

**UFRRJ**

**INSTITUTO DE TECNOLOGIA**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E  
TECNOLOGIA DE ALIMENTOS**

**TESE**

**DESENVOLVIMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE FARINHAS  
MISTAS EXTRUDADAS DE ARROZ E CONCENTRADO PROTEICO  
DE SORO DE LEITE BOVINO PARA A ELABORAÇÃO DE  
BISCOITOS E MINGAUS**

**CARLA DA SILVA TEBA**

**2014**



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E  
TECNOLOGIA DE ALIMENTOS**

**DESENVOLVIMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE FARINHAS  
MISTAS EXTRUDADAS DE ARROZ E CONCENTRADO PROTEICO  
DE SORO DE LEITE BOVINO PARA A ELABORAÇÃO DE  
BISCOITOS E MINGAUS**

**CARLA DA SILVA TEBA**

*Sob a orientação do Professor Doutor*  
**José Luis Ramirez Ascheri**

*e Co-orientação do Professor Doutor*  
**Carlos Wanderlei Piler de Carvalho**

Tese submetida como requisito parcial para a obtenção do grau de **Doutor em Ciências**, no Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Área de Concentração em Tecnologia de Alimentos.

Seropédica, RJ  
Setembro de 2014

664.72272

T254d

T

Teba, Carla da Silva, 1983-

Desenvolvimento e caracterização de farinhas mistas extrudadas de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino para a elaboração de biscoitos e mingaus/ Carla da Silva Teba. - 2014.

192 f.: il.

Orientador: José Luis Ramirez Ascheri.

Tese (doutorado) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Curso de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos.

Bibliografia: f. 162-181.

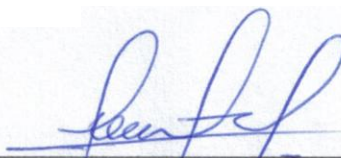
1. Farinhas - Teses. 2. Farinhas como alimento - Teses. 3. Alimento - Teor proteico - Teses. 4. Soro de leite - Produtos - Teses. 5. Soro de leite - Teses. I. Ramirez Ascheri, José Luis, 1955- II. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Curso de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos. III. Título.

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO**  
**INSTITUTO DE TECNOLOGIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE**  
**ALIMENTOS**

**CARLA DA SILVA TEBA**

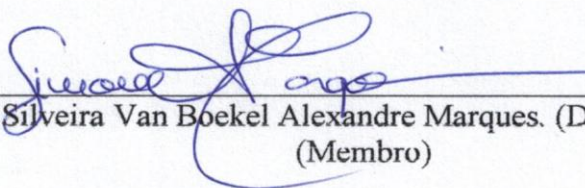
Tese submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Doutor em Ciências**, no Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Área de Concentração em Tecnologia de Alimentos.

TESE APROVADA EM 02 DE SETEMBRO DE 2014.



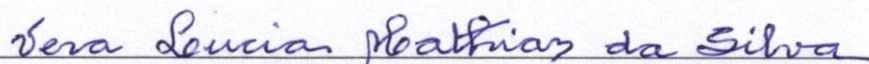
---

José Luis Ramírez Ascheri. (D.Sc.) Embrapa-CTAA  
(Orientador)



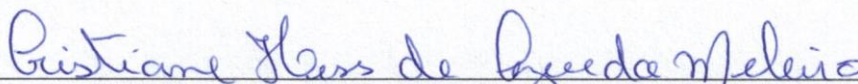
---

Simone Silveira Van Boekel Alexandre Marques. (D.Sc.) UFRJ-Macaé  
(Membro)



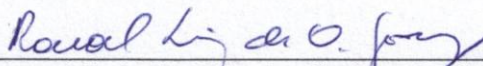
---

Vera Lúcia Mathias da Silva. (D.Sc.) DNEB-UFRJ  
(Membro)



---

Cristiane Hess de Azevedo Meleiro. (D.Sc.) DTA-UFRRJ  
(Membro)



---

Ronoel Luiz de Oliveira Godoy. (D.Sc.) Embrapa-CTAA  
(Membro)

## **DEDICATÓRIA**

Muitos entraves e perdas me surpreenderam no decorrer da caminhada até aqui e a conclusão exitosa deste trabalho só foi possível devido ao suporte que me foi concedido. Então, com apreço, dedico:

Aos que me apoiam, amam, zelam e incentivam, independente das circunstâncias, que sonham os meus sonhos e que compreenderam os meus momentos de introspecção e estresse: Ermano e Elesia, pai e mãe, meus grandes pilares e exemplos de perseverança e caráter;

Aos familiares próximos, Eduardo, Vânia, Lucas e Richard, pelo carinho e amor;

Aos queridos amigos de ontem e de hoje, por me estimularem a prosseguir quando achei que as minhas forças tinham se esgotado, pelas orações, pela troca de experiências e desabafos e, com certeza, pelos momentos de descontração, que me fizeram passar com leveza pelas situações mais inusitadas.

Amo a cada um de vocês de um jeitinho muito particular!!!

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, meu socorro bem presente em todos os momentos de angústia.

À Embrapa Agroindústria de Alimentos, por todo o suporte referente ao uso das instalações, tais como laboratórios e planta piloto de extrusão, e a todos os pesquisadores, analistas e técnicos com os quais tive contato durante todo o período de realização do doutorado, e que colaboraram para o meu aprimoramento profissional.

À Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro e ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, que possibilitaram a execução do projeto.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão de bolsa de estudo durante parte da realização do doutorado.

Ao Ph.D. José Luis Ramirez Ascheri, não apenas pela orientação primorosa, mas também por todo apoio e conselhos, que foram fundamentais para mim na área pessoal e profissional.

Ao Ph.D. Carlos Wanderlei Piler de Carvalho pelo auxílio e sugestões durante a realização de todo o estudo.

À D.Sc. Cristina Yoshie Takeiti pela amizade e incentivo.

À amiga D.Sc. Maria Rosa Figueiredo Nascimento pelo carinho, conhecimentos compartilhados, orientação durante todo o período estágio em docência e pelo suporte na realização dos testes sensoriais.

Aos queridos amigos Juan Antônio Ruano Ortiz e Luciana Silva de Mattos Moura por todos os maravilhosos momentos que dividimos, pelas confidências e por toda colaboração nas análises.

À D.Sc. Érika Madeira Moreira da Silva pelo carinho e parceria durante a realização deste trabalho.

Aos colegas de turma e de laboratório Gaspar Dias Monteiro Ramos, Valéria França de Souza e Jeferson da Silva Corrêa pelo auxílio no processamento por extrusão, e ao Davy William Hidalgo Chavez pela colaboração na realização de parte das análises estatísticas.

## RESUMO

TEBA, Carla da Silva. **Desenvolvimento e caracterização de farinhas mistas extrudadas de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino para a elaboração de biscoitos e mingaus**. 2014. 192p. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos). Instituto de Tecnologia, Departamento de Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, Rio de Janeiro, 2014.

O soro de leite é um dos subprodutos mais poluentes da indústria de alimentos e sua natureza perecível não permite a estocagem por período prolongado, sendo necessário encontrar destino adequado aos volumes produzidos. Atribuem-se às proteínas do soro de leite possíveis atividades anticarcinogênica, hipocolesterolêmica, anti-inflamatória, ação imunomoduladora, entre outras. O arroz é constituído principalmente por amido, e devido a sua estrutura, contribui para a produção de *snacks* de elevada qualidade tecnológica. O objetivo desse trabalho é desenvolver e caracterizar farinhas mistas pré-gelatinizadas de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino, obtidas por extrusão termoplástica, visando utilização na elaboração de produtos nutritivos e práticos. Foram consideradas como variáveis independentes: formulação (% de concentrado proteico de soro de leite na mistura com farinha de arroz), umidade da mistura da farinha no processamento e temperatura da última zona de aquecimento. Os extrudados elaborados foram submetidos à caracterização física e avaliação tecnológica funcional. Os melhores índices de expansão foram observados para os ensaios com até 4 % de concentrado proteico e que foram processados com baixa umidade e temperaturas mais brandas. Através da caracterização visual dos extrudados e das micrografias foi possível observar que as amostras processadas com baixo conteúdo de umidade (16,64 % e 18 %) apresentaram células mais homogêneas. Por meio da difratometria de raios X verificou-se que o perfil das amostras é característico ao cristal do tipo "A", devido à presença de domínios cristalinos em sua estrutura. As farinhas mistas extrudadas se destacaram por possuir elevada viscosidade a frio, baixa viscosidade a quente (95°C) e baixo poder de retrogradação. Os resultados observados nos parâmetros de viscosidade avaliados mostram correlação destas propriedades com as características de fácil reconstituição e boa solubilização em meio aquoso, sem a necessidade de cozimento. A incorporação de concentrado proteico na farinha de arroz promoveu incremento no teor de cinzas e proteínas, indicando melhoria na composição mineral e de aminoácidos das farinhas mistas. De modo geral, as condições de processamento utilizadas não afetaram de forma significativa o valor nutricional da maior parte das farinhas mistas produzidas. O teste de aceitação realizado com os biscoitos elaborados com as farinhas mistas referentes aos ensaios 8, 10 e 16 (6, 7,36 e 4 % de concentrado proteico, respectivamente) indicou que o biscoito com maior teor de concentrado proteico apresentou melhor avaliação global, sabor e intenção de compra. Os mingaus foram produzidos com farinhas pré-gelatinizadas contendo 2, 4 e 7,36 % de concentrado proteico e submetidos à análise sensorial. Para a maior parte dos atributos avaliados e para a intenção de compra, a amostra com maior teor de concentrado proteico apresentou os melhores resultados. Conclui-se que é possível produzir farinhas mistas pré-gelatinizadas de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino com boas características nutricionais, microbiológicas e tecnológicas tanto para a elaboração de biscoitos quanto para a produção de mingaus de rápida dissolução.

**Palavras-chave:** Farinha pré-gelatinizada, Extrudados, Degradação proteica.

## ABSTRACT

TEBA, Carla da Silva. **Development and characterization of mixed extruded flour of rice and whey protein concentrate for the preparation of cookies and porridges**. Seropédica: UFRRJ, 2014. 192p. Thesis (Doctor of Science and Food Technology, Food Technology). Institute of Technology, Posgraduation Program in Science and Food Technology, Federal Rural University of Rio de Janeiro, Seropédica, Rio de Janeiro, 2014.

Whey is one of the most polluting by-products of the food industry and their perishability does not allow storage for long periods, then it's necessary to find appropriate destination. The whey protein has potential anticarcinogenic, activities hypocholesterolemic, anti-inflammatory, immunomodulatory action, among others. The rice consists mainly of starch, and this structure contributes to the production of snacks high technological quality. The objective of this study was to develop and characterize mixed extruded flour of rice and whey protein concentrate aiming use in the manufacture of nutritional and practical products. The parameters used in the processing of thermoplastic extrusion were: formulation (% whey protein concentrate), moisture content and temperature of the last heating zone. The extrudates were subjected to physical characterization and functional technology assessment. The highest rates of growth were observed for the tests with up to 4 % whey protein concentrates in their formulations and were processed with low humidity generally less than 20 % and milder temperatures, generally at or below 140 °C. Through the visual characterization of extruded and the micrographs it was observed that the samples processed with low moisture content (16.64 and 18%) were more homogeneous cells. The X-ray diffraction showed that the profile of the crystal samples is characteristic of type "A" due to the presence of crystalline domains in its structure. The flours viscosity profile is consistent with the characteristics of pre-gelatinized products, being dissolved without needing to cook. The pre-gel flour with blends of rice and whey protein concentrate present viscous, homogeneous and with low capacity of retrogradation. The addition of protein concentrate in rice flour increased the ash and proteins, indicating that the mineral and amino acid composition of the mixed flours may also have a nutritional improvement. Generally, the processing conditions do not significantly affect the nutritional value of the flour blends. The acceptance test performed with the cookies prepared with the mixed flours 8, 10 and 16 (6, 7.36 and 4 % whey protein concentrate, respectively) indicated that the biscuit with a higher content of protein concentrate showed better overall evaluation, taste and purchase intent. The porridges were produced with pre-gelatinized flour containing 2, 4 and 7.36% whey protein concentrate and sensory analysis evaluated the attributes appearance, flavor and consistency, plus purchase intent. The results showed that for most of the evaluated attributes and purchase intent, the sample with higher content of protein concentrate showed the best results. The porridges were produced with pre-gelatinized flour containing 2, 4 and 7.36% whey protein concentrate and sensory analysis evaluated the attributes appearance, flavor and consistency, plus purchase intent. The results showed that for most of the evaluated attributes and purchase intent, the sample with higher content of protein concentrate showed the best results. We conclude that it is possible to produce pre-gel flours containing rice and whey protein concentrate with good nutritional, microbiological and technological features for the production of cookies and porridges rapid dissolution.

**Keywords:** Pre-gelatinized flours, Extruded, Protein degradation.



## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b>	Medições comparativas das proteínas.	4
<b>Tabela 2</b>	Composição de aminoácidos essenciais dos produtos: concentrado proteico de soro de leite (WPC), soro de leite e gelatina bovina, comparada aos padrões de referência da FAO/WHO (1990).	5
<b>Tabela 3</b>	Composição química e valores de subprodutos do beneficiamento de arroz.	12
<b>Tabela 4</b>	Níveis das variáveis independentes estudadas no processo de extrusão.	19
<b>Tabela 5</b>	Delineamento completo do desenho experimental.	20
<b>Tabela 6</b>	Índice de expansão radial (IER) de extrudados de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino.	38
<b>Tabela 7</b>	Teste F da análise de variância, coeficiente de regressão, estimativa dos efeitos e respectivas probabilidades (P) do modelo de regressão quadrática aplicada ao índice de expansão radial de extrudados de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino, em função da formulação, umidade e temperatura.	39
<b>Tabela 8</b>	Análise de variância simplificada para índice de expansão radial de extrudados de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino.	40
<b>Tabela 9</b>	Resultados da caracterização física de cor de farinhas mistas extrudadas de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino e das matérias-primas.	45
<b>Tabela 10</b>	Teste F da análise de variância, coeficiente de regressão, estimativa dos efeitos e respectivas probabilidades (P) do modelo de regressão quadrática aplicada à luminosidade das farinhas mistas extrudadas de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino, em função da formulação, umidade e temperatura.	46
<b>Tabela 11</b>	Análise de variância simplificada para luminosidade das farinhas mistas extrudadas de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino.	47
<b>Tabela 12</b>	Teste F da análise de variância, coeficiente de regressão, estimativa dos efeitos e respectivas probabilidades (P) do modelo de regressão quadrática aplicada à cromaticidade $a$ das farinhas mistas extrudadas de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino, em função da formulação, umidade e temperatura.	50
<b>Tabela 13</b>	Análise de variância simplificada para cromaticidade $a$ das farinhas mistas extrudadas de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino.	51

<b>Tabela 14</b>	Teste F da análise de variância, coeficiente de regressão, estimativa dos efeitos e respectivas probabilidades (P) do modelo de regressão quadrática aplicada à cromaticidade <i>b</i> das farinhas mistas extrudadas de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino, em função da formulação, umidade e temperatura.	54
<b>Tabela 15</b>	Análise de variância simplificada para cromaticidade <i>b</i> das farinhas mistas extrudadas de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino.	55
<b>Tabela 16</b>	Teste F da análise de variância, coeficiente de regressão, estimativa dos efeitos e respectivas probabilidades (P) do modelo de regressão quadrática aplicada à cromaticidade <i>c</i> das farinhas mistas extrudadas de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino, em função da formulação, umidade e temperatura.	58
<b>Tabela 17</b>	Análise de variância simplificada para cromaticidade <i>C*</i> das farinhas mistas extrudadas de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino.	59
<b>Tabela 18</b>	Teste F da análise de variância, coeficiente de regressão, estimativa dos efeitos e respectivas probabilidades (P) do modelo de regressão quadrática aplicada ao ângulo hue ( $h^\circ$ ) das farinhas mistas extrudadas de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino, em função da formulação, umidade e temperatura.	62
<b>Tabela 19</b>	Análise de variância simplificada para ângulo hue das farinhas mistas extrudadas de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino.	63
<b>Tabela 20</b>	Densidade absoluta e volume total de poros de farinhas mistas extrudadas de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino e matérias-primas.	69
<b>Tabela 21</b>	Teste F da análise de variância, coeficiente de regressão, estimativa dos efeitos e respectivas probabilidades (P) do modelo de regressão quadrática aplicada a densidade absoluta ( $g/cm^3$ ) das farinhas mistas extrudadas de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino, em função da formulação, umidade e temperatura.	70
<b>Tabela 22</b>	Análise de variância simplificada para a densidade absoluta de farinhas mistas extrudadas de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino.	71
<b>Tabela 23</b>	Teste F da análise de variância, coeficiente de regressão, estimativa dos efeitos e respectivas probabilidades (P) do modelo de regressão quadrática aplicada ao volume total de poros ( $cm^3$ ) das farinhas mistas extrudadas de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino, em função da formulação, umidade e temperatura.	73
<b>Tabela 24</b>	Análise de variância simplificada para o volume total de poros de farinhas mistas extrudadas de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino.	74
<b>Tabela 25</b>	Índice de cristalinidade de farinhas mistas extrudadas e arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino e matérias-primas.	81

<b>Tabela 26</b>	Teste F da análise de variância, coeficiente de regressão, estimativa dos efeitos e respectivas probabilidades (P) do modelo de regressão quadrática aplicada ao índice de cristalinidade (%) das farinhas mistas extrudadas de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino, em função da formulação, umidade e temperatura.	82
<b>Tabela 27</b>	Índice de solubilidade em água (%) de farinhas mistas extrudadas de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino e farinha de arroz crua.	85
<b>Tabela 28</b>	Teste F da análise de variância, coeficiente de regressão, estimativa dos efeitos e respectivas probabilidades (P) do modelo de regressão quadrática aplicada ao índice de solubilidade em água (%) das farinhas mistas extrudadas de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino, em função da formulação, umidade e temperatura.	86
<b>Tabela 29</b>	Análise de variância simplificada para índice de solubilidade em água das farinhas mistas extrudadas de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino.	87
<b>Tabela 30</b>	Teste F da análise de variância, coeficiente de regressão, estimativa dos efeitos e respectivas probabilidades (P) do modelo de regressão quadrática aplicada ao índice de absorção de água ( $\text{g gel.g}^{-1}$ ) das farinhas mistas extrudadas de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino, em função da formulação, umidade e temperatura.	91
<b>Tabela 31</b>	Índice de absorção de água ( $\text{g gel.g}^{-1}$ de matéria seca) de farinhas mistas extrudadas de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino e farinha de arroz crua.	92
<b>Tabela 32</b>	Viscosidade de pasta de farinhas mistas extrudadas de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino e farinha de arroz crua.	94
<b>Tabela 33</b>	Teste F da análise de variância, coeficiente de regressão, estimativa dos efeitos e respectivas probabilidades (P) do modelo de regressão quadrática aplicada a viscosidade inicial a 25°C (cP) das farinhas mistas extrudadas de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino, em função da formulação, umidade e temperatura.	98
<b>Tabela 34</b>	Análise de variância simplificada para viscosidade inicial a 25°C (cP) das farinhas mistas extrudadas de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino.	99
<b>Tabela 35</b>	Teste F da análise de variância, coeficiente de regressão, estimativa dos efeitos e respectivas probabilidades (P) do modelo de regressão quadrática aplicada a viscosidade máxima a 95 °C (cP) das farinhas mistas extrudadas de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino, em função da formulação, umidade e temperatura.	102
<b>Tabela 36</b>	Análise de variância simplificada para viscosidade máxima a 95 °C (cP) das farinhas mistas extrudadas de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino.	103

<b>Tabela 37</b>	Teste F da análise de variância, coeficiente de regressão, estimativa dos efeitos e respectivas probabilidades (P) do modelo de regressão quadrática aplicada a viscosidade mínima a 95 °C (cP) das farinhas mistas extrudadas de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino, em função da formulação, umidade e temperatura.	106
<b>Tabela 38</b>	Análise de variância simplificada para viscosidade mínima a 95°C (cP) das farinhas mistas extrudadas de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino.	107
<b>Tabela 39</b>	Teste F da análise de variância, coeficiente de regressão, estimativa dos efeitos e respectivas probabilidades (P) do modelo de regressão quadrática aplicada a viscosidade final a 25 °C (cP) das farinhas mistas extrudadas de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino, em função da formulação, umidade e temperatura.	111
<b>Tabela 40</b>	Análise de variância simplificada para viscosidade final a 25 °C (cP) das farinhas mistas extrudadas de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino.	112
<b>Tabela 41</b>	Teste F da análise de variância, coeficiente de regressão, estimativa dos efeitos e respectivas probabilidades (P) do modelo de regressão quadrática aplicada ao setback (cP) das farinhas mistas extrudadas de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino, em função da formulação, umidade e temperatura.	116
<b>Tabela 42</b>	Análise de variância simplificada para o <i>setback</i> (cP) das farinhas mistas extrudadas de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino.	117
<b>Tabela 43</b>	Teste F da análise de variância, coeficiente de regressão, estimativa dos efeitos e respectivas probabilidades (P) do modelo de regressão quadrática aplicada ao tempo de reconstituição (s) das farinhas mistas extrudadas de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino, em função da formulação, umidade e temperatura.	119
<b>Tabela 44</b>	Tempo (s) de dissolução de farinhas mistas extrudadas e arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino.	120
<b>Tabela 45</b>	Características das farinhas mistas pré-gelatinizadas de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino reconstituídas e após 30 min. de repouso.	122
<b>Tabela 46</b>	Composição centesimal das matérias-primas e farinhas mistas pré-gelatinizadas.	125
<b>Tabela 47</b>	Composição em minerais das farinhas cruas de arroz branco e concentrado proteico do soro de leite bovino (CPS) e farinhas mistas pré-gelatinizadas.	126
<b>Tabela 48</b>	Composição em aminoácidos (mg aminoácido / g de proteína) das farinhas cruas de arroz branco e concentrado proteico do soro de leite bovino (CPS).	129
<b>Tabela 49</b>	Escore de aminoácidos da farinha de arroz branco polido e concentrado proteico de soro de leite bovino, segundo as recomendações da FAO/WHO (1985) para crianças de 2 a 5 anos de idade.	130

