drying behavior of white button mushroom (*agaricus bisporus*). **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 39, p. 737–744, 2015.

PEREIRA, D. A. **Extração aquosa de própolis e secagem em leite de espuma para uso em alimentos**. 2008. 87 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Itapetinga, 2008.

QADRI, O. S.; SRIVASTAVA, A. K. Microwave-assisted foam mat drying of guava pulp: drying kinetics and effect on quality attributes. **Journal of Food Process Engineering**, v. 40, n. 1, 2015.

RAJKUMAR, P.; KAILAPPAN, R.; VISWANATHAN, R.; RAGHAVAN, G. S. V. Drying characteristics of foamed *alphonso* mango pulp in a continuous type foam mat dryer. **Journal of Food Engineering**, n. 79, p. 1452–1459, 2007.

RATTI, C.; KUDRA, T. Drying of Foamed Biological Materials: Opportunities and Challenges. **Drying Technology**, v. 24, p. 1101–1108, 2006.

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**, New York, v. 26, p. 1231-1237, 1999.

REIS, R. C.; MINIM, V. P. R. Testes de aceitação. In: MINIM, V. P. R. (Ed.). **Análise sensorial: estudos com consumidores**. 3ª ed. atual. e ampl. Viçosa: Editora UFV, cap. 3, p. 65–81, 2013.

RIBEIRO, B. B. et al. Avaliação química e sensorial de blends de *Coffea canephora* e *Coffea arabica* L. **Coffee Science**, Lavras, v. 9, n. 2, p. 178-186, 2014.

ROCHA, C. T. **Desenvolvimento de suco misto de açaí, morango e acerola em pó.** 79 f. 2013. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, 2013.

ROMEIRO, G. A.; SALGADO, E. C.; SILVA, R. V. S.; FIGUEIREDO, M. K.; PINTO, P. A.; DAMASCENO, R. N. A study of pyrolysis oil from soluble coffee ground using low temperature conversion (LTC) process. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, v. 93, p. 47–51, 2012.

SAÉNZ, C.; TAPIA, S.; CHÁVEZ, J.; ROBERT, P. Microencapsulation by spray drying of bioactive compounds from cactus pear (*Opuntia ficus-indica*). **Food Chemistry**, v. 114, p. 616-622, 2009.

SALAH, M. R.; MOHEBBI, M.; TAGHIZADEH, M. Foam-mat drying of cantaloupe (*cucumis melo*): optimization of foaming parameters and investigating drying characteristics. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 39, p. 1798–1808, 2015.

SÁNCHEZ-GONZÁLEZ, I.; JIMÉNEZ-ESCRIG, A.; SAURA-CALIXTO, F. In vitro antioxidant activity of coffees brewed using different procedures (Italian, espresso and filter). **Food Chemistry**, v. 90, p. 133-139, 2005.

SANKAT, C. K.; CASTAIGNE, F. Foaming and drying behavior of ripe bananas. **Food Science and Technology**, v. 37, n. 5, p. 517–525, 2004.

SANZ, C.; CZERNY, M.; CID, C.; SCHIEBERLE, P. Comparasion of potent odorants in a filtered coffee brew and in an instant coffee beverage by aroma extract dilution analysis (AEDA). **European Food Research and Technology**, v. 214, p. 299-302, 2002.

SILVA, A. S.; GURJÃO, K. C. O.; ALMEIDA, F. A. C.; BRUNO, R. L. A.; PEREIRA, W. E. Desidratação da Polpa de Tamarindo pelo Método de Camada de Espuma. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 32, n. 6, p. 1899-1905, 2008.

SOARES, E. C. **Caracterização de Aditivos para Secagem de Araça-boi (*Eugenia stipitata* Mc Vaugh) em Leito de Espuma.** 88 f. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Federal da Bahia, Itapetinga, 2009.

SOUZA, V. C. **Efeito da liofilização e desidratação em leito de espuma sobre a qualidade do pó de polpa de cupuaçu (*theobroma grandiflorum*).** 67 f. 2011.

Tese (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Federal da Bahia, Itapetinga, 2011.

SMITH, A. W. Introduction. In: CLARKE, R. J.; MACRAE, R. **Coffee: chemistry. New York: Elsevier Applied Science**, v. 1, cap. 1, p. 1-41, 1985a.

SMITH, R. F. A History of Coffee. In: CLIFFORD, M. N.; WILSON, K. C. **Coffee Botany, Biochemistry and Production of Beans and Beverage**. Beckenham (Kent): Croom helm, cap. 1, p. 1-12, 1985b.

TEÓFILO, R. F.; FERREIRA, M. M. C. Quimiometria II: Planilhas eletrônicas para cálculos de planejamentos experimentais, um tutorial. **Química Nova**, v. 29, n. 2, p. 338-350, 2006.

TONON, R. V. **Secagem por atomização do suco de açaí: Influência das variáveis de processo, qualidade e estabilidade do produto**. 2009. 242 f. Tese (Doutorado em Engenharia de alimentos) - Universidade Estadual de Campinas: Faculdade de Engenharia de Alimentos, Campinas, 2009.

THUWAPANICHAYANAN, R.; PRACHAYAWARAKORN, S.; SOPONRONNARIT, S. Drying characteristics and quality of banana foam mat. **Journal of Food Engineering**, v. 86, p. 573-583, 2008.

THUWAPANICHAYANAN, R.; PRACHAYAWARAKORN, S.; SOPONRONNARIT, S. Effects of foaming agents and foam density on drying characteristics and textural property of banana foams. **Food Science and Technology**, v. 47, p. 348 - 357, 2012.

UKERS, W. H. **All about coffee**. 2. ed. New York: The tea & coffee Trade Journal Company, 1935. 818 p.

VIGNOLI, J. A.; BASSOLI, D. G.; BENASSI, M. T. Antioxidant activity, polyphenols, caffeine and melanoidins in soluble coffee: The influence of processing conditions and raw material. **Food Chemistry**, v. 124, p. 863–868, 2011.

VISSOTTO, F. Z.; MONTENEGRO, F. N.; SANTOS, J. M.; OLIVEIRA, S. J. R. Avaliação da influência dos processos de lecitinação e de aglomeração nas propriedades físicas de achocolatado em pó. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 26, p. 666–671, 2006.

WESCHENFELDER, T. A.; LANTIN, P.; VIEGAS, M. C.; CASTILHOS, F.; SCHEER, A. P. Concentration of aroma compounds from an industrial solution of soluble coffee by pervaporation process. **Journal of Food Engineering**, v. 159, p. 57–65, 2015.

ANEXO A – Ficha da aceitação sensorial

Nome: _____			
Data: _____	Idade: _____	Sexo: (F) (M)	
Por favor, avalie a amostra e indique o quanto você gostou ou desgostou de cada um dos atributos sensoriais do cappuccino, dando notas de acordo com a escala abaixo.			
Código da amostra: _____			
(9) Gostei extremamente			
(8) Gostei muito	Aparência		_____
(7) Gostei moderadamente			
(6) Gostei ligeiramente	Aroma		_____
(5) Indiferente			
(4) Desgostei ligeiramente	Sabor		_____
(3) Desgostei moderadamente			
(2) Desgostei muito	Impressão global		_____
(1) Desgostei extremamente			
Comentários: _____			

Fonte: baseado em (REIS; MINIM, 2013).