<b>Tabela 50</b>	Escore de aminoácidos da farinha de arroz branco polido e concentrado proteico de soro de leite bovino, segundo as recomendações da FAO/WHO (1985) para crianças de 10 a 12 anos de idade.	130
<b>Tabela 51</b>	Escore de aminoácidos da farinha de arroz branco polido e concentrado proteico de soro de leite bovino, segundo as recomendações da FAO/WHO (1985) para adultos.	131
<b>Tabela 52</b>	Teste F da análise de variância, coeficiente de regressão, estimativa dos efeitos e respectivas probabilidades (P) do modelo de regressão quadrática aplicada à atividade de água (Aw) das farinhas mistas extrudadas de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino, em função da formulação, umidade e temperatura.	133
<b>Tabela 53</b>	Resultados da atividade de água (Aw) de farinhas mistas extrudadas de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino e das matérias-primas.	135
<b>Tabela 54</b>	Resultados das análises microbiológicas para coliformes a 35 °C e a 45°C, bolores, leveduras, <i>Bacillus cereus</i> e Salmonella sp. das matérias-primas.	136
<b>Tabela 55</b>	Resultados das análises microbiológicas para coliformes a 35 °C e a 45°C, bolores, leveduras, <i>Bacillus cereus</i> , Estafilococos coagulase positiva e Salmonella sp. das farinhas mistas pré-gelatinizadas.	137
<b>Tabela 56</b>	Médias* de aspecto global, sabor, aroma, cor, textura e intenção de compra de biscoitos tipo <i>cookie</i> à base de farinha mista extrudada de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino.	141
<b>Tabela 57</b>	Índices de aceitabilidade dos biscoitos tipo <i>cookie</i> à base de farinha mista extrudada de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino para aspecto global.	142
<b>Tabela 58</b>	Índices de aceitabilidade dos biscoitos tipo <i>cookie</i> à base de farinha mista extrudada de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino para o atributo sabor.	142
<b>Tabela 59</b>	Índices de aceitabilidade dos biscoitos tipo <i>cookie</i> à base de farinha mista extrudada de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino para o atributo aroma.	142
<b>Tabela 60</b>	Índices de aceitabilidade dos biscoitos tipo <i>cookie</i> à base de farinha mista extrudada de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino para o atributo cor.	143
<b>Tabela 61</b>	Índices de intenção de compra dos biscoitos tipo <i>cookie</i> à base de farinha mista extrudada de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino.	143
<b>Tabela 62</b>	Frequência de impressões positivas citadas pelos julgadores em relação às amostras de biscoitos elaborados com farinha mista extrudada de arroz e concentrado proteico.	147
<b>Tabela 63</b>	Frequência de impressões negativas citadas pelos julgadores em relação às amostras de biscoitos elaborados com farinha mista extrudada de arroz e concentrado proteico.	147

<b>Tabela 64</b>	Características físicas dos biscoitos doces contendo farinha mista extrudada.	148
<b>Tabela 65</b>	Composição centesimal de biscoitos tipo <i>cookie</i> elaborados com farinha mista extrudada de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino.	149
<b>Tabela 66</b>	Médias* dos atributos aparência, sabor, consistência e da intenção de compra de mingaus à base de farinha mista extrudada de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino.	151
<b>Tabela 67</b>	Índices de aceitabilidade de mingaus à base de farinha mista extrudada de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino para o atributo aparência.	151
<b>Tabela 68</b>	Índices de aceitabilidade de mingaus à base de farinha mista extrudada de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino para o atributo sabor.	152
<b>Tabela 69</b>	Índices de aceitabilidade de mingaus à base de farinha mista extrudada de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino para o atributo consistência.	152
<b>Tabela 70</b>	Índices de intenção de compra de mingaus à base de farinha mista extrudada de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino.	153

## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 1</b>	Composição do soro de leite doce e ácido in natura.	4
<b>Quadro 2</b>	Produtos de soro de leite da Dairy Farmers of América, Inc*.	8
<b>Quadro 3</b>	Composição do grão de arroz integral e polido (em 100g).	10
<b>Quadro 4</b>	Formulação para o preparo de <i>cookies</i> .	34
<b>Quadro 5</b>	Corte radial dos expandidos de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino (CPS) processados em diferentes condições de umidade (U) e temperatura.	67

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b>	Desenho esquemático de um extrusor monorosca.	14
<b>Figura 2</b>	Esquema das zonas do parafuso de um extrusor monorosca.	15
<b>Figura 3</b>	Extrusor monorosca, marca Brabender, modelo 20 DN (Duisburg, Alemanha) utilizado para a produção dos extrudados expandidos de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino.	23
<b>Figura 4</b>	Extrudados expandidos de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino coletados durante o processo de extrusão termoplástica.	24
<b>Figura 5</b>	Fluxograma de obtenção de extrudados e farinhas mistas pré-gelatinizadas.	25
<b>Figura 6</b>	Representação esquemática dos tipos de volume.	27
<b>Figura 7</b>	Perfil viscoamilográfico de farinha de arroz crua.	30
<b>Figura 8</b>	Efeito das variáveis quantitativas umidade (%) e CPS (%) no índice de expansão radial (IER) de extrudados de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino.	41
<b>Figura 9</b>	Efeito das variáveis quantitativas temperatura (°C) e CPS (%) no índice de expansão radial (IER) de extrudados de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino.	42
<b>Figura 10</b>	Efeito das variáveis quantitativas temperatura (°C) e umidade (%) no índice de expansão radial (IER) de extrudados de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino.	43
<b>Figura 11</b>	Efeito das variáveis quantitativas umidade (%) e CPS (%) na luminosidade das farinhas mistas extrudadas de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino.	48
<b>Figura 12</b>	Efeito das variáveis quantitativas temperatura (°C) e CPS (%) na luminosidade das farinhas mistas extrudadas de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino.	48
<b>Figura 13</b>	Efeito das variáveis quantitativas temperatura (°C) e umidade (%) na luminosidade das farinhas mistas extrudadas de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino.	49
<b>Figura 14</b>	Efeito das variáveis quantitativas umidade (%) e CPS (%) na cromaticidade $a^*$ das farinhas mistas extrudadas de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino.	52



<b>Figura 15</b>	Efeito das variáveis quantitativas temperatura (°C) e CPS (%) na cromaticidade $a^*$ das farinhas mistas extrudadas de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino.	52
<b>Figura 16</b>	Efeito das variáveis quantitativas temperatura (°C) e umidade (%) na cromaticidade $a^*$ das farinhas mistas extrudadas de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino.	53
<b>Figura 17</b>	Efeito das variáveis quantitativas umidade (%) e CPS (%) na cromaticidade $b^*$ das farinhas mistas extrudadas de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino.	56
<b>Figura 18</b>	Efeito das variáveis quantitativas temperatura (°C) e CPS (%) na cromaticidade $b^*$ das farinhas mistas extrudadas de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino.	56
<b>Figura 19</b>	Efeito das variáveis quantitativas temperatura (°C) e umidade (%) na cromaticidade $b^*$ das farinhas mistas extrudadas de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino.	57
<b>Figura 20</b>	Efeito das variáveis quantitativas umidade (%) e CPS (%) na cromaticidade $C^*$ das farinhas mistas extrudadas de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino.	60
<b>Figura 21</b>	Efeito das variáveis quantitativas temperatura (°C) e CPS (%) na cromaticidade $C^*$ das farinhas mistas extrudadas de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino.	60
<b>Figura 22</b>	Efeito das variáveis quantitativas temperatura (°C) e umidade (%) na cromaticidade $C^*$ das farinhas mistas extrudadas de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino.	61
<b>Figura 23</b>	Efeito das variáveis quantitativas umidade (%) e CPS (%) no ângulo hue ( $h^\circ$ ) das farinhas mistas extrudadas de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino.	64
<b>Figura 24</b>	Efeito das variáveis quantitativas temperatura (°C) e CPS (%) no ângulo hue ( $h^\circ$ ) das farinhas mistas extrudadas de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino.	64
<b>Figura 25</b>	Efeito das variáveis quantitativas temperatura (°C) e umidade (%) no ângulo hue ( $h^\circ$ ) das farinhas mistas extrudadas de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino.	65
<b>Figura 26</b>	Efeito das variáveis quantitativas temperatura (°C) e umidade (%) na densidade absoluta ( $g/cm^3$ ) das farinhas mistas extrudadas de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino.	72
<b>Figura 27</b>	Efeito das variáveis quantitativas temperatura (°C) e umidade (%) no volume total de poros ( $cm^3$ ) das farinhas mistas extrudadas de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino.	75
<b>Figura 28</b>	Micrografias obtida por MEV de farinha de arroz branco polido, aumento de 100x (A) e 1,0k (B).	76
<b>Figura 29</b>	Micrografias obtida por MEV de concentrado proteico de soro de leite bovino, aumento de 100x (A) e 1,2k (B).	76

<b>Figura 30</b>	Micrografias obtida por MEV de farinha mista extrudada referente aos ensaios 1 (A) e 2 (B), aumento de 500x (A) e 1,0k (B).	76
<b>Figura 31</b>	Micrografias obtida por MEV de farinha mista extrudada referente aos ensaios 3 (A) e 4 (B), aumento de 500x.	77
<b>Figura 32</b>	Micrografias obtida por MEV de farinha mista extrudada referente aos ensaios 5 (A) e 6 (B), aumento de 500x.	77
<b>Figura 33</b>	Micrografias obtida por MEV de farinha mista extrudada referente aos ensaios 7 (A) e 8 (B), aumento de 500x.	77
<b>Figura 34</b>	Micrografias obtida por MEV de farinha mista extrudada referente aos ensaios 9 (A) e 10 (B), aumento de 500x.	78
<b>Figura 35</b>	Micrografias obtida por MEV de farinha mista extrudada referente aos ensaios 11 (A) e 12 (B), aumento de 500x.	78
<b>Figura 36</b>	Micrografias obtida por MEV de farinha mista extrudada referente aos ensaios 13 (A) e 14 (B), aumento de 500x.	78
<b>Figura 37</b>	Micrografias obtida por MEV de farinha mista extrudada referente aos ensaios 15 (A) e 16 (B), aumento de 500x.	79
<b>Figura 38</b>	Micrografias obtida por MEV de farinha mista extrudada referente aos ensaios 17 (A) e 18 (B), aumento de 500x.	79
<b>Figura 39</b>	Micrografias obtida por MEV de farinha mista extrudada referente aos ensaios 19 (A) e 20 (B), aumento de 500x.	79
<b>Figura 40</b>	Difratogramas de farinha de arroz e farinhas mistas pré-gelatinizadas de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino	83
<b>Figura 41</b>	Efeito das variáveis quantitativas umidade (%) e CPS (%) no índice de solubilidade em água (%) das farinhas mistas extrudadas de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino.	88
<b>Figura 42</b>	Efeito das variáveis quantitativas temperatura (°C) e CPS (%) no índice de solubilidade em água (%) das farinhas mistas extrudadas de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino.	88
<b>Figura 43</b>	Efeito das variáveis quantitativas umidade (%) e temperatura (°C) no índice de solubilidade em água (%) das farinhas mistas extrudadas de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino.	89
<b>Figura 44</b>	Perfis viscoamilográficos de farinhas mistas extrudadas de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino (A) e de farinha de arroz branco polido crua (B).	96
<b>Figura 45</b>	Efeito das variáveis quantitativas temperatura (°C) e umidade (%) na viscosidade inicial a 25 °C (cP) das farinhas mistas extrudadas de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino.	100
<b>Figura 46</b>	Efeito das variáveis quantitativas umidade (%) e CPS (%) na viscosidade máxima a 95 °C (cP) das farinhas mistas extrudadas de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino.	104

<b>Figura 47</b>	Efeito das variáveis quantitativas temperatura (°C) e CPS (%) na viscosidade máxima a 95 °C (cP) das farinhas mistas extrudadas de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino.	105
<b>Figura 48</b>	Efeito das variáveis quantitativas temperatura (°C) e umidade (%) na viscosidade máxima a 95 °C (cP) das farinhas mistas extrudadas de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino.	105
<b>Figura 49</b>	Efeito das variáveis quantitativas umidade (%) e CPS (%) na viscosidade mínima a 95 °C (cP) das farinhas mistas extrudadas de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino.	108
<b>Figura 50</b>	Efeito das variáveis quantitativas temperatura (°C) e CPS (%) na viscosidade mínima a 95 °C (cP) das farinhas mistas extrudadas de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino.	109
<b>Figura 51</b>	Efeito das variáveis quantitativas temperatura (°C) e umidade (%) na viscosidade mínima a 95 °C (cP) das farinhas mistas extrudadas de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino.	109
<b>Figura 52</b>	Efeito das variáveis quantitativas umidade (%) e CPS (%) na viscosidade final a 25 °C (cP) das farinhas mistas extrudadas de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino.	113
<b>Figura 53</b>	Efeito das variáveis quantitativas temperatura (°C) e CPS (%) na viscosidade final a 25 °C (cP) das farinhas mistas extrudadas de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino.	114
<b>Figura 54</b>	Efeito das variáveis quantitativas temperatura (°C) e umidade (%) na viscosidade final a 25 °C (cP) das farinhas mistas extrudadas de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino.	114
<b>Figura 55</b>	Efeito das variáveis quantitativas umidade (%) e CPS (%) no <i>setback</i> (cP) das farinhas mistas extrudadas de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino.	118
<b>Figura 56</b>	Farinha mista pré-gelatinizada antes e após a reconstituição referente ao ensaio 05 (2 % concentrado proteico; 18 % umidade; 160 °C).	123
<b>Figura 57</b>	Farinha mista pré-gelatinizada antes e após a reconstituição referente ao ensaio 10 (7,36 % concentrado proteico; 20 % umidade; 140 °C).	123
<b>Figura 58</b>	Farinha mista pré-gelatinizada antes e após a reconstituição referente ao ensaio 19 (4 % concentrado proteico; 20 % umidade; 140 °C - Ponto central).	124
<b>Figura 59</b>	Perfil eletroforético das matérias-primas (farinha de arroz branco polido e concentrado proteico de soro de leite bovino - CPS) e farinhas pré-gelatinizadas de arroz e concentrado proteico do soro de leite (T <sub>3</sub> : 22 % U; 120 °C; 2 % CPS / T <sub>7</sub> : 22 % U; 160 °C; 2 % CPS/ T <sub>8</sub> : 22 % U; 160 °C; 6 % CPS/ T <sub>9</sub> : 20 % U; 140 °C; 0,64 % CPS/ T <sub>10</sub> : 20 % U; 140 °C; 7,36 % CPS/ T <sub>15</sub> : 20 % U; 140 °C; 4 % CPS).	132
<b>Figura 60</b>	Biscoito tipo <i>cookie</i> elaborado com a farinha mista pré-gelatinizada de arroz e concentrado proteico referente ao ensaio 8.	139
<b>Figura 61</b>	Biscoito tipo <i>cookie</i> elaborado com a farinha mista pré-gelatinizada de arroz e concentrado proteico referente ao ensaio 10.	140

<b>Figura 62</b>	Biscoito tipo <i>cookie</i> elaborado com a farinha mista pré-gelatinizada de arroz e concentrado proteico referente ao ensaio 16.	140
<b>Figura 63</b>	Distribuição de notas segundo a preferência dos julgadores para o atributo aspecto global de biscoitos tipo <i>cookie</i> à base de farinha mista extrudada de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino (1 = desgostei extremamente, 5 = não gostei nem desgostei, 9 = gostei extremamente).	144
<b>Figura 64</b>	Distribuição de notas segundo a preferência dos julgadores para o atributo sabor de biscoitos tipo <i>cookie</i> à base de farinha mista extrudada de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino (1 = desgostei extremamente, 5 = não gostei nem desgostei, 9 = gostei extremamente)	145
<b>Figura 65</b>	Distribuição de notas segundo a preferência dos julgadores para o atributo aroma de biscoitos tipo <i>cookie</i> à base de farinha mista extrudada de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino (1 = desgostei extremamente, 5 = não gostei nem desgostei, 9 = gostei extremamente).	145
<b>Figura 66</b>	Distribuição de notas segundo a preferência dos julgadores para o atributo cor de biscoitos tipo <i>cookie</i> à base de farinha mista extrudada de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino (1 = desgostei extremamente, 5 = não gostei nem desgostei, 9 = gostei extremamente).	146
<b>Figura 67</b>	Histograma de distribuição de porcentagens das notas atribuídas à aparência de mingaus à base de farinha mista extrudada de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino (1 = desgostei extremamente, 5 = não gostei nem desgostei, 9 = gostei extremamente).	154
<b>Figura 68</b>	Histograma de distribuição de porcentagens das notas atribuídas ao sabor de mingaus à base de farinha mista extrudada de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino (1 = desgostei extremamente, 5 = não gostei nem desgostei, 9 = gostei extremamente).	155
<b>Figura 69</b>	Histograma de distribuição de porcentagens das notas atribuídas à consistência de mingaus à base de farinha mista extrudada de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino (1 = desgostei extremamente, 5 = não gostei nem desgostei, 9 = gostei extremamente).	156

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>1</b>
1.1	Objetivo Geral	1
1.2	Objetivos Específicos	2
<b>2</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA</b>	<b>3</b>
2.1	Soro de Leite Bovino	3
2.1.1	Concentrado Proteico de Soro de Leite Bovino	6
2.1.2	Utilização do soro de leite bovino na fabricação de produtos	8
2.2	Arroz Branco ( <i>Oryza sativa</i> , L.)	10
2.3	A Tecnologia de Extrusão Termoplástica	13
2.3.1	O extrusor e suas características	14
<b>3</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b>	<b>17</b>
3.1	Obtenção das Matérias-Primas e Insumos	17
3.1.1	Arroz	17
3.1.1.1	Produção da farinha de arroz branco	17
3.1.2	Concentrado proteico de soro de leite bovino	17
3.1.3	Insumos	17
3.2	Delineamento experimental	17
3.3	Análises Estatísticas	21
3.4	Condicionamento das Matérias-Primas	21
3.5	Processo de Extrusão Termoplástica	22
3.5.1	Condições do processamento	22
3.5.2	Extrusão termoplástica	23

3.6	Caracterização Física das Matérias-Primas e Extrudados	26
3.6.1	Índice de expansão radial	26
3.6.2	Análise de cor	26
3.6.3	Avaliação por imagem dos extrudados expandidos	26
3.6.4	Densidade absoluta e volume total de poros	27
3.7	Caracterização das Propriedades de Microestrutura e Cristalinidade	28
3.7.1	Microscopia eletrônica de varredura	28
3.7.2	Difração de raios X	28
3.8	Características Tecnológicas Funcionais das Farinhas Mistas Extrudadas	28
3.8.1	Índice de solubilidade em água (ISA) e índice de absorção de água (IAA)	28
3.8.2	Propriedades viscoamilográficas	29
3.8.3	Teste de reconstituição	30
3.9	Caracterização Química das Matérias-Primas e Farinhas Mistas Pré-Gelatinizadas	31
3.9.1	Composição centesimal	31
3.9.2	Composição em minerais	31
3.9.3	Perfil de aminoácidos	32
3.9.4	Eletroforese	32
3.9.5	Determinação da atividade de água ( $A_w$ )	33
3.10	Caracterização Microbiológica das Matérias-Primas e Farinhas Mistas Pré-Gelatinizadas	33
3.11	Formulação de Biscoitos Tipo <i>Cookie</i> à Base de Farinha Mista Pré-Gelatinizada de Arroz e Concentrado Proteico de Soro de Leite Bovino	33
3.12	Avaliação tecnológica de biscoitos	34
3.12.1	Massa antes e após forneamento	34
3.12.2	Diâmetro e espessura	35

3.12.3	Fator de expansão	35
3.13	Cuidados Éticos para Avaliação Sensorial dos Produtos	35
3.14	Avaliação Sensorial de Biscoitos e Mingaus à Base de Farinha Mista Extrudada de Arroz e Concentrado Proteico de Soro de Leite Bovino	35
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	<b>37</b>
4.1	Caracterização Física das Matérias-Primas e Farinhas Mistadas Extrudadas de Arroz e Concentrado Proteico de Soro de Leite Bovino	37
4.1.1	Índice de expansão radial (IER) de extrudados de arroz e concentrado proteico	37
4.1.2	Análise de cor das farinhas mistadas pré-gelatinizadas e matérias-primas	43
4.1.2.1	Luminosidade	46
4.1.2.2	Cromaticidade a*	50
4.1.2.3	Cromaticidade b*	53
4.1.2.4	Cromaticidade C*	57
4.1.2.5	Ângulo hue	61
4.1.3	Caracterização visual dos extrudados expandidos de arroz e concentrado proteico	65
4.1.4	Densidade absoluta e volume total de poros de farinhas mistadas pré-gelatinizadas	68
4.2	Caracterização de Microestrutura e Cristalinidade	75
4.2.1	Microscopia eletrônica de varredura (MEV) das matérias-primas e farinhas mistadas extrudadas	75
4.2.2	Índice de cristalinidade de farinhas mistadas extrudadas	80
4.3	Características Tecnológicas Funcionais das Farinhas Mistadas Extrudadas	84
4.3.1	Índice de solubilidade em água (ISA)	84
4.3.2	Índice de absorção de água (IAA)	90
4.3.4	Propriedades viscoamilográficas de farinhas mistadas extrudadas	93

4.3.4.1	Perfil de viscosidade de pasta de farinhas mistas pré-gelatinizadas de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino	95
4.3.4.2	Viscosidade de pasta inicial a 25 °C	97
4.3.4.3	Viscosidade de pasta máxima a 95 °C	100
4.3.4.4	Viscosidade de pasta mínima a 95 °C	106
4.3.4.5	Viscosidade final a 25 °C	110
4.3.4.6	Tendência à retrogradação ou <i>setback</i>	115
4.3.5	Teste de reconstituição de farinhas mistas pré-gelatinizadas de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino	118
4.4	Caracterização Química das Matérias-Primas e Farinhas Mistas Pré-Gelatinizadas	124
4.4.1	Composição centesimal	124
4.4.2	Composição em minerais	125
4.4.3	Aminoácidos	127
4.4.4	Eletroforese	131
4.4.5	Atividade de água das matérias-primas e farinhas mistas extrudadas	133
4.5	Caracterização Microbiológica das Matérias-Primas e Farinhas Mistas Pré-Gelatinizadas	136
4.6	Avaliação Sensorial de Biscoitos Tipo <i>Cookie</i> Elaborados com Farinha Mista Extrudada de Arroz e Concentrado Proteico de Soro de Leite Bovino	139
4.7	Avaliação Tecnológica dos Biscoitos Tipo <i>Cookie</i>	148
4.8	Composição Centesimal dos Biscoitos Tipo <i>Cookie</i>	149
4.9	Avaliação Sensorial de Mingaus Elaborados com Farinha Mista Extrudada de Arroz e Concentrado Proteico de Soro de Leite Bovino	150
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES</b>	<b>159</b>
<b>6</b>	<b>SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS</b>	<b>161</b>
<b>7</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>162</b>



<b>ANEXOS</b>	182
<b>ANEXO 1.</b> Parecer do Comitê de Ética na Pesquisa da UFRRJ/ COMEP.	183
<b>ANEXO 2.</b> Termo de Consentimento Livre e Esclarecido - Biscoitos tipo <i>cookie</i> .	184
<b>ANEXO 3.</b> Termo de Consentimento Livre e Esclarecido - Mingaus de rápido preparo.	186
<b>ANEXO 4.</b> Ficha de avaliação da aceitabilidade de biscoitos.	188
<b>ANEXO 5.</b> Ficha de avaliação da aceitabilidade de mingaus.	189
<b>ANEXO 6.</b> Ficha técnica de controle de provadores.	190
<b>ANEXO 7.</b> Ficha técnica de avaliação de provadores - Biscoitos tipo <i>cookie</i> .	191
<b>ANEXO 8.</b> Ficha técnica de avaliação dos provadores - Mingaus de rápido preparo.	192

# 1 INTRODUÇÃO

A busca pela praticidade no preparo das refeições vem gerando na indústria a necessidade de uma crescente produção de alimentos de conveniência, tais como os produtos prontos, semiprontos e instantâneos. Neste contexto, a extrusão termoplástica tem se mostrado um processo industrial eficiente, uma vez que possibilita a produção de produtos expandidos e alimentos pré-cozidos como farinhas pré-gelatinizadas, proteínas vegetais texturizadas, massas alimentícias pré-cozidas e instantâneas, dentre outros, com boa qualidade sensorial e nutricional.

A extrusão é um processo tecnológico que promove modificações na estrutura dos materiais através da combinação da ação mecânica com a ação do calor e da pressão. Além de ser altamente versátil e garantir boa produtividade, não gera resíduos, promove a destruição de fatores antinutricionais e favorece o desenvolvimento industrial de produtos inovadores, sem a adição de conservantes.

O arroz é um dos cereais mais consumidos no mundo e constitui uma importante fonte energética na alimentação devido ao seu elevado teor de amido; também fornece quantidade significativa de proteínas, minerais e vitaminas, principalmente as que compõem o complexo B.

No Brasil, em geral, o consumo maior é de arroz polido, cujo processo de produção gera quantidade significativa de subprodutos, tais como os grãos quebrados ou quirera de arroz. Estes subprodutos apresentam baixo valor comercial e atualmente são utilizados como ingredientes em ração animal, cereais matinais e fórmulas infantis, dentre outros.

O soro de leite é o principal resíduo da indústria de laticínios, e, devido as propriedades funcionais e tecnológicas dos seus componentes proteicos, a sua utilização tanto na forma fluida como em pó é benéfica na elaboração de produtos alimentícios. Cabe ressaltar que o desenvolvimento dos processos de separação nos últimos anos possibilitou a obtenção de ingredientes alimentares com elevado valor proteico a partir do soro de leite bovino, como o concentrado proteico de soro de leite, por exemplo, que pode ter entre 25 e 90 % de proteínas.

Tendo em vista o acima exposto, a utilização da tecnologia de extrusão termoplástica para a obtenção de farinhas mistas pré-gelatinizadas à base de farinha de arroz e concentrado proteico de soro de leite, e a sua consequente utilização no desenvolvimento de biscoitos e mingaus de rápido preparo que apresentem boas características tecnológicas, nutricionais e sensoriais, pode contribuir para ampliar a oferta de alimentos de conveniência ou para fins especiais, além de constituir uma alternativa para aproveitamento destes subprodutos.

## 1.1 Objetivo Geral

Desenvolver e caracterizar farinhas mistas pré-gelatinizadas de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino, obtidas por extrusão termoplástica, visando a elaboração de produtos de conveniência, tais como biscoitos tipo *cookie* e mingaus de rápida dissolução.

## 1.2 Objetivos Específicos

- Determinar e avaliar as propriedades físico-químicas e as características microbiológicas das matérias-primas utilizadas;
- Obter farinhas mistas pré-gelatinizadas, à base de farinha de arroz polido e concentrado proteico de soro de leite, através do processo de extrusão;
- Analisar as propriedades químicas, físicas e microbiológicas das farinhas mistas pré-gelatinizadas;
- Analisar os efeitos dos parâmetros de extrusão nas propriedades funcionais, tecnológicas e reológicas das farinhas mistas pré-gelatinizadas;
- Avaliar a degradação dos componentes proteicos das farinhas pré-gelatinizadas selecionadas;
- Produzir biscoitos tipo *cookie* utilizando as farinhas mistas pré-gelatinizadas e avaliar as suas propriedades tecnológicas e nutricionais;
- Elaborar mingaus a partir das farinhas mistas pré-gelatinizadas;
- Avaliar sensorialmente os biscoitos e mingaus produzidos.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Soro de Leite Bovino

A fabricação de queijo, independente do sistema adotado, dá origem, inevitavelmente, a uma grande quantidade de soro (SCOTT, 1991).

O soro é designado como subproduto da fabricação de queijo, sendo considerado um resíduo de baixo valor comercial, utilizado na alimentação de animais ou descartado em efluentes sem ser submetido a nenhum tratamento (SISO, 1996; ANTUNES, 2004). E, segundo Antunes (2003), o soro de leite é muito poluidor devido a sua alta demanda biológica de oxigênio; cada 100 g de soro possui o poder poluente de uma pessoa, portanto, 1 tonelada equivaleria à poluição gerada por 10 000 indivíduos. Assim, o seu aproveitamento garante ganhos para o ambiente.

Os principais constituintes do soro são a água (93-94 %), a lactose (4,5-5,0 %), as proteínas solúveis (0,7-0,9 %) e os sais minerais (0,6-1,0%), mas há quantidades apreciáveis de outros componentes, como as vitaminas do complexo B (MORENO-INDIAS et al., 2009).

Scott (1989) define o soro como a fase aquosa, opaca e de coloração amarelada, obtido durante a produção de queijo ou caseína, como resultado da coagulação do leite por ácido ou enzimas proteolíticas.

Para Wong, Camirant e Pavlath (1996), dependendo da forma como a coagulação for realizada, o soro pode ser denominado ácido ou doce. Mulvihill e Donovan (1987) mencionam que o soro ácido é subproduto da fabricação de caseína alimentar ou queijo fresco, resultante da acidificação do leite com ação direta de ácido ou por produção de ácido pela fermentação láctica, enquanto o soro doce é obtido após a coagulação do leite com quimosina.

O método adotado para a coagulação do leite influencia na composição do soro. Sgarbieri (2004) destaca que o soro ácido contém, geralmente, maior teor de cinzas e menor teor de proteínas quando comparado ao soro doce e, ressalta ainda, que seu uso na alimentação humana é mais restrito, devido ao seu sabor ácido e alto teor salino. No Quadro 1 encontra-se a composição média dos soros de leite bovino *in natura* obtidos por ação enzimática e acidificação do leite.

Pintado, Macedo e Malcata (2001) também afirmam que a composição do soro de leite bovino depende de fatores como a composição do leite (raça, estágio de lactação, alimentação do animal, tipo de queijo), a proporção soro/leite e as práticas tecnológicas como temperatura e tempo de aquecimento, batelada versus processos contínuos, ultrafiltração. O tipo de queijo fabricado também altera a composição do soro.

**Quadro 1.** Composição do soro de leite doce e ácido *in natura*.

Composição (%)	Soro Doce	Soro Ácido
Proteínas	0,82	0,75
Lipídeos	0,07	0,03
Cinzas	0,53	0,69
Ácido Lático	0,15	0,55
Lactose	4,77	4,71
PH	6,30	4,60

Fonte: MORR e HÁ (1993), adaptado.

O soro de leite é um subproduto da indústria de laticínios com elevada qualidade nutricional, tendo em vista o índice de eficiência proteica e valor biológico das suas proteínas (ANTUNES, 2003; SWAISGOOD, 1996), que segundo Richards (2002), possui um dos mais altos índices em comparação a outras fontes, tais como ovos, leite, carne bovina, soja e caseína, como se observa na Tabela 1. Além, disso, as proteínas do soro constituem um conjunto heterogêneo de proteínas que representam 20 % do total da proteína láctea, e se tem descoberto que muitas delas apresentam funcionalidade fisiológica.

**Tabela 1.** Medições comparativas das proteínas.

Proteína	Valor biológico <sup>1</sup>	PER <sup>2</sup>
Soro de leite	104	3,6
Ovo	100	3,8
Caseína	77	2,9
Carne bovina	80	2,9
Soja	74	2,1
Trigo	54	1,5

<sup>1</sup>BV - Valor Biológico: porcentagem (%) do nitrogênio absorvido que está sendo usado para a formação de tecidos (calculado após uma medição da quantidade de nitrogênio que entra e sai do organismo).

<sup>2</sup>PER – Índice de Eficiência Proteica (Protein Efficiency Ratio), o ganho de peso em gramas por grama de consumo de proteínas.

Fonte: RENNER e RENZ-SHAVEN (1986).

O perfil de aminoácidos das proteínas do soro está intimamente relacionado a sua superioridade nutricional quando comparada a outras proteínas. A quantidade de aminoácidos essenciais presentes nas proteínas do soro é maior do que em quaisquer outras fontes e correspondem a 60 % do valor proteico total do soro, o qual contém níveis elevados de leucina e lisina em comparação ao isolado proteico de soja ou clara de ovo desidratada; ainda

constituem boa fonte de aminoácidos sulfurados como a cisteína e a metionina (RICHARDS, 2002).

De acordo com Sgarbieri (2004) as proteínas do soro apresentam quase todos os aminoácidos essenciais em excesso às recomendações, exceto os aminoácidos aromáticos, fenilalanina e tirosina, que não aparecem em excesso, mas atendem às recomendações para todas as idades, exceto pré-escolares. A Tabela 2 apresenta a composição de aminoácidos das proteínas do soro e outros produtos.

**Tabela 2.** Composição de aminoácidos essenciais dos produtos: concentrado proteico de soro de leite bovino (CPS), soro de leite e gelatina bovina, comparada aos padrões de referência da FAO/WHO (1990).

Aminoácidos (g.100 g <sup>-1</sup> de proteína)	Padrão FAO/WHO Pré-escolares	Padrão FAO/WHO Adultos	CPS <sup>1</sup>	Soro de Leite <sup>2</sup>	Gelatina <sup>3</sup>
Treonina	3,4	0,9	6,68	8,0	1,9 <sup>a</sup>
Metionina + Cistina	2,5	1,7	2,46	2,4*	**
Valina	3,5	1,3	5,42	6,8	2,3 <sup>a</sup>
Leucina	6,6	1,9	10,55	11,1	3,1 <sup>a</sup>
Isoleucina	2,8	1,3	5,69	6,8	1,5 <sup>a</sup>
Fenilalanina + Tirosina	6,3	1,9	3,14	3,8	2,5 <sup>a</sup>
Lisina	5,8	1,6	9,97	9,9	3,9 <sup>a</sup>
Histidina	1,9	1,6	5,54	**	0,8 <sup>b</sup>
Triptofano	1,1	0,5	**	2,1	**

\* Somente metionina. \*\*Aminoácido não detectado na análise.

a: Aminoácidos limitantes apenas para crianças; b: limitantes tanto para crianças como para adultos.

Fontes: <sup>1</sup>PACHECO et al. (2005); <sup>2</sup>RENNER e ABDEL-SALAM (1991); <sup>3</sup>ROMAN e SGARBIERI (2007); adaptados.

As proteínas do soro são altamente digeríveis e absorvidas rapidamente pelo organismo, estimulando a síntese proteica sanguínea e tecidual. Atribuem-se às proteínas do soro de leite possíveis atividades anticarcinogênica, hipocolesterolêmica, anti-inflamatória, de proteção e reparo das células entéricas, entre outras (McINTOSH et al., 1998). Estudos apontam ainda ação imunomoduladora (MORENO, 2002) e antiulcerogênica (ROSANELI, 2002).

Ziegler (2010) avaliou o efeito da suplementação com proteínas lácteas sobre pacientes com leucemia mielóide aguda (LMA) e na mucosite induzida por quimioterápicos em cobaias. No estudo da suplementação dietética em pacientes com LMA durante os primeiros 60 dias do tratamento quimioterápico, o autor relatou que a suplementação com o concentrado proteico de soro de leite bovino enriquecido com fator de crescimento e transformação beta (TGF-β) e lactoferrina promoveu melhora significativa no estado nutricional, evidenciada pelo desenvolvimento ponderal e medidas antropométricas. No que se refere ao modelo de mucosite desenvolvido em ratos Wistar, as proteínas do concentrado proteico de soro de leite mostraram-se mais eficientes do que a caseína na atenuação da

intensidade da mucosite gastrointestinal, em algumas porções avaliadas, e nos períodos mais críticos do desenvolvimento da mucosite, que foram após a 2ª e a 3ª dose do quimioterápico. O autor ainda ressalta que a utilização do concentrado proteico de soro de leite bovino na dieta por um período prévio à administração do quimioterápico influenciou positivamente na manutenção do peso dos animais.

As principais proteínas encontradas no soro são  $\alpha$ -lactoalbumina e  $\beta$ -lactoglobulina, que juntas representam 70 a 80 % das proteínas totais, e são os componentes de maior valor agregado por quilograma de soro (PEREA e UGALDE, 1996). Também são encontradas no soro a soralbumina, imunoglobulinas, proteoseptona, lactoferrina, transferrina e enzimas (REGESTER et al., 1996; McINTOSH et al., 1998; TSUDA e KAZUNORI, 2000).

Estas proteínas possuem elevado valor nutricional e demonstram boas propriedades fisiológicas e funcionais (BOUNOUS e GOLD, 1991; BOUNOUS et al., 1993). Cita-se, segundo Antunes (2003), que a  $\alpha$ -lactoalbumina tem a capacidade de formar espuma similar à da clara de ovo, e a lactoferrina e a lactoperoxidase apresentam propriedades bacteriostáticas. Chen (1995) menciona que as proteínas do soro possuem também boas características de solubilidade, dispersibilidade, opacidade, ligação e retenção de gordura, retenção de água, viscosidade, estabilidade térmica e formação de filmes, entre outras.

A  $\beta$ -lactoglobulina representa aproximadamente 50 % das proteínas do soro e é constituída por 162 aminoácidos (SGARBIERI, 1996), e é considerada um excelente agente de gelificação (GIRALDO-ZUÑIGA et al., 2002) e emulsificação (MACCRAE, LAW e LEAVER, 1999).

Segundo Hong e Creamer (2002), na sua forma nativa, a  $\beta$ -lactoglobulina possui duas ligações dissulfeto e um grupo tiol livre, que localiza-se na porção interior da estrutura proteica. Fox (2001) e Vasbinder, Alting e Kruif (2003) salientam que o tratamento térmico induz uma mudança na estrutura da  $\beta$ -lactoglobulina, que desencadeia a exposição do grupo tiol reativo. Os autores ainda mencionam que este grupo tiol pode formar ligações dissulfeto com outras proteínas que contêm cisteína ou com proteínas que possuem ligações dissulfeto. Segundo Morr e Há (1993), a formação de ligações dissulfeto intermoleculares é essencial para a formação de géis de proteínas do soro induzidos termicamente e para uma estrutura de espuma estável.

Maccrae, Law e Leaver (1999) afirmam que durante a homogeneização, a  $\beta$ -lactoglobulina se interpõe na interface óleo-água formando uma camada protetora. A sua desnaturação parcial, que ocorre quando esta fração proteica se localiza na interface, promove a exposição os grupos sulfidríla livres, que tornam-se reativos e interagem com os grupos sulfidríla livres inter ou intramoleculares.

### **2.1.1 Concentrado Proteico de Soro de Leite Bovino**

Diversos autores (SMITHERS et al., 1996; WONG, CAMIRANT e PAVLATH, 1996; BOUNOUS, 1997) destacam que o desenvolvimento da tecnologia de separação por membranas juntamente com as constantes descobertas da importância e da funcionalidade das proteínas do leite tanto na ciência e tecnologia de alimentos quanto na nutrição humana desencadearam o crescimento das pesquisas relacionadas a utilização destas proteínas.

Com a finalidade de agregar valor ao soro de leite, grande destaque tem sido dado aos processos que envolvem a separação por membranas, sendo quatro delas amplamente usadas: a osmose reversa, a nanofiltração, a ultrafiltração e a microfiltração (ROSENBERG, 1995; CHEANG e ZYDNEY, 2003); tais processos envolvem a passagem do soro fluido com seus componentes solúveis por uma membrana semipermeável.

Por meio de um gradiente de pressão através da membrana, as moléculas menores capazes de permeá-la são separadas. As partículas maiores não conseguem atravessar a membrana, sendo, portanto, continuamente concentradas, até que se alcance o fator de concentração pré-determinado. Com a utilização de membranas com diferentes tamanhos de poros ou valores de peso molecular de corte, é possível separar ou concentrar seletivamente os diversos componentes do soro. No processo de separação por membranas quase toda a proteína é retida, sendo que o seu teor no retentado aumenta com o fator de concentração (EL-GAZZAR e MARTH, 1991).

Roman e Sgarbieri (2005) mencionam que a vantagem das tecnologias de separação, em comparação com processos físico-químicos, é a de que a mesma é um processo termicamente suave e puramente mecânico, que permite a obtenção de proteínas na sua forma nativa, sem gerar impacto negativo nas propriedades funcionais e nutricionais, garantindo, assim, sua aplicação como ingrediente na indústria alimentícia.

Os concentrados proteicos de soro obtidos com utilização de tecnologias de membranas podem ser desidratados por dois processos: aspensão (“spray drying”) e liofilização. A secagem no “spray dryer” envolve a aspensão de soluções concentradas em fluxo de ar quente. Com o controle do tamanho das partículas, da temperatura e do fluxo do ar, é possível evaporar a água, ao mesmo tempo em que os sólidos ficam expostos à temperatura relativamente baixa. É o procedimento mais comum na fabricação de produtos de soro em pó. Na liofilização, a eliminação da água se processa por sublimação do gelo e assim, o produto a ser desidratado tem que se apresentar na forma congelada (- 40 a - 60 °C) (HUFFMAN, 1996).

Os concentrados proteicos de soro (CPSs) são produtos de soro contendo 25 a 90 % de proteína, mas suas composições variam muito, dependendo do método de manufatura. Os CPSs são reconhecidamente seguros para aplicações em produtos alimentícios e não há padrões de restrição de identidade (MORR e FOEGEDING, 1990).

Devido as suas excelentes propriedades funcionais e nutricionais e ao seu considerável potencial para mistura com vários produtos, podendo agir como substituinte de gordura, o concentrado proteico do soro possui diversas aplicações nas indústrias de panificação e lácteas, como por exemplo, em sorvetes, iogurtes, bebidas lácteas, manteigas, creme de leite, requeijão, entre outros (CALDAS, 2007; SILVA, 2004; ANTUNES, 2004; LÜBECK, 2005).

Recentemente, os CPSs vêm sendo aplicados em diversos produtos de panificação, especialmente devido às suas propriedades funcionais, que variam em função de seus componentes individuais e de suas condições de produção. Para aplicação em biscoitos, por exemplo, o concentrado proteico de soro de leite deve possuir boa capacidade emulsificante e gelificante e conferir sabor suave e levemente adocicado, originando compostos de aroma/sabor típicos, que surgem devido à reação da lactose presente em ingredientes do soro que reagem com as proteínas durante o forneamento.

No Quadro 2 estão apresentados alguns produtos do soro de leite e as suas respectivas aplicações.



**Quadro 2.** Produtos de soro de leite da Dairy Farmers of América, Inc\*.

<b>Produto</b>	<b>Descrição/ Aplicações</b>
Soro de leite em pó não higroscópico de classe "extra Grade" dos EUA	O soro de leite doce em pó tem baixo custo, não empedra, oferece excelente dispersão e densidade aparente reduzida das misturas secas. Excelente em produtos de panificação, biscoitos e salgadinhos, sorvetes, sobremesas congeladas e rações animais. Também disponível na versão kosher.
Concentrado de proteína de soro de leite 34	Concentrado de proteína de soro de leite com 34 % de proteína; excelente em preparações alimentícias, misturas secas preparadas, alimentos infantis, confeitos e produtos de panificação.
Concentrado proteico de Soro de leite 34 estável ao calor	Feito de soro de leite doce, usando os processos de ultrafiltração, evaporação e secagem por aspensão. É uma excelente fonte de proteínas para uso em bebidas, iogurtes e sorvetes.
Soro desmineralizado 70 - 90 %	O conteúdo mineral (resíduo mineral) pode ser reduzido para uma especificação entre 70 e 90 %. Então o fluido é seco por aspensão para produzir um pó branco-creme que não empedra. Usado em fórmulas infantis ou produtos dietéticos, nos quais é necessária pouca concentração de minerais.
Soro desmineralizado 50 % - Com certificado kosher	O conteúdo mineral (resíduo mineral) do soro de leite dos queijos mussarela e provolone é reduzido em cerca de 50 %. O fluido é seco por aspensão para produzir um pó creme que não empedra. Usado em misturas alimentícias, misturas secas preparadas, alimentos infantis, confeitos, panificação e produtos de sorvete. Pode substituir parcialmente o leite em pó desnatado.
Soro desmineralizado 25 % - Com certificado kosher	O conteúdo mineral (resíduo mineral) do soro de leite dos queijos mussarela e provolone é reduzido em cerca de 25 %. O fluido é seco por aspensão para produzir um pó branco-creme que não empedra. Usado em misturas alimentícias, misturas secas preparadas, alimentos infantis, confeitos, panificação e produtos de sorvete. Pode substituir parcialmente o leite em pó desnatado.

### **2.1.2 Utilização do soro de leite bovino na fabricação de produtos**

Os soros lácteos e os concentrados proteicos de soro podem ser adicionados como ingredientes opcionais em formulações de alimentos, o que possibilita a redução do custo total do produto, como também a melhoria da qualidade nutricional do mesmo, sobretudo no que se refere ao teor de proteína e cálcio (USDEC NEWS, 1999). Nos últimos anos, o uso do soro de leite em pó como ingrediente alimentício tem sido ampliado, e a sua aplicação em larga escala em produtos tradicionais, como pães, bolos, bolachas, biscoitos, bebidas, tortas e sobremesas, dentre outros, tem sido reportada (USDEC NEWS, 2003).

As proteínas do soro podem ser utilizadas para substituir clara de ovo, ovo inteiro e leite em pó desnatado em produtos de panificação, oferecendo vantagens econômicas, nutricionais e microbiológicas (USDEC NEWS, 2000).

Nikaedo, Amaral e Penna (2004) utilizaram concentrados proteicos de soro em sobremesas lácteas em substituição ao leite em pó. Os resultados descritos mostram que é viável utilizar este subproduto de forma satisfatória, tendo em vista que as sobremesas produzidas apresentaram menores teores de gordura e de sólidos totais, e maior teor de proteínas. Assim, os produtos apresentaram melhor qualidade nutricional, além de significativa redução calórica.

A pesquisa realizada por Davis (2004) mostrou o quanto as proteínas do soro têm efeito positivo, quando utilizadas em produtos à base de grãos. O resultado dessa combinação foi a obtenção de produtos ricos em fibras, com altos níveis de aminoácidos de cadeias ramificadas (leucina, isoleucina e valina), mantendo os níveis de antioxidantes no organismo, melhorando o funcionamento do sistema imunológico, e com excelente fonte de cálcio biodisponível.

Caldas (2007) utilizou soro de leite fluido para a elaboração de pão de forma, cuja formulação foi modificada pela substituição total da água por soro de leite fluido. Essa adição de soro resultou em um produto final com boa aceitação sensorial e contribuiu para a melhoria do valor nutricional, principalmente, em termos de cálcio e fósforo.

Conforti e Lupano (2004) observaram que a produção de biscoitos com adição de 5 % de concentrado de soro de leite 80 (80 % de proteína) levou a diminuição na firmeza e consistência da massa, bem como na tensão da textura dos biscoitos, além de gerar aumento na coesividade da massa, favorecendo a produção de um produto com boa qualidade. Já Azevedo (2007), na formulação de pão de forma convencional, utilizou diferentes concentrações de soro de leite em pó; os pães elaborados com 5 % de soro foram os que apresentaram melhor aceitação sensorial e propriedades tecnológicas. O uso de concentrado proteico contribuiu na melhoria nutricional do produto, em especial no que se refere ao teor de proteínas, cálcio e fósforo.

Sivieri e Oliveira (2002) desenvolveram bebidas lácteas de morango, usando soro de queijo minas frescal em concentrações que variaram de 12,01 % a 47,65 %, com baixo teor de gordura que apresentaram boas características sensoriais. Foi estabelecido, através do estudo das faixas de pH, do teor de acidez e de tirosina em função do tempo de armazenamento, 28 dias como o tempo ideal de vida-de-prateleira das bebidas elaboradas. No estudo conduzido por Castro et al. (2002) iogurtes probióticos de baixa caloria foram elaborados com concentrados proteicos contendo 35 e 80 % de proteínas sem prejuízos nas suas características físico-químicas e microbiológicas.

Santos et al. (2006) produziram bebidas lácteas fermentadas com polpa de umbu com 20, 40 e 60 % de soro e observaram que não houve diferença estatística entre as formulações no teste de aceitação. Já no estudo sobre a influência da concentração do soro na aceitação de bebida láctea fermentada com polpa de manga, Santos et al. (2008) substituíram o leite por soro de queijo desengordurado nas seguintes proporções: 20, 40, 60 e 80 %. Os autores verificaram que a bebida láctea elaborada com 40 % de soro obteve a melhor aceitação, com escore médio de 7,8 (gostei muito), e os provadores que participaram deste estudo relataram que esta formulação apresentou a melhor consistência quando comparada às demais, não sendo nem muito nem pouco viscosa, com homogeneidade e sabor agradável, o que foi atribuído ao gel proteico de caseína formado. Foi relatado que altos níveis de substituição podem levar à instabilidade e precipitação proteica, causando a presença de grumos indesejáveis no produto.

## 2.2 Arroz Branco (*Oryza sativa*, L.)

O arroz polido é obtido após diversas etapas, sendo as mais importantes, as seguintes: descascamento, brunimento e polimento. Através da descascagem separa-se a casca da cariopse obtendo-se o arroz integral e, após a separação da casca do restante do grão, inicia-se o polimento. Segundo Kennedy, Burlingame e Nguyen (2002), nesta última fase do processo separa-se o farelo do grão propriamente dito através de uma série de cilindros, provocando a separação do germe e das camadas exteriores por abrasão, obtendo-se assim, o arroz branco.

O polimento melhora o sabor e a aparência do arroz, entretanto, por promover a perda das camadas de pericarpo, aleurona, subaleurona, embrião e pequena parte do endosperma. Também leva a perdas nutricionais, principalmente, vitaminas do complexo B, minerais e fibras alimentares.

O arroz é constituído principalmente por amido, apresentando quantidades menores de proteínas, lipídeos, fibras, açúcares livres e cinzas. Entretanto, a distribuição dos nutrientes não se dá de forma uniforme nas diferentes frações do grão. As camadas externas apresentam maiores concentrações de proteínas, lipídeos, fibras, minerais e vitaminas. Assim, o polimento resulta em redução no teor dos nutrientes, exceto de amido, originando as diferenças entre o arroz integral e o polido, como se observa no Quadro 3.

**Quadro 3.** Composição do grão de arroz integral e polido (em 100 g).

Componentes (g/%)	Arroz	
	Integral	Polido
Água	10,37	11,62
Proteínas	7,94	7,13
Lipídeos	2,92	0,66
Carboidratos	77,24	79,95
Fibra dietética total	3,50	1,30
Cinzas	1,53	0,64
Ácidos graxos, total saturados	0,58	0,18
Ácidos graxos, total monoinsaturados	1,06	0,21
Ácidos graxos, total poliinsaturados	1,04	0,18

Fonte: United States Department of Agriculture (USDA), 2001.

O amido é um homopolissacarídeo composto por cadeias de amilose e amilopectina. A amilose é uma mistura de moléculas lineares e ligeiramente ramificadas com peso molecular (PM) de aproximadamente  $1 \times 10^5 - 1 \times 10^6 \text{ g.mol}^{-1}$ , já a amilopectina possui estrutura altamente ramificada constituída por cerca de 95 % de ligações  $\alpha-1,4$  e 5 % de ligações  $\alpha-1,6$ , além de ser uma molécula muito maior, com PM de  $1 \times 10^7 - 1 \times 10^9 \text{ g.mol}^{-1}$  (CAI et al., 2010).

Segundo Juliano (1996), as proporções em que estas cadeias estão presentes diferem entre genótipos, podendo-se classificar os grãos como ceroso (1-2 % de amilose), conteúdo de amilose muito baixo (2-12 %), baixo (12-20 %), intermediário (20-25 %) e alto (25-33 %). O

conteúdo de amilose é considerado um dos principais parâmetros para a qualidade tecnológica e de consumo do arroz.

Frei et al. (2003) avaliaram o teor de amido em arroz integral de diferentes cultivares e observou que a concentração deste componente no arroz pode variar devido a fatores genéticos e ambientais.

O conteúdo de proteínas no arroz é considerado baixo, em média 7 %, como pode se observar no Quadro 3. As proteínas presentes no arroz são albumina, globulina, prolamina e glutelina, que estão organizadas em dois tipos de corpos proteicos presentes no endosperma do grão. Os corpos proteicos I são grandes estruturas esféricas, com anéis concêntricos, ricos em prolamina, enquanto os corpos proteicos II não apresentam a estrutura em anéis, e são ricos em glutelina e globulina, conforme descrevem Zhou et al. (2002).

A composição proteica do endosperma e do farelo de arroz são diferentes. Juliano (1996) cita que a glutelina é a principal fração presente no endosperma (80 %), seguida de albumina e globulina (15 %) e prolamina (5-8 %), no entanto, no farelo a albumina representa a fração predominante (60 %), e são encontrados menores teores de prolamina e glutelina (27%) e globulina (7 %). Com relação à qualidade proteica, este autor ainda cita que entre os cereais, o arroz apresenta um dos maiores conteúdos de lisina, o que resulta em um balanço de aminoácidos mais completo.

O conteúdo de lipídeos no arroz polido é baixo, em geral, inferior a 1 %, no entanto, o arroz integral pode conter até 3 %, visto que a maior parte dos lipídeos do grão encontram-se nas camadas periféricas, que são perdidas com o polimento (TAIRA, 1995).

É válido ressaltar que, apesar do baixo teor de gordura encontrado no arroz, a maior parte dos lipídeos é constituída por ácidos graxos insaturados, que possuem papel importante em diversos processos fisiológicos e que, por não serem sintetizados pelo organismo humano, devem ser supridos pela alimentação. De acordo com dados divulgados pela USDA (2001), o arroz branco polido, em média, contém 0,21 g de ácidos graxos monoinsaturados e 0,18 g de ácidos graxos polinsaturados.

Sgarbieri (1996) afirma que em relação às vitaminas presentes no arroz, destacam-se as do complexo B, tais como tiamina, riboflavina, niacina, ácido pantotênico, ácido fólico e biotina. E, para Dziezak (1991), o arroz também constitui boa fonte de minerais.

De acordo com Bryant et al. (2001), devido a propriedades como hipoalergenicidade, aroma/sabor suave e capacidade de carrear flavor, o arroz pode ser usado em produtos enriquecidos. Nesse sentido, o grão de arroz tem sido amplamente utilizado na elaboração de diferentes produtos industrializados.

Os grãos quebrados e a quirera, subprodutos do beneficiamento do arroz, possuem um baixo valor de mercado e constituem importante matéria-prima para a elaboração de uma série de produtos que podem ser desenvolvidos através do processo de extrusão, como constituinte principal ou ingrediente em formulações na elaboração de produtos para o consumo humano e animal (ASCHERI, 2000; BORGES, 2002 e SILVA, 2002).

Lima et al. (2000) determinaram a composição química e os valores de energia de subprodutos do beneficiamento do arroz (Tabela 3) e observaram que os teores de proteína bruta das quireras variaram de 7,70 a 8,72 %, indicando que houve segregação das partículas durante o processamento do arroz, entretanto pouca variação foi observada em relação ao teor de gordura e fibra bruta entre as quireras. Com relação ao valor energético, a quirera moída finamente (964 µm) apresentou valor 7 % maior do que as quireras média (1598 µm) e grossa (3197 µm). Os autores atribuíram a reduzida digestibilidade aparente apresentada pelos farelos de arroz integral e desengordurado aos elevados teores de fibra bruta presente nestes subprodutos. O aumento do valor de energia metabolizável do farelo de arroz integral ocorreu devido à presença do óleo (15,30 %), comparado ao farelo desengordurado, sendo similar àquele verificado com a adição de quirera de arroz ao farelo integral.

Analisando os dados dispostos na Tabela 3 com relação ao coeficiente de digestibilidade aparente da matéria seca, observa-se que apenas as quireras e o arroz vermelho apresentam valor superior a 95 %, com destaque para a quirera de arroz fina (99 %), que se apresentou como um subproduto com excelente potencial de utilização tanto para elaboração de produtos para consumo humano quanto para animais.

**Tabela 3.** Composição química e valores de subprodutos do beneficiamento do arroz.

	QAF	QAM	QAG	AV	FAI	FAD	FAIQ
Matéria Seca, %	86,68	86,20	86,32	85,80	87,24	90,68	86,14
CDAMS, %	99,04	95,84	97,66	97,39	61,52	56,93	83,82
Proteína bruta, %	7,71	8,04	8,72	8,61	11,54	15,33	7,40
Extrato etéreo, %	1,13	0,74	0,74	1,29	15,30	0,96	3,18
Fibra bruta, %	0,48	0,42	0,61	0,38	10,98	9,82	4,84
Cinza, %	0,53	0,43	0,53	0,55	8,96	10,43	2,52
Ca, %	0,01	0,01	0,01	0,01	0,03	0,11	0,03
P total, %	0,21	0,15	0,12	0,11	1,87	1,93	0,34
Cu, mg/kg	1,71	1,63	2,24	2,64	4,19	20,18	2,46
Fe, mg/kg	9,73	8,51	15,65	26,53	82,65	286,87	93,35
Mn, mg/kg	9,31	7,95	8,58	7,93	103,46	ND	36,58
Zn, mg/kg	16,18	15,67	17,05	18,33	53,89	73,74	35,42
Energia, kcal/kg							
Bruta	3711,00	3686,00	3687,00	3616,00	4425,00	3358,00	3664,00
Digestível	3693,00	3504,00	3523,00	3443,00	3040,00	2243,00	2969,00
Metabolizável	3644,00	3406,00	3404,00	3443,00	2989,00	2199,00	2942,00

CDAMS: Coeficiente de digestibilidade aparente da matéria seca.

QAF: Quirera de arroz fina; QAM: Quirera de arroz média; QAG: Quirera de arroz grossa.

AV: Arroz vermelho; FAI: Farelo de arroz integral; FAD: Farelo de arroz desengordurado.

FAIQ: Farelo de arroz integral com quirera.

ND = Não determinado.

Fonte: LIMA et al. (2000).

A farinha de arroz, por apresentar características especiais, como pequeno tamanho dos grânulos de amido, alta proporção de amidos facilmente digeríveis, ampla faixa de teor de amilose, textura suave com o cozimento e sabor brando, pode ser explorado na formulação de novos produtos, tais como alimentos infantis instantâneos, produtos cárneos, embutido, cereais matinais, macarrão, sobremesas, flans, dentre outros (BARBOSA et al., 2006; DORS, CASTIGLIONI e AUGUSTO-RUIZ, 2006; JULIANO e HICKS, 1996; NABESHIMA e EL-DASH, 2004; WANG et al., 1999).

### 2.3 A Tecnologia de Extrusão Termoplástica

A tecnologia de extrusão termoplástica originou-se da indústria de plásticos, e a sua aplicação em alimentos, provavelmente ocorreu pela primeira vez na fabricação de salsichas e carnes processadas, no século XIX (GONZÁLEZ, TORRES e DE GREEF, 2002). Rossen e Miller (1973) mencionam que no período de 1935 a 1940 a extrusão foi empregada na produção de massas alimentícias, entretanto, não havia cozimento e expansão do material. Entre o final da década de 30 e o início da década de 40 o processo de cozimento por extrusão teve o seu início, com a fabricação de *snacks*, farinhas pré-cozidas e amidos modificados (ASCHERI, 1994; RIBAS et al., 2000; FELLOWS, 2006).

A extrusão é definida por El-Dash (1982) como um processo contínuo e único através do qual o cisalhamento mecânico combinado com o calor é capaz de promover a gelatinização do amido e desnaturar complexos proteicos, possibilitando, a partir das modificações químicas que ocorrem, a obtenção de produtos com novas formas e texturas. Este processo envolve a combinação de várias operações unitárias, tais como mistura, cozimento, amassamento, cisalhamento, formação e moldagem, e por submeter o alimento a elevadas temperaturas por um curto período de tempo, é classificado como "HTST" (*High Temperature Short Time*) (FELLOWS, 2006). O termo termoplástico significa a capacidade de amolecer ou fundir um determinado material quando aquecido e endurecer novamente quando resfriado (GÓMEZ, 1997; GONZÁLEZ, TORRES e DE GREEF, 2002).

Segundo Colonna et al. (1987), a transformação do material submetido a extrusão termoplástica ocorre em três etapas distintas: a plastificação, em que o material sólido em estado nativo (grânulo ou pó) torna-se um líquido homogêneo pela fusão; a modelagem do material em estado fundido pela passagem através da matriz; e por fim, o cozimento e a texturização do produto.

Harper (1981), Arrage, Barbeau e Johnson (1992) e Ascheri (1997) citam uma série de benefícios da extrusão, sendo alguns deles a inativação de fatores antinutricionais, a gelatinização do amido, a desnaturação de enzimas responsáveis pela deterioração da qualidade de alimentos, a desnaturação de proteínas vegetais sem alterar a sua qualidade, a redução da carga microbiana e o aumento da vida de prateleira dos produtos.

Além disso, o processo por extrusão permite misturar diferentes farinhas de tubérculos, raízes, cereais, leguminosas e diversos subprodutos agroindustriais, produzindo alimentos tais como *snacks*, pellets, massas alimentícias e farinhas pré-gelatinizadas, sendo que estas podem ser adicionadas em bolos, biscoitos, barras de cereais, sopas, mingaus, molhos semiprocessados, petiscos e bebidas de fácil dissolução, conferindo ao produto final melhor valor nutricional, com custo de matéria-prima e de produção relativamente reduzidos, como menciona Moura (2012).

A extrusão apresenta-se como uma das tecnologias mais vantajosas para substituir o processo convencional de produção de farinhas pré-gelatinizadas, uma vez que a realização de pequenas modificações no extrusor (temperatura, pressão, diâmetro da matriz, geometria e rotação da(s) rosca(s), taxa de cisalhamento e velocidade de alimentação) e/ou nas características da matéria-prima utilizada (tipo de material, teor de umidade, estado físico, composição química, incluindo teores e tipos de amidos, relação entre amilose e amilopectina, e, pH do material) pode levar a alterações na qualidade do produto final (HARPER, 1981; EL-DASH, 1982; FELLOWS, 2006).

Os cereais mais usados no processo de extrusão termoplástica são: trigo, milho, arroz e derivados da batata como farinha e amido. Há outros cereais e materiais ricos em amido e de menor utilização que também são utilizados, sendo eles os seguintes: aveia, cevada, centeio, mandioca, sorgo, triticale, amaranto e quinoa (GUY, 2002).

Para Dziezak (1991) e Gómez (1997), a vantagem de usar arroz na elaboração de *snacks*, farinhas instantâneas e cereais matinais reside no fato de que o arroz não é alergênico, é livre de glúten e naturalmente apresenta baixo teor de sódio, é uma fonte importante de vitaminas e minerais e tem aproximadamente 7% de proteína de alta qualidade e somente traços de lipídios.

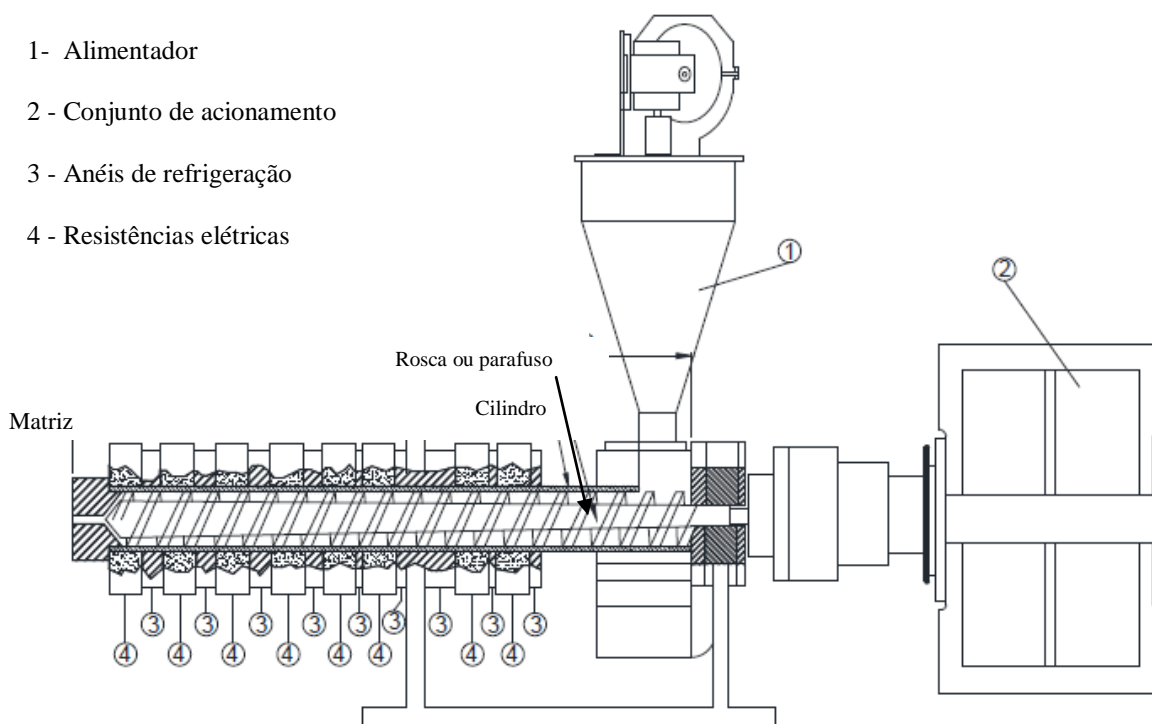
Ascheri (1997) e Chang et al. (2001) citam que no caso de proteínas texturizadas, são usadas como matérias-primas sementes de oleaginosas, girassol, leguminosas como feijão e soja, e alguns subprodutos agroindustriais tais como farelo de arroz, quirera de arroz, pedúnculos de caju, torta de soja, farelo de trigo, coprodutos da extração de oleaginosas, farinha de pescado e resíduos de frutos do mar.

### 2.3.1 O extrusor e suas características

Há vários modelos de extrusor, entretanto, os princípios de operação são similares em todos os tipos. A matéria-prima, adicionada de água, é homogeneizada e introduzida no alimentador, e a rosca transporta o material ao longo do canhão (SILVA, 2010).

Segundo El-Dash (1981) e Gutkoski (2000), o extrusor é constituído basicamente pelos elementos: sistema de alimentação, que tem a função de manter a alimentação constante e ininterrupta; rosca ou parafuso, que realiza o transporte da matéria-prima; cilindro encamisado, peça fundamental para controlar a temperatura do equipamento; matriz, responsável por modelar o produto e manter a pressão na zona de cocção; mecanismo de corte, constituído por lâminas horizontais ou verticais, que pode estar acoplado ou não à seção final do extrusor.

Na Figura 1 há a representação de um extrusor monorosca sem mecanismo de corte.



**Figura 1.** Desenho esquemático de um extrusor monorosca.

Fonte: Adaptado de SEBIO (1996).

Para El-Dash (1982) a primeira etapa do processo de extrusão denomina-se pré-extrusão. Esta fase inclui a preparação dos ingredientes e a sua mistura em proporção adequada.

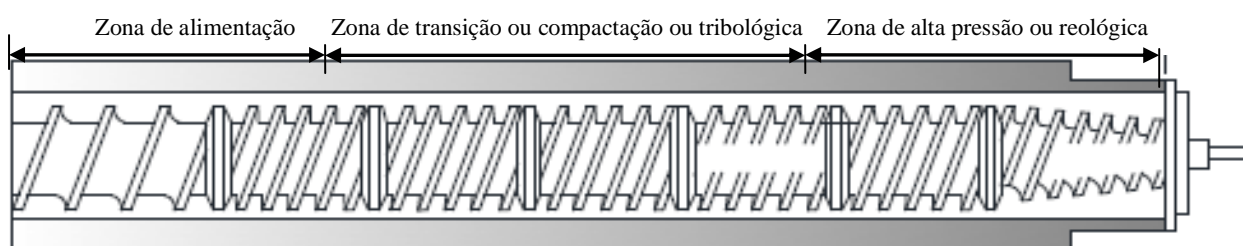
Guy (2001) enumera as etapas da extrusão termoplástica da seguinte forma: pré-condicionamento, extrusão e pós-extrusão. No pré-condicionamento é realizado o ajuste de umidade do material. A extrusão propriamente dita se caracteriza pela inserção da matéria-prima no equipamento, através do alimentador, e a modificação da mesma em relação as suas características físico-químicas e sensoriais que, segundo El-Dash (1982), acontecem devido ao aumento gradativo do atrito mecânico provocado por modificações da geometria do parafuso e abertura da matriz. E a pós-extrusão refere-se ao tratamento que o produto sofre após a extrusão, como o processo de secagem, por exemplo.

A seleção adequada da configuração do extrusor é primordial para que se utilize matérias-primas variadas e o produto final possua propriedades físicas, químicas e tecnológicas satisfatórias. Assim, fatores como o pré-condicionamento, a configuração dos parafusos, a temperatura do cilindro, a configuração da matriz e as condições de secagem (tempo e temperatura) precisam ser rigorosamente controlados.

Silva (2010) aponta o pré-condicionamento como uma etapa que exige cuidado e atenção, pois é durante o cozimento por extrusão que a água causará o intumescimento dos grânulos de amido e definir o ponto de cocção. Desta forma, sabendo-se que partículas menores são hidratadas mais facilmente do que partículas maiores, o que também altera a qualidade do produto, é válido atentar para a granulometria da matéria-prima e o tempo de condicionamento do material.

Gutkoski (2000) e Guy (2002) classificam o parafuso ou rosca, como a parte mais importante do extrusor, uma vez que o mesmo ajuda a regular o grau de cozimento, a gelatinização e a qualidade final do produto. Ele é responsável por misturar continuamente o material e o conduzir pelo cilindro, gerando fricção mecânica e calor, que ajudam a fundir o produto.

A Figura 2 apresenta claramente as principais seções do parafuso de um extrusor monorosca, que é, em geral, formada por três áreas distintas, sendo elas: zona de alimentação, zona de transição ou compactação ou tribológica e zona de alta pressão ou reológica.



**Figura 2.** Esquema das zonas do parafuso de um extrusor monorosca.  
Fonte: Adaptado de SILVA (2002).

Inicialmente, o material a ser extrudado entra na área de mistura, na qual, não ocorre cozimento. Nesta fase há mistura do material alimentado, que é comprimido para preencher os espaços que circundam o parafuso e conduzir uniformemente o material (FAUBION, HOSENEY e SEIB, 1982). Na zona de transição o material começa a ser compactado pelo aumento da compressão e a maior parte da energia mecânica é dissipada, levando ao aumento rápido da temperatura e desencadeando a transformação da massa da forma granular para a forma plástica contínua. Já na zona reológica, as variáveis temperatura, pressão e taxa de



cisalhamento atingem o máximo e o comportamento da massa é ditado pelas relações reológicas (ORTIZ, 2013).

Ascheri (2011) destaca que a alta velocidade no parafuso desencadeia elevação da taxa de cisalhamento, o que implica em maior grau de cozimento do material. Além disso, o referido autor ressalta que devido a alta velocidade, o tempo de resistência do material no extrusor diminui, devendo-se, portanto, observar os níveis ótimos deste parâmetro a fim de se conseguir a qualidade desejada no produto final.

A temperatura do cilindro é um fator que requer monitoramento preciso. O excesso de calor juntamente com outros fatores de processamento, degradam a matéria-prima a compostos de menor massa molar, como os polímeros livres, amido dextrinizado, oligossacarídeos e açúcares simples. O uso de temperaturas muito altas provoca alto grau de cozimento e o produto na saída da matriz pode mostrar sinais de expansão. Neste caso, cada zona do barril deve ser monitorada de tal forma que ao atingir a temperatura requerida, e por efeito da fricção produzir mais calor, as zonas deverão ser resfriadas até controlar o excesso de calor, mantendo a homogeneidade da temperatura e do processo e conseqüentemente do produto final (ASCHERI, 2011).

## **3 MATERIAL E MÉTODOS**

O experimento foi realizado nos laboratórios de Moagem, Reologia, Físico-Química, Microbiologia e na Planta de Extrusão, da Embrapa (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária) Agroindústria de Alimentos, localizada em Guaratiba, no município do Rio de Janeiro/ RJ, assim como no laboratório de Técnica Dietética, localizado no Instituto de Ciências Humanas e Sociais da UFRRJ.

### **3.1 Obtenção das Matérias-Primas e Insumos**

#### **3.1.1 Arroz**

O arroz branco polido (*Oryza sativa*, L.) foi adquirido no comércio local da cidade do Rio de Janeiro, em sacos de 5 Kg, mantido à temperatura ambiente até o processo de moagem.

##### **3.1.1.1 Produção da farinha de arroz branco**

Os grãos de arroz foram moídos em moinho de disco Laboratory Mill 3600 (Perten Instruments, modelo 3600, Kungens Kurva, Suécia), usando-se abertura no nível 1 do equipamento, obtendo-se então a farinha de arroz branco.

#### **3.1.2 Concentrado proteico de soro de leite bovino**

O concentrado proteico de soro de leite bovino em pó foi doado pela empresa Alibra Ingredientes Ltda (Campinas, SP).

#### **3.1.3 Insumos**

Os ingredientes necessários para a elaboração dos produtos, tais como amido de milho, açúcar, essência de baunilha e coco, gordura vegetal, fermento biológico e sal, dentre outros, foram adquiridos no comércio local da cidade do Rio de Janeiro.

### **3.2 Delineamento Experimental**

Foram consideradas as variáveis independentes: proporção de concentrado proteico de soro de leite (CPS) e da farinha de arroz branco (FA), umidade da mistura (CPS:FA) e temperatura da terceira zona de aquecimento do extrusor.

Para analisar o efeito combinado dessas variáveis nas características tecnológicas dos extrudados, nas propriedades físicas e nos parâmetros de extrusão, estabeleceu-se um experimento estatisticamente delineado em metodologia de superfície de resposta do tipo central composto rotacional de 2ª ordem (BOX, HUNTER e HUNTER, 1978).

Os parâmetros do processo estabelecidos como variáveis independentes foram estudados em três níveis codificados em (-1, 0, +1) calculados de acordo com a equação 1:

$$x_i = \left( \frac{X_i - Z}{\Delta X_i} \right) \quad (1)$$

Onde:

**$x_i$**  = valor codificado da variável  $X_i$

**$X_i$**  = valor real da variável

**$Z$**  = valor real da variável no ponto central

**$\Delta X_i$**  = valor do intervalo de variação do  $x_i$

O delineamento apresentou dois níveis de variáveis axiais, codificados como  $-\alpha$  e  $+\alpha$ . O valor de  $\alpha$  depende da função ( $F = 2^k$ ) do número de variáveis independentes ( $k = 3$ ), no caso deste experimento, sendo o valor definido pela equação abaixo:

$$\alpha = (F)^{1/4} = (2^k)^{1/4} = (2^3)^{1/4} = 1,682 \quad (2)$$

A escolha do número de ensaios em um experimento central composto baseado em um experimento fatorial completo é dada pela seguinte expressão:  $n = 2^k + 2k + m$ , onde:

**$2^k$**  = número de pontos fatoriais

**$2k$**  = número de pontos axiais (de estrela)

**$m$**  = número de replicações do ponto central

Assim, as unidades experimentais estudadas ficaram distribuídas da seguinte forma:

$2^k = 2^3 = 8$  pontos fatoriais

$2k = 2 \times 3 = 6$  pontos axiais

$m = 6$  replicações do ponto central

Totalizando, portanto, 20 unidades experimentais.

Os valores máximos e mínimos de cada variável independente foram estabelecidos dentro das possibilidades operacionais do processo de extrusão e com base em estudos anteriores.

Para análise de resultados experimentais, a metodologia descreve o comportamento de um sistema no qual estão combinadas as variáveis independentes ( $X_k$ ), a variável dependente ou resposta ( $Y_i$ ). A resposta é uma função dos níveis nos quais estes fatores foram combinados e definidos por Box e Draper (1967) como se segue na equação abaixo:

$$Y_i = F (X_1, X_2, \dots, X_k) \quad (3)$$

Através de uma análise de regressão, pode ser ajustado para cada resposta (Y) um polinômio de segunda ordem como as variáveis explicativas ( $X_k$ ). A expressão geral utilizada para prever o comportamento de cada resposta avaliada pode ser escrita da seguinte forma:

$$Y_i = \left( \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_{11} X_1^2 + \beta_{22} X_2^2 + \beta_{33} X_3^2 + \beta_{12} X_1 X_2 + \varepsilon \right) \quad (4)$$

Onde:

$Y_i$  = função resposta;

$X_1, X_2, X_3$  = valores das variáveis independentes;

$\beta_0$  = coeficiente relativo à interpretação do plano com o eixo resposta;

$\beta_1, \beta_2, \beta_3$  = coeficientes lineares estimados pelo método dos mínimos quadrados;

$\beta_{11}, \beta_{22}, \beta_{33}$  = coeficientes das variáveis quadráticas;

$\beta_{12}, \beta_{13}, \beta_{23}$  = coeficientes de interação entre as variáveis independentes;

$\varepsilon$  = erro experimental.

Tanto os níveis codificados quanto os axiais e os fatores têm seus valores reais apresentados na Tabela 4 e o delineamento experimental completo na Tabela 5. As faixas entre o limite inferior e o superior, para cada variável, foram determinadas com base em dados da literatura, e, considerando também, as condições operacionais do extrusor utilizado.

**Tabela 4.** Níveis das variáveis independentes estudadas no processo de extrusão.

Variáveis	Níveis				
	- $\alpha$ = 1,682	- 1	0	+ 1	+ $\alpha$ = 1,682
$X_1$	0,64	2,0	4,0	6,0	7,36
$X_2$	16,64	18,0	20,0	22,0	23,36
$X_3$	106,36	120,0	140,0	160,0	173,64

$X_1$  = Formulação: (%) concentrado proteico de soro de leite na mistura com arroz polido.

$X_2$  = Umidade da mistura no processamento (%).

$X_3$  = Temperatura ( $^{\circ}$ C) da terceira zona de aquecimento do extrusor.

**Tabela 5.** Delineamento completo do desenho experimental.

Ensaio	Níveis codificados e reais das variáveis		
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>
01	- 1 (2,0)	- 1 (18,0)	- 1 (120,0)
02	+ 1 (6,0)	- 1 (18,0)	- 1 (120,0)
03	- 1 (2,0)	+ 1 (22,0)	- 1 (120,0)
04	+ 1 (6,0)	+ 1 (22,0)	- 1 (120,0)
05	- 1 (2,0)	- 1 (18,0)	+ 1 (160,0)
06	+ 1 (6,0)	- 1 (18,0)	+ 1 (160,0)
07	- 1 (2,0)	+ 1 (22,0)	+ 1 (160,0)
08	+ 1 (6,0)	+ 1 (22,0)	+ 1 (160,0)
09	- 1,682 (0,64)	0 (20,0)	0 (140,0)
10	1,682 (7,36)	0 (20,0)	0 (140,0)
11	0 (4,0)	- 1,682 (16,64)	0 (140,0)
12	0 (4,0)	1,682 (23,36)	0 (140,0)
13	0 (4,0)	0 (20,0)	- 1,682 (106,36)
14	0 (4,0)	0 (20,0)	1,682 (173,64)
15	0 (4,0)	0 (20,0)	0 (140,0)
16	0 (4,0)	0 (20,0)	0 (140,0)
17	0 (4,0)	0 (20,0)	0 (140,0)
18	0 (4,0)	0 (20,0)	0 (140,0)
19	0 (4,0)	0 (20,0)	0 (140,0)
20	0 (4,0)	0 (20,0)	0 (140,0)

X<sub>1</sub>= Formulação: (%) concentrado proteico de soro de leite na mistura com arroz polido.

X<sub>2</sub>= Umidade da mistura no processamento (%).

X<sub>3</sub>= Temperatura (°C) da última zona de aquecimento da extrusora Brabender.

### 3.3 Análises Estatísticas

O ajuste dos dados experimentais ao modelo utilizado foi testado pela análise de variância (ANOVA) a partir do uso do teste de distribuição F a 5 % de probabilidade segundo o qual, um modelo de regressão é significativo quando o valor do teste F calculado é maior ou igual ao do teste F tabelado e, quanto maior o teste F calculado, mais preditivo é o modelo (BOX e WETZ, 1973).

A adequação do modelo polinomial foi avaliada comparando-se a proporção da variação explicada ( $R^2$ ) e pelo método de seleção para frente (*forward selection*) até que o valor das somas dos quadrados do erro (SSE) não varie ou até completar os coeficientes do modelo proposto.

O processamento dos dados e a análise estatística foram realizados com auxílio do programa computacional *Statistica*, versão 6.0 (STATSOFT INC., 2001), com as variáveis independentes codificadas.

Os gráficos de superfície de resposta foram desenhados, com auxílio do programa *Statistica*, versão 6.0, por meio do modelo matemático proposto nos níveis reais das variáveis, mantendo-se a resposta em função do eixo Z, com eixos X e Y representando as variáveis independentes, ao mesmo tempo em que as demais variáveis foram mantidas constantes no ponto central (correspondente ao nível codificado 0).

Para a análise de regressão do modelo quadrático de variáveis independentes, utilizou-se a equação 5 para a elaboração dos gráficos bidimensionais.

$$Y_i = \beta_0 + \beta_n^n (X - Z / \Delta x_i + \varepsilon) \quad (5)$$

Onde:

$Y_i$  = função resposta

$\beta_0$  = coeficiente relativo à interpretação do plano com o eixo resposta

$\beta_n^n$  = coeficiente linear, quadrático ou de interação, estimado pelo método dos mínimos quadrados

$X$  = valor decodificado da variável

$Z$  = valor real da variável no ponto central

$\Delta x_i$  = valor de intervalo de variação absoluto entre o ponto central e  $\pm 1$

$\varepsilon$  = erro experimental

Para as variáveis resposta que não geraram modelo preditivo e nem tendência, isto é, quando o valor do coeficiente de regressão ( $R^2$ ) foi inferior a 0,70, os resultados foram discutidos através de comparação de médias analisadas pelo teste de Tukey (GOMES, 2000), utilizando o programa *Xlstat*, versão 7.5.

### 3.4 Condicionamento das Matérias-Primas

As misturas de farinha de arroz branco polido e concentrado proteico de soro de leite bovino foram condicionadas para os diferentes níveis de umidade e formulação, conforme o delineamento experimental descrito na Tabela 5.

O teor de umidade inicial das farinhas mistas foi determinado por gravimetria através da dessecação do material a 105 °C até peso constante (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 1985).

Após a determinação da umidade das farinhas mistas, foi utilizada a equação a seguir para estabelecer a quantidade de água a ser adicionada às amostras, a fim de se alcançar os níveis de umidade estabelecidos para cada formulação.

$$Y = \left[ \frac{(U_f - U_i) \times P_a}{100 - U_f} \right] \quad (6)$$

Onde:

**Y** = quantidade de água potável a ser adicionada (mL)

**U<sub>f</sub>** = umidade final da amostra (%)

**U<sub>i</sub>** = umidade inicial da amostra (%)

**P<sub>a</sub>** = peso da amostra (g)

A água potável foi adicionada lentamente às amostras, e, em seguida, foi realizada a homogeneização das mesmas. Todas as amostras foram acondicionadas em sacos plásticos individuais e armazenadas sob refrigeração durante um tempo médio de 18 horas, para se obter distribuição e absorção mais uniforme da água. Após este período, as farinhas mistas foram submetidas ao processo de extrusão.

### 3.5 Processo de Extrusão Termoplástica

#### 3.5.1 Condições do processamento

A extrusão foi realizada na Planta Piloto IV (Cereais) da Embrapa Agroindústria de Alimentos, no Rio de Janeiro.

Para a elaboração dos extrudados de arroz e concentrado proteico de soro de leite utilizou-se um extrusor da marca Brabender, modelo 20DN, de parafuso único, equipado com resistências elétricas nas três zonas de aquecimento ao longo do cilindro controladas por termostato, um sistema de alimentação cônico de parafuso único com velocidade controlada em rpm e um registrador de pressão na saída da matriz (Duisburg, Alemanha) (Figura 3).

Os parâmetros constantes utilizados no processo de extrusão foram os seguintes: velocidade de rotação do parafuso - 140 rpm, taxa de compressão do parafuso de 2:1, taxa de alimentação de 2,0 Kg.h<sup>-1</sup> e matriz de saída circular de 3 mm de diâmetro.

A temperatura da zona 1 foi mantida fixa em 60 °C e a zona 2 teve sua temperatura sustentada durante todo o processo de extrusão em 80 °C, enquanto a temperatura da zona 3 variou conforme o delineamento experimental (Tabela 5).



**Figura 3.** Extrusor monorosca, marca Brabender, modelo 20 DN (Duisburg, Alemanha) utilizado para a produção dos extrudados expandidos de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino (Créditos: Carla da Silva Teba).

### 3.5.2 Extrusão termoplástica

O processo de extrusão de cada amostra, previamente condicionada como descrito anteriormente, foi iniciado após as três zonas do parafuso (alimentação, transição e alta pressão) alcançarem as temperaturas desejadas, além de a pressão estar estabilizada.

A mistura de cada amostra foi colocada no alimentador e a extrusão foi iniciada. Uma vez atingido o equilíbrio no processo, verificado no painel de controle das temperaturas delineadas, e através da observação da homogeneidade do material, o produto extrudado foi coletado e disposto em bandeja plástica, como mostra a figura abaixo.



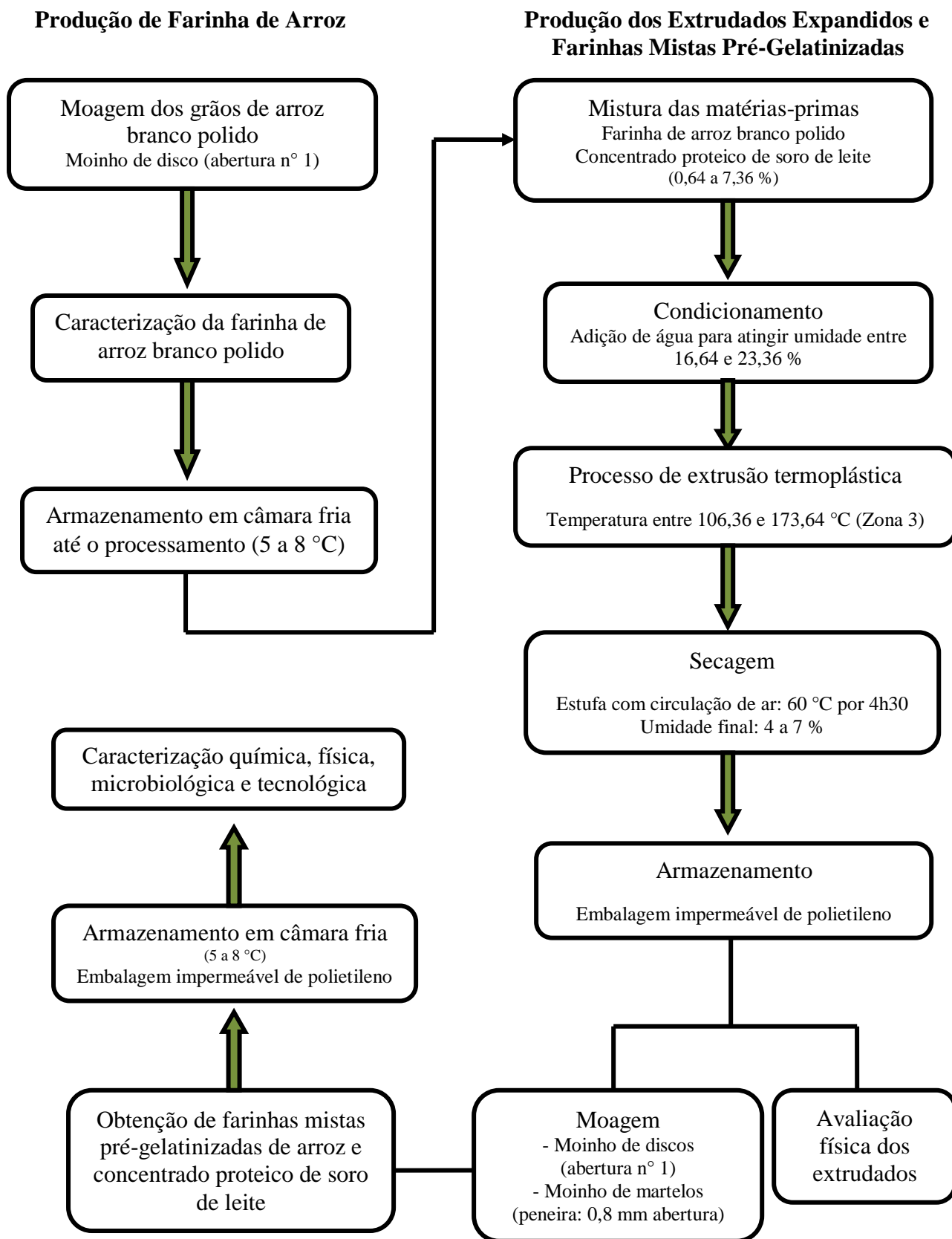


**Figura 4.** Extrudados expandidos de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino coletados durante o processo de extrusão termoplástica (Créditos: Carla da Silva Teba).

Logo após a extrusão de cada amostra, os respectivos extrudados foram encaminhados para secagem em estufa com circulação forçada de ar (Fabbe-Primar, São Paulo, SP, Brasil), com temperatura de 60 °C, durante 4h e 30 minutos, a fim de que a umidade final dos extrudados atingisse 4 a 7 %.

Após atingir temperatura ambiente, os extrudados foram armazenados em local fresco e seco em embalagens impermeáveis de polietileno até serem submetidos à avaliação física, assim como à moagem para obtenção das farinhas mistas pré-gelatinizadas. As farinhas mistas originadas foram armazenadas em câmara fria (5 a 8 °C) até a realização das análises químicas, físicas, microbiológicas e tecnológicas.

O fluxograma de obtenção dos extrudados de arroz e concentrado proteico de soro de leite e das suas respectivas farinhas mistas pré-gelatinizadas encontra-se na Figura 5.



**Figura 5.** Fluxograma de obtenção de extrudados e farinhas mistas pré-gelatinizadas (Créditos: Carla da Silva Teba).

## 3.6 Caracterização Física das Matérias-Primas e Extrudados

### 3.6.1 Índice de expansão radial

Para a determinação do índice de expansão radial (IER) as medidas dos diâmetros de cada extrudado foram efetuadas nas superfícies mais uniformes dos expandidos, com auxílio de um paquímetro analógico metálico, marca Vonder, 150 mm - 6" (São Paulo, SP, Brasil).

O valor considerado foi obtido através da média aritmética de 10 medidas para cada amostra estudada, segundo a metodologia proposta por Faubion et al. (1982) e calculado pela equação 7:

$$IER = \left[ \frac{\text{Diâmetro do extrudado (mm)}}{\text{Diâmetro da matriz (mm)}} \right]^2 \quad (7)$$

### 3.6.2 Análise de cor

A análise instrumental de cor foi realizada por reflectância no aparelho Color Quest XE (Hunter Assoc. Laboratory, VA, EUA), escala CIELAB e CIELCh, com abertura de 0,375mm de diâmetro, com iluminante D65 e um ângulo de detecção de 10°, nas farinhas de arroz polido, no concentrado proteico de soro de leite e nas farinhas mistas extrudadas. A leitura foi feita em cubeta de quartzo com caminho ótico de 2 cm, em quadruplicata, sendo realizada duas leituras intercaladas de cada lado da cubeta.

Os parâmetros de cor medidos foram:

- ✓ **L\*** = luminosidade (0 = preto e 100 = branco)
- ✓ **a\*** (- 80 até zero = verde, do zero ao + 100 = vermelho)
- ✓ **b\*** (- 100 até zero = azul, do zero ao + 70 = amarelo)
- ✓ **C\*** chroma=  $(a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$  em um sistema de coordenadas polares
- ✓ **h°** ângulo hue =  $\arctan(b^*/a^*)$  em um sistema de coordenadas polares

### 3.6.3 Avaliação por imagem dos extrudados expandidos

Para a avaliação da estrutura macroscópica, amostras de cada extrudado expandido foram cortadas radialmente, e a área cortada foi mergulhada em uma solução contendo gelatina (1 %), iodeto de potássio (2 %) e iodo (1 %).

A marcação foi realizada de modo que a estrutura interna dos extrudados ficasse colorida, permitindo, portanto, melhor visualização. Cabe salientar que a coloração obtida resulta da reação entre o amido presente nas amostras e o iodo.

As amostras pigmentadas foram visualizadas através de um scanner, conforme proposto por Tan, Gao e Hsieh (1994).

### 3.6.4 Densidade absoluta e volume total de poros

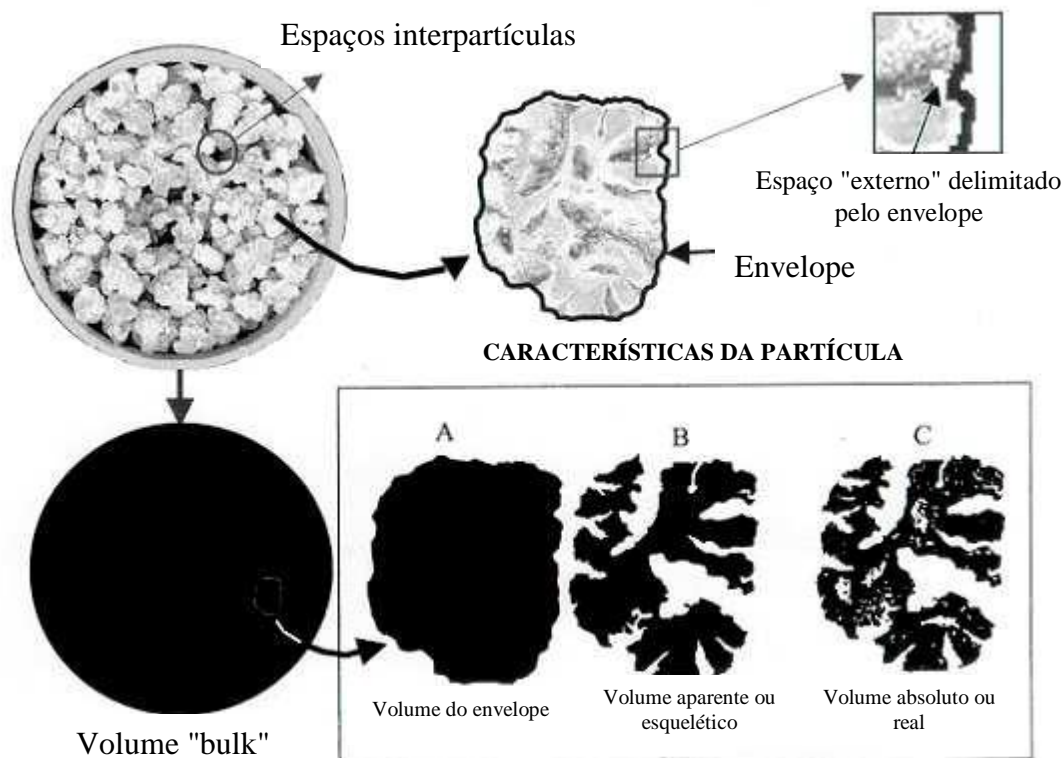
Para a realização da avaliação da densidade absoluta e do volume total de poros das matérias-primas (farinha de arroz branco polido e concentrado proteico de soro de leite bovino) e das farinhas mistas pré-gelatinizadas foi utilizado um picnômetro a gás (Micromeritics®, modelo Accu Pyc II – 1340, Austrália).

O picnômetro a gás determina o volume verdadeiro de um sólido, mesmo que poroso, por variação da pressão de gás numa câmara de volume conhecido (WEBB e ORR, 1997). Normalmente utiliza-se hélio porque este gás, além de inerte, penetra facilmente nos poros (acessíveis) da amostra, devido ao pequeno tamanho dos seus átomos, permitindo, assim, determinar o volume do sólido com mais rigor (MOURA E FIGUEIREDO, 2002).

Considerou-se que o volume absoluto do sólido é igual ao volume total (A) excluindo do volume de poros abertos e fechados (C). Para a medida do volume aparente, considerou-se o volume total da partícula excluindo os poros abertos, mas incluindo os poros fechados (B), como descrito por Webb (2001) e apresentado na Figura 6.

O gás hélio foi utilizado durante as análises, totalizando, para cada amostra, 10 purgas, a uma temperatura constante de 24-26 °C, com taxa de equilíbrio de 0,005 psig.min<sup>-1</sup>, com um valor máximo atingido em cada purga de até 19 psig.

O material foi pesado, colocado na câmara para realização das purgas e iniciadas as leituras; a análise foi conduzida em duplicata. A precisão adotada para os resultados experimentais foi de 0,01 %.



**Figura 6.** Representação esquemática dos tipos de volume.  
Fonte: Adaptado de WEBB (2001).

## 3.7 Caracterização das Propriedades de Microestrutura e Cristalinidade

### 3.7.1 Microscopia eletrônica de varredura

A análise da microestrutura das matérias-primas e das farinhas mistas pré-gelatinizadas foi realizada em um microscópio eletrônico de varredura (MEV), modelo TM 3000 Hitachi (Tóquio, Japão), acoplado com o sistema de energia dispersiva de raios-X Quanta EDS (Bruker, Karlsruhe, Alemanha), utilizando aumentos de 500x.

Uma pequena quantidade de amostra foi colocada sobre fita adesiva de carbono, aderida a um disco metálico e este levado ao MEV. As amostras assim preparadas foram observadas em microscópio.

### 3.7.2 Difração de raios X

A determinação do índice de cristalinidade foi realizada em um difrator de D2 Phaser (Bruker, Alemanha), operando com radiação de cobre ( $\lambda = 1,506$  ) a um tempo de varredura de 1 segundo, um passo de  $0,02^\circ$ , sendo alimentado com voltagem de 30 kV e corrente elétrica de 10 mA. Cada amostra foi colocada em um porta amostra de acrílico e a região de varredura do ângulo de difração foi de  $2^\circ < 2\theta < 32^\circ$ .

O Índice de Cristalinidade relativa (IC) foi quantitativamente estimado como proposto por Hayakawa et al. (1997), sendo, portanto, definido como a razão entre a área da região cristalina e a área total coberta pela curva, composta pela área da região cristalina e a área da região amorfa, conforme a Equação 8:

$$IC (\%) = \frac{A_c}{A_c + A_a} \quad (8)$$

Onde:

IC = Índice de cristalinidade

$A_c$  = área cristalina

$A_a$  = área amorfa no difratograma

## 3.8 Características Tecnológicas Funcionais das Farinhas Mistas Extrudadas

### 3.8.1 Índice de solubilidade em água (ISA) e índice de absorção de água (IAA)

As determinações dos índices de absorção de água e solubilidade em água foram realizadas segundo o método descrito por Anderson et al. (1969) modificado, em quadruplicata, para todos os tratamentos.

Para a realização destas análises, foi pesada cerca de 1 g de cada amostra, em base seca, e com granulometria entre 106 e 212  $\mu\text{m}$ , em tubos de centrífuga (Falcon), previamente tarados. Adicionaram-se 5 mL de água destilada e o material foi homogeneizado com bastão de vidro. Em seguida, acrescentou-se com pipeta volumétrica mais 5 mL de água destilada, e

a fim de garantir a homogeneização completa do material, realizou-se a agitação mecânica dos tubos em um agitador tipo Vortex (marca Geni 2, Scientific Industries), durante 15 seg.

Posteriormente, os tubos foram colocados em um agitador horizontal mecânico, da marca Eberback 625, tipo Shaker Bath (São Paulo, Brasil) por 30 minutos, a temperatura de 25°C. Após este período, o material foi centrifugado por 15 minutos sob rotação de 3500 rpm em centrífuga da marca Hermle, modelo Z383.

Os líquidos sobrenadantes obtidos após a centrifugação foram vertidos sobre placas de Petri previamente taradas, e submetidos à secagem em estufa com circulação de ar (Fabbe-Primar, modelo 170, São Paulo, Brasil), a 105 °C até peso constante. As placas foram transferidas para um dessecador, onde permaneceram por 30 minutos para atingir a temperatura ambiente, e, em seguida, foram pesadas. A equação 9 foi utilizada para o cálculo do índice de solubilidade em água.

$$ISA = \left[ \frac{\text{Peso do resíduo da evaporação (g)}}{\text{Peso da amostra (g)}} \right] \times 100 = \% \quad (9)$$

Após a retirada do líquido sobrenadante, os tubos de centrífuga contendo o resíduo da centrifugação foram pesados. O cálculo para o índice de absorção de água foi realizado de acordo com a equação adaptada por Hashimoto e Grossmann (2003), como segue abaixo:

$$IAA = \left[ \frac{\text{Peso do resíduo da centrifugação (g)}}{\text{Peso da amostra (g)}} \right] = \text{g gel / g matéria seca} \quad (10)$$

### 3.8.2 Propriedades viscoamilográficas

A viscosidade de pasta das amostras foi determinada com o uso do analisador rápido de viscosidade (Rapid Visco Analyser, modelo 960648 RVA-4D) da Newport Scientific Pty. Ltd (Namiewoad, Austrália) provido do software *Thermocline for Windows*, utilizando-se a metodologia específica (N.S., 1997), com adaptações. As análises foram realizadas em duplicata, para cada ensaio.

Para a determinação do perfil viscoamilográfico, as amostras extrudadas de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino e secas foram moídas em moinho de disco e peneiradas no agitador de peneiras RO-TAP, modelo RX-29-10. A fração retida entre as peneiras de 106 e 212 µm foi utilizada para esta análise, pois segundo Becker, Hill e Mitchell (2001) a diferença do tamanho de partículas entre as amostras pode ocasionar má interpretação dos resultados obtidos.

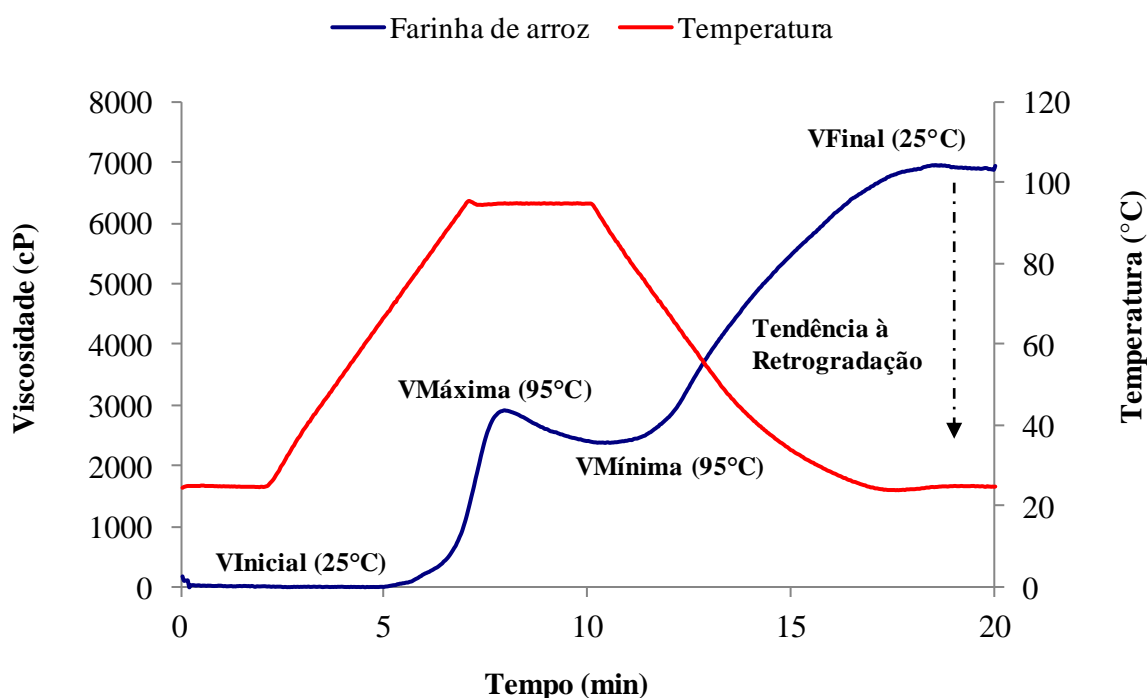
Foram utilizadas 3 g de farinha extrudada, com umidade corrigida para 14 %, em base úmida, e em seguida adicionou-se água destilada até a obtenção do peso final de 28 g, conforme metodologia descrita por Ascheri et al. (2006).

O perfil de análise utilizado foi “extrusion 3” se caracteriza do seguinte modo: manutenção inicial do sistema a 25 °C por 2 minutos (960 rpm por 16 segundos seguidos e 160rpm para o restante do teste), que se caracteriza pela manutenção inicial do sistema a 25 °C por 2 minutos (960 rpm por 16 segundos seguidos e 160 rpm para o restante do teste); o aquecimento ocorre em seguida e aos sete minutos a temperatura máxima é atingida (95 °C),

onde permanece durante 3 minutos. Em seguida o resfriamento é iniciado, até que se atinja a temperatura de 25 °C novamente, totalizando 20 minutos de análise.

Para interpretação dos amilogramas foram utilizados os seguintes parâmetros, como mostra a Figura 7:

- Viscosidade inicial ou viscosidade a frio (VInicial): é o valor da viscosidade em cP (Centipoise), na temperatura de 25 °C, no início do ciclo de aquecimento;
- Viscosidade máxima (VMáxima): é o valor da viscosidade no ponto máximo da curva, obtido durante o ciclo de aquecimento, expresso em cP;
- Viscosidade mínima após o ciclo de aquecimento a 95 °C (VMínima);
- Viscosidade final no ciclo de resfriamento (VFinal): é o valor da viscosidade em cP, ao final da análise (a 25 °C);
- Tendência à retrogradação (TR) ou “Setback”: é a diferença entre a viscosidade final e o menor valor de viscosidade durante a manutenção à 95 °C.



**Figura 7.** Perfil viscoamilográfico de farinha de arroz crua.

### 3.8.3 Teste de reconstituição

A determinação do tempo de reconstituição ou dissolução das farinhas mistas pré-gelatinizadas para escolha das melhores formulações para o preparo de mingaus foi realizada de acordo com a metodologia descrita por Omobuwajo, Busari e Osemwegie (2000), adaptada.

Para a realização desta técnica, 10 g de cada amostra foram dissolvidas em 50 mL de água destilada presente em um béquer de 250 mL, a temperatura ambiente (aproximadamente 30 °C) e agitada continuamente com auxílio de um bastão de vidro. As análises foram conduzidas em duplicata.

O tempo necessário para desintegrar e solubilizar completamente as amostras foi monitorado por meio de um cronômetro, e considerado como tempo de reconstituição, como descreve Omobuwajo, Busari e Osemwegie (2000).

Após 30 minutos de repouso as amostras foram observadas novamente, a fim de verificar possíveis transformações, tais como a separação de fases e a formação de grumos.

### **3.9 Caracterização Química das Matérias-Primas, Farinhas Mistas Pré-Gelatinizadas e Produtos**

#### **3.9.1 Composição centesimal**

As análises de composição centesimal foram realizadas em triplicata para as matérias-primas (farinha de arroz polido e concentrado proteico de soro de leite), farinhas mistas pré-gelatinizadas e biscoitos.

Foram realizadas as seguintes análises:

- Umidade (AOAC, 2005, método 934.01);
- Extrato etéreo (AOCS, 2009, método Am 5-04);
- Nitrogênio total (AACC, 1995, método 46-13), pelo método tradicional Kjeldahl, utilizando mistura de catalisador  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{CuSO}_4$  e Se. Para a titulação foi utilizado  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , na concentração de 0,1N;
- Cinzas (AOAC, 2005, método 923.03), com incineração em mufla a 550 °C;
- Fibra bruta (Silva e Queiroz, 2006).

Para o cálculo da proteína a partir do teor de nitrogênio total foram usados fatores de conversão da FAO/73 (GREENFIELD e SOUTHGATE, 1992), sendo 5,95 para o arroz e 6,38 para o concentrado proteico de soro de leite bovino e farinhas mistas extrudadas.

O valor calórico foi expresso em  $\text{Kcal.100g}^{-1}$  e foi calculado empregando-se os fatores de conversão de ATWATER, de 4  $\text{Kcal.g}^{-1}$  para proteína e carboidratos e de 9  $\text{Kcal.g}^{-1}$  para lipídeos (USDA, 2006).

#### **3.9.2 Composição em minerais**

Foram realizadas análises em duplicata para determinação do teor de cálcio, cobre, ferro, fósforo, magnésio, manganês, potássio, sódio e zinco, de acordo com a metodologia proposta pela AOAC (2005), método 990.08, item 9.2.39, nas matérias-primas e farinhas mistas pré-gelatinizadas, no Laboratório de Minerais da Embrapa Agroindústria de Alimentos.

A quantificação dos minerais foi realizada em espectrofotômetro de emissão de plasma ICP Spectroflama Flame (Alemanha), sendo a determinação feita por espectrometria de emissão atômica, após digestão completa da amostra em bloco digestor (método 975.03, item 3.2.05).



### 3.9.3 Perfil de aminoácidos

Foram realizadas as determinações de triptofano, glutamina, aspartato, serina, histidina, glicina, tirosina, alanina, tirosina, cisteína, valina, metionina, fenilalanina, isoleucina, leucina, lisina e prolina de acordo com a metodologia da AOAC (2005), método 994.12. A quantificação dos aminoácidos foi realizada em cromatógrafo líquido de alta eficiência (CLAE), modelo Alliance, marca Waters 2695, com detector de fluorescência modelo Alliance, Waters 2475 (EUA).

O escore dos aminoácidos essenciais (EAAE) foi calculado com base nos teores de aminoácidos, tomando-se como referência o padrão recomendado pela FAO/WHO para crianças de 2 a 5 anos, de 10 a 12 anos e adultos (1998).

O cálculo do escore e a interpretação dos resultados foram realizados de acordo com a metodologia descrita por Pires et al. (2006), descritos na equação 11:

$$EAAE = \left( \frac{\text{mg de aminoácido por g de proteína teste}}{\text{mg de aminoácido por g de proteína do padrão da FAO/WHO}} \right) \times 100 \quad (11)$$

### 3.9.4 Eletroforese

Para a realização desta análise, 20 mg de cada amostra foram diluídas em 1 mL de solução tampão (0,015 M de Tris HCl, 25 % de glicerol, 1 % SDS, 2,5 % de  $\beta$ -mercaptoetanol e 0,1 % de azul de bromofenol, pH 6,5).

Para a eletroforese das proteínas em gel de poliacrilamida na presença de dodecil sulfato de sódio (SDS/PAGE) utilizou-se cuba vertical (Mini Protein System, Bio Rad Laboratories, Califórnia, USA), espaçadores de 1 mm e, um sistema descontínuo composto por um gel de empacotamento (3,5 %) e um gel de separação (12 %), conforme descrito por Laemmli (1970).

O padrão de peso molecular utilizado foi o Natural Unstained Standards -Broad Range (Bio Rad) com faixa de peso molecular de 6.400 a 200.000 g.mol<sup>-1</sup>.

A eletroforese foi conduzida utilizando um tampão de corrida composto por Tris base (15 g.L<sup>-1</sup>), glicina (72 g.L<sup>-1</sup>) e SDS (5 g.L<sup>-1</sup>), pH 8,3. Todas as soluções foram preparadas utilizando água Milli-Q. O corante *Comassie Brilliant Blue* a 1 % foi utilizado na revelação em uma mistura de metanol (45 %), ácido acético glacial (10 %) e água destilada (45 %). A corrida foi realizada pelo período de 7 h sob uma tensão de 100 v.

Para a descoloração do gel preparou-se uma solução contendo metanol (50 %), ácido acético glacial (10 %) e água destilada (40 %) e, em seguida uma solução contendo ácido acético 7,5 %, por 3 horas.

A eletroforese em gel de poliacrilamida (SDS-PAGE) foi realizada com a finalidade de observar se o processo de extrusão termoplástica afeta as proteínas das farinhas mistas.

### **3.9.5 Determinação da atividade de água (Aw)**

A atividade de água das matérias-primas e das farinhas mistas extrudadas foi medida em aparelho AquaLab, modelo LITE, digital, com infravermelho (Decagon Devices Inc., Pullman, Washington). A análise foi realizada em triplicada para cada amostra estudada.

### **3.10 Caracterização Microbiológica das Matérias-Primas e Farinhas Mistas Pré-Gelatinizadas**

As análises microbiológicas da farinha de arroz polido, do concentrado proteico de soro de leite em pó e das farinhas mistas pré-gelatinizadas selecionadas foram realizadas pelo Laboratório de Microbiologia da Embrapa Agroindústria de Alimentos.

Para a farinha de arroz foram realizadas análises de coliformes a 35 °C e a 45 °C, bolores, leveduras, *Salmonella* sp. e *Bacillus cereus*. O concentrado proteico de soro de leite em pó foi submetido à contagem total de bactérias aeróbias mesófilas, bolores, leveduras, coliformes a 35 °C e a 45 °C e pesquisa de *Salmonella* sp, enquanto para as farinhas mistas pré-gelatinizadas utilizadas no preparo dos biscoitos e mingaus, foram analisados: coliformes a 45 °C, *Salmonella* sp., *Bacillus cereus* e Estafilococos coagulase positiva.

Foram adotadas as metodologias recomendadas pelo Órgão de Inspeção Sanitária Brasileiro (BRASIL, 2003) e Downes e Ito (2001).

### **3.11 Formulação de Biscoitos Tipo *Cookie* e Mingaus à Base de Farinha Mista Pré-gelatinizada de Arroz e Concentrado Proteico de Soro de Leite Bovino**

As condições para a produção de biscoitos e mingaus foram definidas após estudos preliminares realizados na planta piloto de cereais da Embrapa Agroindústria de Alimentos.

Para o preparo dos biscoitos tipo *cookie* à base de farinha mista pré-gelatinizada de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino foram utilizados os ingredientes listados no Quadro 4.

**Quadro 4.** Formulação para o preparo de *cookies*.

<b>Ingredientes</b>	<b>Quantidade</b>
Amido de milho	470 g
Farinha mista pré-gelatinizada (arroz/concentrado proteico de soro)	130 g
Açúcar	250 g
Gordura vegetal	120 g
Ovo batido	36 g
Essência de baunilha	12 mL
Bicarbonato de amônio	12 g
Bicarbonato de sódio	6 g
Ácido cítrico	0,6 g
Sal	0,6 g
Água filtrada	250 mL

Todos os ingredientes foram pesados em balança semianalítica CT4100 (Ohaus, Precision Advanced). A massa foi processada em batedeira planetária, modelo B05 (HMT Comercial Ltda, São Paulo, Brasil). Inicialmente foi realizada a mistura da gordura vegetal com ovo batido, açúcar e baunilha por cerca de três minutos em baixa velocidade. Depois acrescentou-se amido de milho, farinha mista pré-gelatinizada, sal, bicarbonato de sódio, bicarbonato de amônio e ácido cítrico, que foram misturados por dois minutos em baixa velocidade, seguida da adição gradual de água e a mistura da massa por dois minutos na velocidade baixa e três minutos na velocidade média. Após a adição de toda a água, a massa foi misturada por dois minutos na velocidade baixa e dividida em porções. A extensão da massa foi realizada com rolo de madeira e a mesma foi laminada na espessura de 5 mm e cortada em matriz de 30 mm de diâmetro.

Os biscoitos foram assados em forno elétrico, modelo FCDEMT5, da linha turbo ciclone da marca Venâncio (Rio Grande do Sul, Brasil), a 180 °C, por cerca de 12 minutos.

Para a formulação dos mingaus de rápido preparo, foi realizada a dissolução da farinha pré-gelatinizada juntamente com açúcar (5 %) e sal (0,2 %) em água aquecida; utilizou-se a proporção de 1:6 de farinha: água. Após a dissolução, adicionou-se 0,4 % de essência de coco.

### **3.12 Avaliação Tecnológica de Biscoitos**

#### **3.12.1 Massa antes e após forneamento**

Para a avaliação da perda de umidade dos biscoitos ocorrida durante o assamento, utilizaram-se vinte unidades de cada amostra de biscoito, que foram pesados em balança semianalítica CT4100 (Ohaus, Precision Advanced) antes e depois do forneamento.

### 3.12.2 Diâmetro e espessura

O diâmetro dos biscoitos foi determinado com régua de escala milimetrada, antes e após o forneamento, e a espessura foi medida com paquímetro, expressa em milímetros, antes e após o forneamento, de acordo com os procedimentos descritos no método 10-50D da AACC (1995). Foram utilizadas 10 unidades de biscoito de cada amostra para a realização destas análises.

### 3.12.3 Fator de expansão

O fator de expansão (FE) foi determinado pela razão entre os valores de diâmetro e espessura de 10 biscoitos de cada amostra após o forneamento; os biscoitos foram selecionados aleatoriamente (AACC, 1995).

$$FE = \frac{\text{Diâmetro do produto (mm)}}{\text{Espessura do produto (mm)}} \quad (12)$$

### 3.13 Cuidados Éticos para Avaliação Sensorial dos Produtos

A descrição metodológica referente à análise sensorial do presente estudo foi submetida e aprovada pelo Comitê de Ética na Pesquisa da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ)/ COMEP, sob protocolo de nº 252/2012 (ANEXO 1).

Todos os julgadores que participaram dos testes assinaram um Termo de Consentimento Livre Esclarecido (ANEXOS 2 e 3), elaborado de acordo com a Resolução nº 196/1996 do Conselho Nacional de Saúde.

### 3.14 Avaliação Sensorial de Biscoitos e Mingaus à Base de Farinha Mista Extrudada de Arroz e Concentrado Proteico de Soro de Leite Bovino

A avaliação sensorial dos biscoitos e mingaus foi realizada no Laboratório de Técnica Dietética da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, no Instituto de Ciências Humanas e Sociais, Seropédica - RJ.

Participaram do teste de aceitabilidade 100 provadores não treinados, de ambos os sexos. Para os biscoitos tipo *cookie*, foram avaliadas a impressão global ou aceitação global (que é traduzida pelo conjunto, relativa à primeira impressão causada pelo produto como um todo – aparência, cor, consistência, aroma), o sabor, o aroma, a cor, a textura e a intenção de compra, enquanto para os mingaus de rápido preparo, além da intenção de compra, avaliaram-se os seguintes atributos: aparência, sabor, consistência.

Para a avaliação da impressão global das amostras, sabor, aroma, cor, aparência e consistência foi utilizada uma escala hedônica estruturada de 9 pontos (9 = gostei extremamente, 5 = não gostei nem desgostei, 1 = desgostei extremamente), como proposto por Stone e Sidel (1985). Já para a intenção de compra foi utilizada escala estruturada de 5 pontos (5 = certamente compraria, 1 = certamente não compraria) (ANEXOS 4 e 5).

As amostras foram servidas em pratos descartáveis codificados com números em três dígitos, não repetitivos, e apresentados ao consumidor de forma balanceada e aleatória, sendo utilizada uma ficha de controle dos provadores (ANEXO 6). Junto às amostras foi oferecida água mineral à temperatura ambiente para a limpeza do palato, o termo de consentimento livre e esclarecido, as fichas de avaliação dos produtos e a ficha de identificação do participante (ANEXO 7 e 8).

Os dados referentes aos atributos avaliados no teste de aceitação e de comparação múltipla foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e para comparação entre as médias, foi utilizado o teste de Tukey, ao nível de significância de 5 % de probabilidade, utilizando o programa *Xlstat*, versão 7.5.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Caracterização Física das Matérias-Primas e Farinhas Mistas Extrudadas de Arroz e Concentrado Proteico de Soro de Leite Bovino

#### 4.1.1 Índice de expansão radial (IER) de extrudados de arroz e concentrado proteico

A expansão radial é uma importante característica de produtos extrudados que possibilita a avaliação imediata do quão severa ou branda foram as condições de processamento, assim como permite verificar se as matérias-primas utilizadas e as misturas realizadas geram produtos adequados em relação à textura, por exemplo. Capriles e Arêas (2012) afirmam que extrudados com grande expansão são mais crocantes.

A expansão ocorre como parte do cozimento provocado pela extrusão termoplástica. Durante o processo compartimentos de ar ou células de gás são gerados; alguns destes compartimentos são abertos, o que propicia o movimento livre do ar de uma célula para outra, em contrapartida, outros compartimentos são fechados, o que evita o movimento de ar entre os poros (ALI, HANNA e CHINNASWAMY, 1996). Segundo Alvarez-Martinez, Koundury e Harper (1988), a expansão de um extrudado está relacionada com a capacidade da estrutura do expandido em manter a integridade das bolhas no material fundido ao sair da matriz do extrusor sendo relacionado com a viscosidade do material fundido no interior do extrusor.

Os resultados do índice de expansão dos extrudados de arroz e concentrado proteico de soro de leite podem ser observados na Tabela 6.

De acordo com a análise de variância (ANOVA) dos resultados obtidos para o índice de expansão radial, o coeficiente de variação ( $R^2$ ) foi igual a 0,87, indicando que ele explica 87 % da variação nos dados observados, entretanto, o modelo de regressão apresentou falta de ajuste (Tabela 7).

A análise estatística dos dados indicou efeito significativo para formulação e umidade linear, temperatura quadrática e a interação entre umidade e temperatura. Com exceção da interação, todas as demais variáveis independentes apresentaram efeito negativo, sendo a umidade a que apresentou maior efeito.

O índice de expansão radial variou de 7,08 a 3,62. Os ensaios 1 (2 % concentrado proteico de soro de leite/ 18 % umidade/ 120 °C) e 5 (2 % concentrado proteico de soro de leite/ 18 % umidade/ 160 °C) apresentaram os maiores índices de expansão, sendo respectivamente, 7,08 e 6,90. O menor valor de expansão foi observado no ensaio 4 (6 % concentrado proteico de soro de leite / 22 % umidade / 120 °C). Os resultados mostram claramente o efeito exercido pelas variáveis independentes, principalmente no que se refere ao efeito inversamente proporcional da umidade e formulação.

Onwulata et al. (2001) avaliou o efeito da adição de soro de leite doce e de concentrado proteico de soro de leite bovino em extrudados de milho, batata e arroz. Os resultados descritos mostraram que o índice de expansão radial dos produtos diminuiu significativamente ( $p < 0,05$ ) com a adição dos produtos lácteos, e assim como no presente estudo, quando as amostras foram processadas com menores umidades foram observados maiores valores de expansão.

**Tabela 6.** Índice de expansão radial (IER) de extrudados de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino.

<b>Ensaio</b>	<b>X<sub>1</sub></b>	<b>X<sub>2</sub></b>	<b>X<sub>3</sub></b>	<b>IER</b>
1	2,0	18,0	120	7,08
2	6,0	18,0	120	6,67
3	2,0	22,0	120	4,48
4	6,0	22,0	120	3,62
5	2,0	18,0	160	6,90
6	6,0	18,0	160	5,76
7	2,0	22,0	160	4,40
8	6,0	22,0	160	4,59
9	0,64	20,0	140	6,25
10	7,36	20,0	140	4,96
11	4,0	16,64	140	6,45
12	4,0	23,36	140	4,53
13	4,0	20,0	106,36	4,52
14	4,0	20,0	173,64	5,21
15	4,0	20,0	140	5,64
16	4,0	20,0	140	5,42
17	4,0	20,0	140	5,22
18	4,0	20,0	140	5,67
19	4,0	20,0	140	5,73
20	4,0	20,0	140	5,82

X<sub>1</sub>: Formulação: (%) concentrado proteico de soro de leite bovino na mistura com arroz polido.

X<sub>2</sub>: Umidade da mistura no processamento (%).

X<sub>3</sub>: Temperatura (°C) da última zona de aquecimento do extrusor Brabender.

**Tabela 7.** Teste F da análise de variância, coeficiente de regressão, estimativa dos efeitos e respectivas probabilidades (P) do modelo de regressão quadrática aplicada ao índice de expansão radial de extrudados de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino, em função da formulação, umidade e temperatura.

Fator	Teste F	Coeficiente de Regressão	P	Estimativa dos Efeitos
Intercepto/ Média	--	5,579043	4,00E-11***	5,57904
X <sub>1</sub>	2,86E+01	-3,21E-01	3,08E-03**	-0,64280
X <sub>1</sub> <sup>2</sup>	3,74E-01	3,58E-02	5,68E-01 n.s.	0,07160
X <sub>2</sub>	2,33E+02	-9,19E-01	2,18E-05***	-1,83764
X <sub>2</sub> <sup>2</sup>	6,87E-03	-4,85E-03	9,37E-01 n.s.	-0,00970
X <sub>3</sub>	1,37E+00	7,03E-02	2,95E-01 n.s.	0,14066
X <sub>3</sub> <sup>2</sup>	1,49E+01	-2,26E-01	1,19E-02*	-0,45153
X <sub>1</sub> X <sub>2</sub>	1,96E+00	1,10E-01	2,20E-01 n.s.	0,22000
X <sub>1</sub> X <sub>3</sub>	2,59E-01	4,00E-02	6,32E-01 n.s.	0,08000
X <sub>2</sub> X <sub>3</sub>	9,92E+00	2,48E-01	2,54E-02*	0,49500
Falta de ajuste	7,44E+00	--	2,30E-02*	--
<b>R<sup>2</sup></b>			<b>0,87360</b>	

X<sub>1</sub>: Formulação: (%) concentrado proteico de soro de leite bovino na mistura com arroz polido.

X<sub>2</sub>: Umidade da mistura no processamento (%).

X<sub>3</sub>: Temperatura (°C) da última zona de aquecimento da extrusora Brabender.

p: Valor estatístico da probabilidade.

-- Não determinado.

n.s.: Não significativo.

\*: Significativo ao nível de 5 % de probabilidade.

\*\* : Significativo ao nível de 1 % de probabilidade.

\*\*\*: Significativo ao nível de 0,1 % de probabilidade.

O valor de F calculado foi superior ao F tabelado para a regressão a 5 % de significância (Tabela 8). Sendo assim, além do modelo ser significativo, ele também é preditivo.

A partir do modelo obtido foi possível montar a equação e construir as superfícies de resposta, que expressam graficamente os resultados obtidos pela análise de regressão, para o índice de expansão radial, apresentadas nas Figuras 8, 9 e 10.



**Tabela 8.** Análise de variância simplificada para índice de expansão radial de extrudados de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino.

Fonte de variação	SQ	GL	QM	Fcalculado	Ftabelado	p-valor
Regressão	14,17	4	3,5416	22,9807	3,0556	2,98E-06
Resíduos	0,23	5	0,15			
Falta de ajuste	1,84	5				
Erro puro	0,25	5				
Total	16,48	19				

SQ: Soma dos quadrados.

GL: Graus de liberdade.

QM: Quadrados médios.

p: Valor estatístico da probabilidade.

Pelas considerações realizadas através da análise de variância e fazendo uso dos coeficientes de variação observados, a equação do modelo matemático proposta para as variáveis independentes fica restrita como:

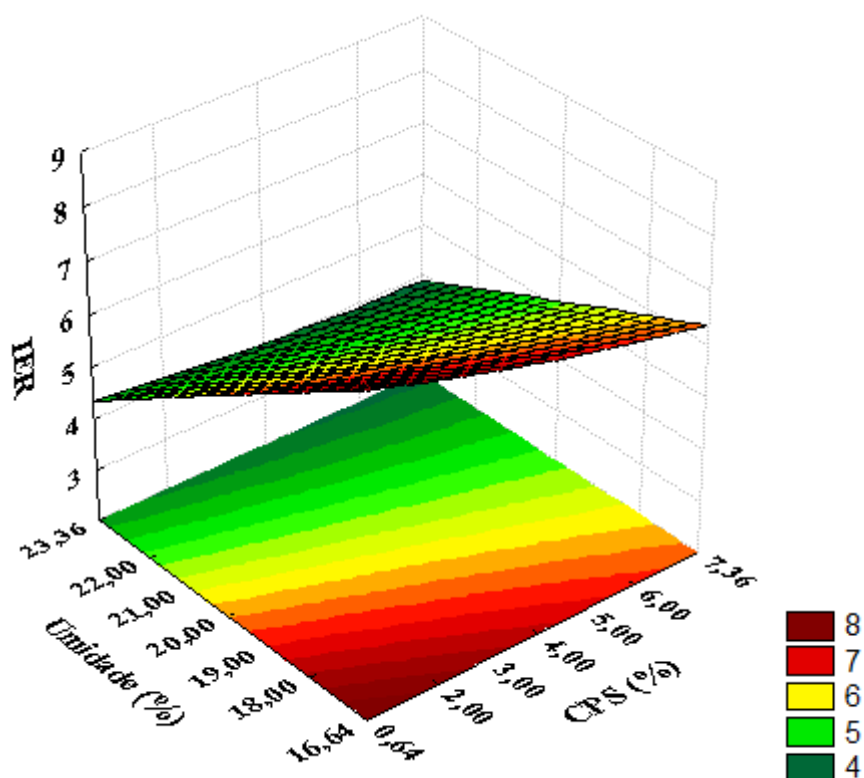
$$\text{IER} = 5,58 - 0,32X_1 - 0,92X_2 - 0,23X_3^2 + 0,25 X_2X_3 \quad (13)$$

As figuras 8, 9 e 10 representam o efeito das variáveis quantitativas formulação, umidade e temperatura no índice de expansão radial. Os maiores valores de expansão foram observados nos ensaios com teor de soro igual ou inferior a 2 % e umidade igual ou menor do que 18 %; quanto mais baixos os teores de concentrado proteico e umidade de processamento, maior o IER. A Figura 9 mostra que a temperatura exerceu pouca influência na expansão dos extrudados.

O aumento do teor de água favorece, juntamente com o calor aplicado, a gelatinização do material amiláceo. No entanto, o efeito inversamente proporcional causado pela umidade se deve ao fato da água exercer um efeito lubrificante dentro do canhão, reduzindo a taxa de cisalhamento, a temperatura interna do extrusor, a viscosidade dos materiais amiláceos e a dissipação da energia mecânica no extrusor, resultando, assim, produtos mais densos, cujas bolhas têm a taxa de seu crescimento reduzida conforme explicam Alvarez-Martinez, Koundury e Harper (1988), Mercier, Linko e Harper (1998) e Ding et al. (2005).

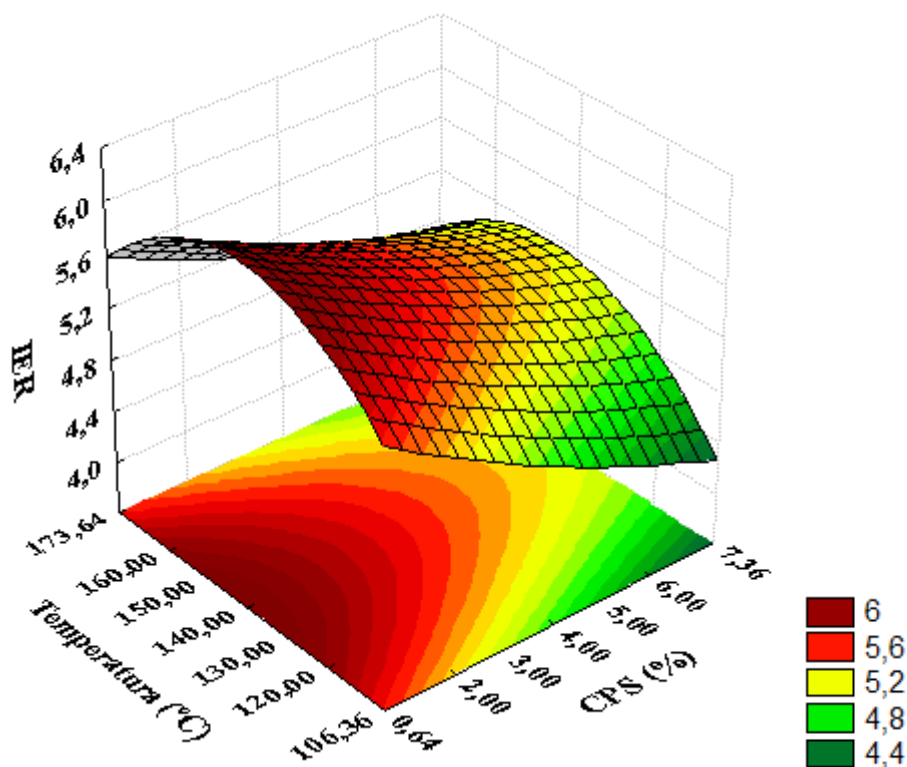
Mercier, Linko e Harper (1998) mencionam que em baixa umidade, o gel formado é pouco elástico e o material extrudado tem células grandes e pouco uniformes. Além disso, quando não há rompimento da cadeia de amilopectina durante a extrusão termoplástica observa-se uma elevação do índice de expansão radial (ALVAREZ-MARTINEZ, KOUNDURY e HARPER, 1988).

Silva (2010) também verificou efeito linear negativo altamente significativo da umidade sobre o índice de expansão radial de extrudados expandidos de milho e feijão. O mesmo efeito negativo foi verificado para umidade no trabalho desenvolvido por Moura (2012), que observou que quanto menor a umidade da mistura antes da extrusão, maior é a expansão extrudado de arroz, milho e feijão.



**Figura 8.** Efeito das variáveis quantitativas umidade (%) e CPS (%) no índice de expansão radial (IER) de extrudados de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino.

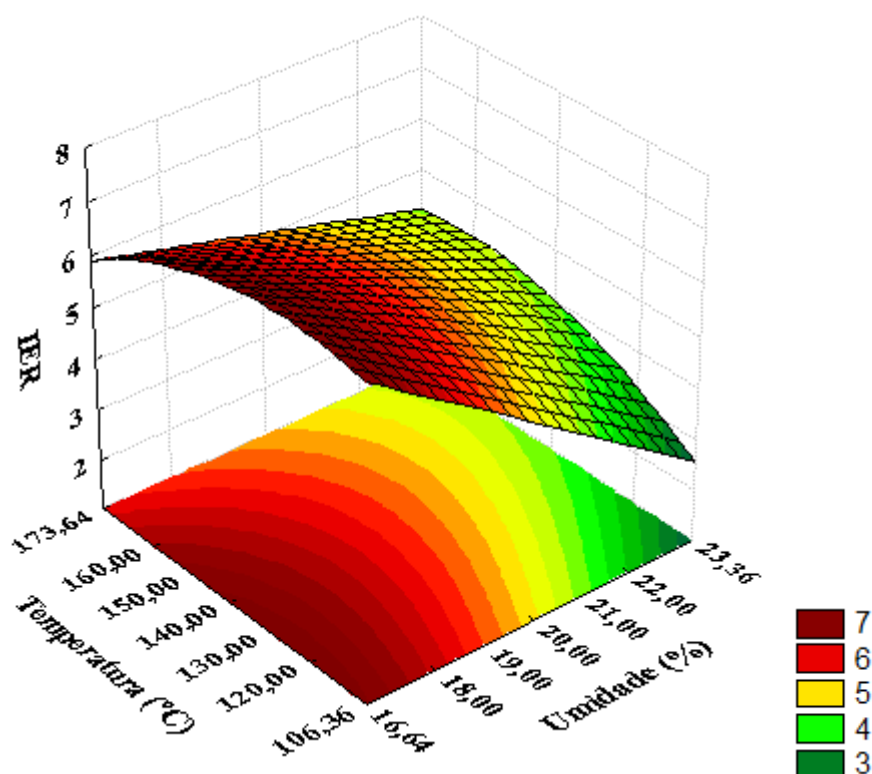
Segundo Carvalho et al. (2012b), a expansão na extrusão de produtos ricos em amido é inversamente proporcional à umidade do material a ser extrudado, ou seja, o aumento da umidade pode mudar a estrutura molecular e reduzir a viscosidade elástica, consequentemente reduzindo a expansão dos *snacks*.



**Figura 9.** Efeito das variáveis quantitativas temperatura (°C) e CPS (%) no índice de expansão radial (IER) de extrudados de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino.

A expansão de um produto aumenta com a elevação da temperatura quando o teor de umidade do material é em torno de 19,5 %, devido à viscosidade ser menor, possibilitando a ocorrência de uma expansão mais rápida da massa fundida ou o aumento na pressão de vapor. A expansão diminui em baixas temperaturas de extrusão porque o amido não é completamente fundido. Assim, o grau de expansão radial é proporcional à temperatura até certo valor, pois depois decresce em temperaturas elevadas.

A diminuição da expansão a temperaturas muito altas é atribuída ao aumento da dextrinização e ao enfraquecimento da estrutura amilácea (MERCIER, LINKO e HARPER, 1998). No presente estudo, observou-se que os menores valores de expansão ocorreram em temperaturas de 120 °C e 160 °C, sempre associadas a elevado conteúdo de umidade.



**Figura 10.** Efeito das variáveis quantitativas temperatura (°C) e umidade (%) no índice de expansão radial (IER) de extrudados de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino.

O índice de expansão está relacionado com a gelatinização do amido, pois durante a passagem pelo equipamento ocorre a gelatinização e com a subsequente descompressão na saída do extrusor ocorre a expansão. A estrutura de extrudados expandidos depende do grau de gelatinização do amido e da fusão deste no interior do extrusor, pois a gelatinização, seguida da fusão, aumentam as características elásticas da massa. Com isso, o vapor de água gerado durante o processo é responsável pela formação de bolhas no interior da massa fundida que são liberadas na saída da matriz, o que influencia diretamente a expansão dos extrudados. Os resultados encontrados mostram que obter extrudados enriquecidos com proteína e que apresentem boa qualidade expansão é viável, o que possibilita a elaboração de produtos com ótimas características texturais.

#### 4.1.2 Análise de cor das farinhas mistas pré-gelatinizadas e matérias-primas

A cor é um atributo visual muito importante para produtos alimentícios e em se tratando de produtos extrudados, a cor é influenciada pela temperatura, composição da matéria-prima, tempo de residência, pressão e cisalhamento, como reportam Mercier, Linko e Harper (1998).

Linko, Colonna e Mercier (1981) afirmam que a formação de cor durante o processo de extrusão proporciona importante informação a respeito do grau do tratamento térmico, e de acordo com Badrie e Mellowes (1991), condições severas resultam em produtos mais escuros, com valores de luminosidade menores e aumentos nos valores das coordenadas *a* e *b*.

Nascimento (2010) destaca que as condições de processamento utilizadas na extrusão (alta temperatura e/ou baixa umidade) são reconhecidas por favorecer a reação entre açúcares redutores e aminoácidos, o que resulta na formação de compostos coloridos e na redução do aminoácido lisina. Se o escurecimento for muito intenso, cores e sabores indesejáveis podem aparecer, assim, a mudança de cor durante o processo de extrusão termoplástica pode ser um indicador para avaliar a intensidade do processo em relação às mudanças químicas e nutricionais.

Na Tabela 9 estão descritos os resultados obtidos para a análise de cor das farinhas mistas extrudadas de arroz e concentrado proteico, bem como para as matérias-primas utilizadas: farinha de arroz branco e concentrado proteico de soro de leite bovino.

Para os diferentes ensaios realizados (Tabela 9), observa-se que os produtos extrudados apresentaram valores de luminosidade ( $L^*$ ) entre 87,36 e 81,01; valores de croma  $a^*$  entre - 0,14 e - 0,58; croma  $b^*$  entre 7,97 e 13,72; croma  $C^*$  entre 7,98 e 13,73; e, valores de ângulo hue entre  $87,59^\circ$  e  $93,77^\circ$ .

**Tabela 9.** Resultados da caracterização física de cor de farinhas mistas extrudadas de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino e das matérias-primas.

Ensaio	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	L*	a*	b*	C*	h°
1	2,0	18,0	120	83,30	-0,14	8,26	8,26	90,98
2	6,0	18,0	120	83,30	-0,14	10,44	10,45	90,78
3	2,0	22,0	120	84,87	-0,42	8,65	8,66	92,76
4	6,0	22,0	120	81,28	0,58	13,72	13,73	87,59
5	2,0	18,0	160	87,36	-0,50	8,38	8,40	93,39
6	6,0	18,0	160	86,48	-0,41	10,08	10,09	92,33
7	2,0	22,0	160	86,01	-0,38	7,97	7,98	92,72
8	6,0	22,0	160	84,77	-0,20	10,46	10,46	91,12
9	0,64	20,0	140	84,90	-0,54	8,13	8,15	93,77
10	7,36	20,0	140	81,01	-0,21	10,20	10,20	91,18
11	4,0	16,64	140	85,44	-0,34	9,29	9,29	92,06
12	4,0	23,36	140	81,57	0,42	11,98	11,98	88,04
13	4,0	20,0	106,36	83,29	-0,20	10,17	10,17	91,14
14	4,0	20,0	173,64	85,90	-0,40	9,23	9,24	92,48
15	4,0	20,0	140	84,95	-0,31	9,12	9,13	91,93
16	4,0	20,0	140	85,06	-0,19	9,37	9,38	91,17
17	4,0	20,0	140	86,91	-0,50	9,20	9,22	93,12
18	4,0	20,0	140	84,66	-0,52	9,10	9,11	93,25
19	4,0	20,0	140	83,81	-0,36	9,43	9,44	92,16
20	4,0	20,0	140	84,51	-0,19	9,80	9,80	91,12
<b>Farinha de Arroz</b>	--	--	--	85,58	-0,25	6,96	6,97	92,04
<b>CPS</b>	--	--	--	89,53	0,02	14,01	14,01	89,94

X<sub>1</sub>: Formulação: (%) concentrado proteico de soro de leite bovino na mistura com arroz polido.

X<sub>2</sub>: Umidade da mistura no processamento (%).

X<sub>3</sub>: Temperatura (°C) da última zona de aquecimento do extrusor Brabender.

CPS: Concentrado proteico de soro de leite bovino.

L\*: Luminosidade ou componente L\*.

a\*: Cromaticidade a ou croma a.

b\*: Cromaticidade b ou croma b.

C\*: Cromaticidade c.

h°: Ângulo hue.

#### 4.1.2.1 Luminosidade

A análise de variância para a luminosidade está representada na Tabela 10. Verifica-se que o coeficiente de determinação explica 76 % da variação total da luminosidade em torno da média e 24 % atribui-se aos resíduos. Não evidenciou-se a falta de ajuste do modelo aos dados experimentais ( $p > 0,05$ ) e a média foi altamente significativa, indicando que o ponto central foi escolhido corretamente.

**Tabela 10.** Teste F da análise de variância, coeficiente de regressão, estimativa dos efeitos e respectivas probabilidades (P) do modelo de regressão quadrática aplicada à luminosidade das farinhas mistas extrudadas de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino, em função da formulação, umidade e temperatura.

Fator	Teste F	Coeficiente de Regressão	P	Estimativa dos Efeitos
Intercepto/ Média	--	84,94909	9,69E-19***	84,94909
X <sub>1</sub>	1,01E+01	-8,97E-01	2,45E-02*	-1,79422
X <sub>1</sub> <sup>2</sup>	3,22E+00	-4,92E-01	1,33E-01 <sup>n.s.</sup>	-0,98473
X <sub>2</sub>	6,77E+00	-7,34E-01	4,81E-02*	-1,46715
X <sub>2</sub> <sup>2</sup>	1,18E+00	-2,98E-01	3,27E-01 <sup>n.s.</sup>	-0,59592
X <sub>3</sub>	1,78E+01	1,19E+00	8,29E-03**	2,38098
X <sub>3</sub> <sup>2</sup>	1,01E-01	8,73E-02	7,63E-01 <sup>n.s.</sup>	0,17464
X <sub>1</sub> X <sub>2</sub>	1,80E+00	-4,94E-01	2,38E-01 <sup>n.s.</sup>	-0,98750
X <sub>1</sub> X <sub>3</sub>	2,49E-01	1,84E-01	6,39E-01 <sup>n.s.</sup>	0,36750
X <sub>2</sub> X <sub>3</sub>	7,85E-01	-3,26E-01	4,16E-01 <sup>n.s.</sup>	-0,65250
Falta de ajuste	1,64E+00	--	2,99E-01 <sup>n.s.</sup>	--
<b>R<sup>2</sup></b>			<b>0,76054</b>	

X<sub>1</sub>: Formulação: (%) concentrado proteico de soro de leite bovino na mistura com arroz polido.

X<sub>2</sub>: Umidade da mistura no processamento (%).

X<sub>3</sub>: Temperatura (°C) da última zona de aquecimento da extrusora Brabender.

p: Valor estatístico da probabilidade.

-- Não determinado.

<sup>n.s.</sup>: Não significativo.

\*: Significativo ao nível de 5 % de probabilidade.

\*\* : Significativo ao nível de 1 % de probabilidade.

\*\*\*: Significativo ao nível de 0,1 % de probabilidade.

De acordo com a Tabela 10, a luminosidade foi influenciada significativamente pelas seguintes variáveis lineares: formulação ( $p < 0,05$ ), umidade ( $p < 0,05$ ) e temperatura ( $p < 0,01$ ). A formulação e a umidade apresentaram efeito positivo e a temperatura é inversamente proporcional à luminosidade.

Na análise de variância simplificada representada na Tabela 11 indica que o valor de F calculado é superior ao F tabelado, então, o modelo pode ser considerado estatisticamente significativo.

**Tabela 11.** Análise de variância simplificada para luminosidade das farinhas mistas extrudadas de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino.

Fonte de variação	SQ	GL	QM	Fcalculado	Ftabelado	p-valor
Regressão	37,69964	3	12,56655	9,0659	3,2389	9,68E-04
Resíduos	7,83986	6	1,38613			
Falta de ajuste	8,91395	5				
Erro puro	5,42433	5				
<b>Total</b>	<b>59,87778</b>	<b>19</b>				

SQ: Soma dos quadrados.

GL: Graus de liberdade.

QM: Quadrados médios.

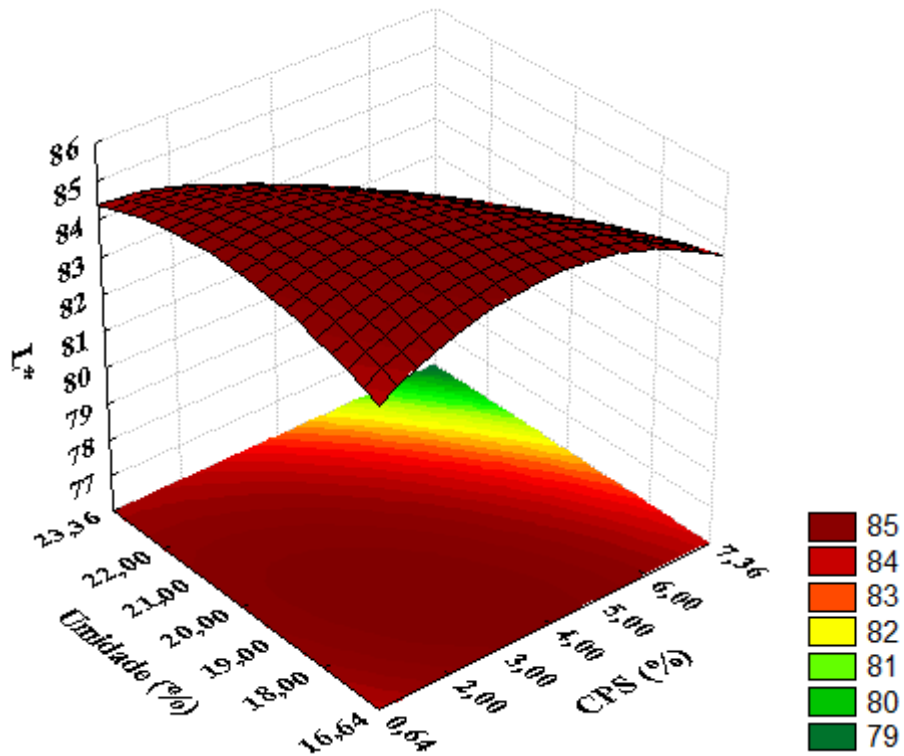
p: Valor estatístico da probabilidade.

A equação do modelo matemático proposto para as variáveis independentes codificadas (Equação 14) foi elaborada usando somente os coeficientes de regressão significativos ao nível de 95 a 99,9 % de confiança, e fica restrita como:

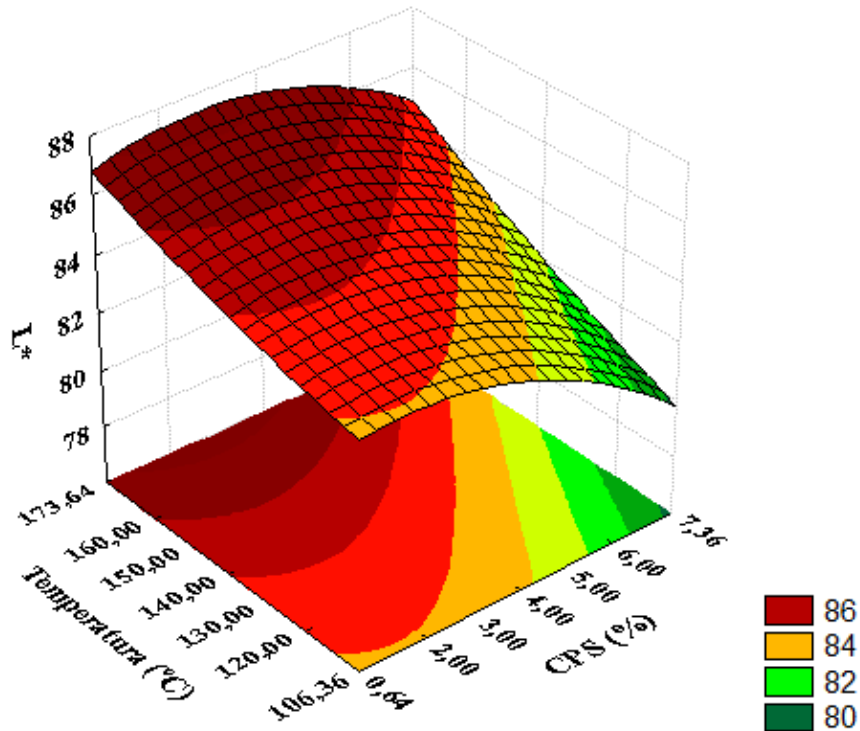
$$\text{Luminosidade} = 84,95 - 0,90X_1 - 0,73X_2 + 1,19X_3 \quad (14)$$

As Figuras 11, 12 e 13 ilustram os efeitos da formulação, temperatura, umidade e suas interações na luminosidade das farinhas mistas pré-gelatinizadas de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino.

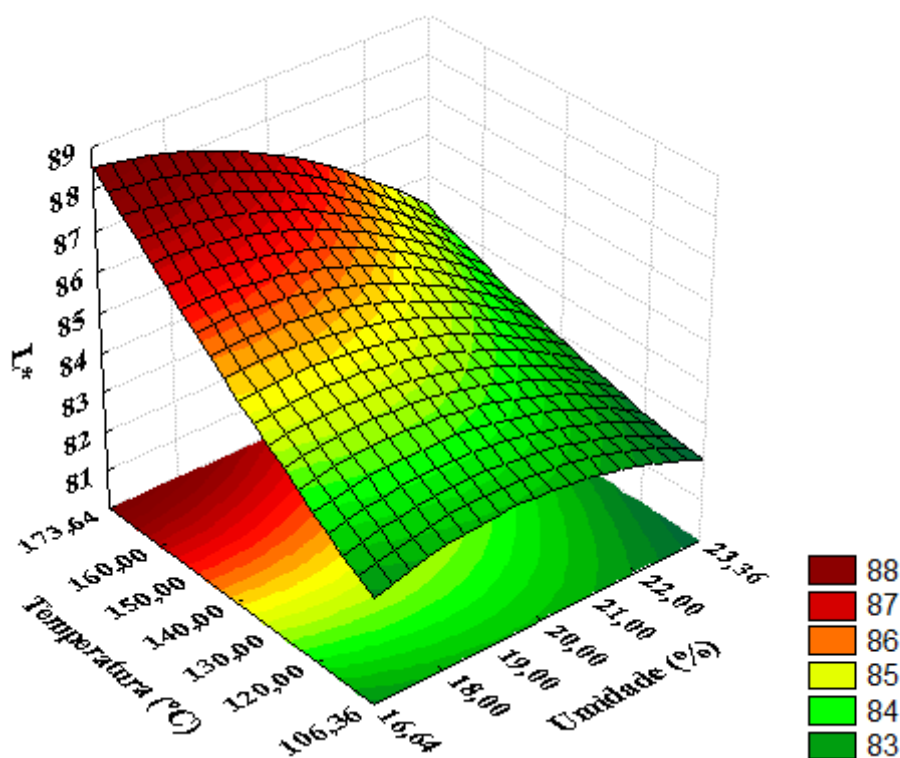




**Figura 11.** Efeito das variáveis quantitativas umidade (%) e CPS (%) na luminosidade das farinhas mistas extrudadas de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino.



**Figura 12.** Efeito das variáveis quantitativas temperatura (°C) e CPS (%) na luminosidade das farinhas mistas extrudadas de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino.



**Figura 13.** Efeito das variáveis quantitativas temperatura (°C) e umidade (%) na luminosidade das farinhas mistas extrudadas de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino.

Analisando as figuras acima, observa-se que a temperatura é a variável que exerce maior influência na luminosidade. Os valores mais elevados de luminosidade foram observados nos ensaios 5 (2 % CPS; 18 % umidade; 160 °C), 17 (4 % CPS; 20 % umidade; 140 °C) e 6 (6 % CPS; 18 % umidade; 160 °C), sendo respectivamente 87,36; 86,91 e 86,48.

Dessa forma, pode-se dizer que os valores mais elevados foram obtidos nos ensaios com temperatura média a alta e umidade baixa a intermediária; o concentrado proteico exerceu o menor efeito na luminosidade.

A luminosidade define a claridade da cor, em que o valor 0 indica cor totalmente preta e o valor 100 totalmente branca. Teba (2009) destaca que o escurecimento pode comprometer a cor dos produtos obtidos por extrusão.

Considerando que a farinha de arroz apresentou luminosidade de 85,58 e o concentrado proteico 89,53, é possível afirmar que os parâmetros utilizados no processamento por extrusão não reduziram drasticamente este parâmetro de cor, ou seja, as amostras continuaram com cor clara.

A elevação da temperatura de extrusão aumenta a intensidade da cor e elevado teor de umidade resulta em produtos com cor mais clara, pois o aumento da umidade reduz o tempo de residência, promovendo, portanto, maior fluidez no interior do extrusor, levando a um menor escurecimento não enzimático dos extrudados (BADRIE e MELLOWES, 1991)

#### 4.1.2.2 Cromaticidade a\*

O Teste F da análise de variância, o coeficiente de regressão, a estimativa dos efeitos e as respectivas probabilidades do modelo aplicado à cromaticidade a\* estão expostos na tabela abaixo.

**Tabela 12.** Teste F da análise de variância, coeficiente de regressão, estimativa dos efeitos e respectivas probabilidades (P) do modelo de regressão quadrática aplicada à cromaticidade a das farinhas mistas extrudadas de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino, em função da formulação, umidade e temperatura.

Fator	Teste F	Coeficiente de Regressão	P	Estimativa dos Efeitos
Intercepto/ Média	--	-0,345076	7,78E-04**	-0,345076
X <sub>1</sub>	1,17E+01	1,34E-01	1,88E-02*	0,267247
X <sub>1</sub> <sup>2</sup>	7,07E-02	-1,01E-02	8,01E-01 <sup>n.s.</sup>	-0,020211
X <sub>2</sub>	1,47E+01	1,50E-01	1,21E-02*	0,299939
X <sub>2</sub> <sup>2</sup>	1,29E+01	1,37E-01	1,57E-02*	0,273166
X <sub>3</sub>	1,02E+01	-1,25E-01	2,40E-02*	-0,249871
X <sub>3</sub> <sup>2</sup>	1,86E-01	1,64E-02	6,84E-01 <sup>n.s.</sup>	0,032809
X <sub>1</sub> X <sub>2</sub>	7,13E+00	1,36E-01	4,43E-02*	0,272500
X <sub>1</sub> X <sub>3</sub>	3,20E+00	-9,13E-02	1,34E-01 <sup>n.s.</sup>	-0,182500
X <sub>2</sub> X <sub>3</sub>	7,26E-02	-1,38E-02	7,98E-01 <sup>n.s.</sup>	-0,027500
Falta de ajuste	2,04E+00	--	2,26E-01 <sup>n.s.</sup>	--
<b>R<sup>2</sup></b>		<b>0,79876</b>		

X<sub>1</sub>: Formulação: (%) concentrado proteico de soro de leite bovino na mistura com arroz polido.

X<sub>2</sub>: Umidade da mistura no processamento (%).

X<sub>3</sub>: Temperatura (°C) da última zona de aquecimento da extrusora Brabender.

p: Valor estatístico da probabilidade.

-- Não determinado.

<sup>n.s.</sup>: Não significativo.

\*: Significativo ao nível de 5 % de probabilidade.

\*\* : Significativo ao nível de 0,1 % de probabilidade.

Os resultados expressos na Tabela 12 indicam que a cromaticidade a\* foi significativamente afetada pela variável linear da formulação (p < 0,05), linear (p < 0,05) e quadrática (p < 0,05) da umidade, linear da temperatura (p < 0,05) e pela interação entre formulação e umidade (p < 0,05).

O coeficiente de determinação encontrado (0,79876) explica aproximadamente 80 % da variação dos dados em torno da média, e não foi observada a falta de ajuste do modelo aos dados experimentais ( $p > 0,05$ ), como mostra a Tabela 12. Além disso, a razão  $F_{\text{calculado}}/F_{\text{tabelado}}$  foi de 2,84 (Tabela 13), então, o modelo pode ser considerado preditivo, possibilitando a geração da equação e a construção das superfícies de resposta.

**Tabela 13.** Análise de variância simplificada para cromaticidade  $a$  das farinhas mistas extrudadas de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino.

Fonte de variação	SQ	GL	QM	$F_{\text{calculado}}$	$F_{\text{tabelado}}$	p-valor
Regressão	1,18170	5	0,23634	8,4048	2,9582	7,49E-04
Resíduos	0,07665	4	0,02812			
Falta de ajuste	0,21287	5				
Erro puro	0,10415	5				
Total	1,57538	19				

SQ: Soma dos quadrados.

GL: Graus de liberdade.

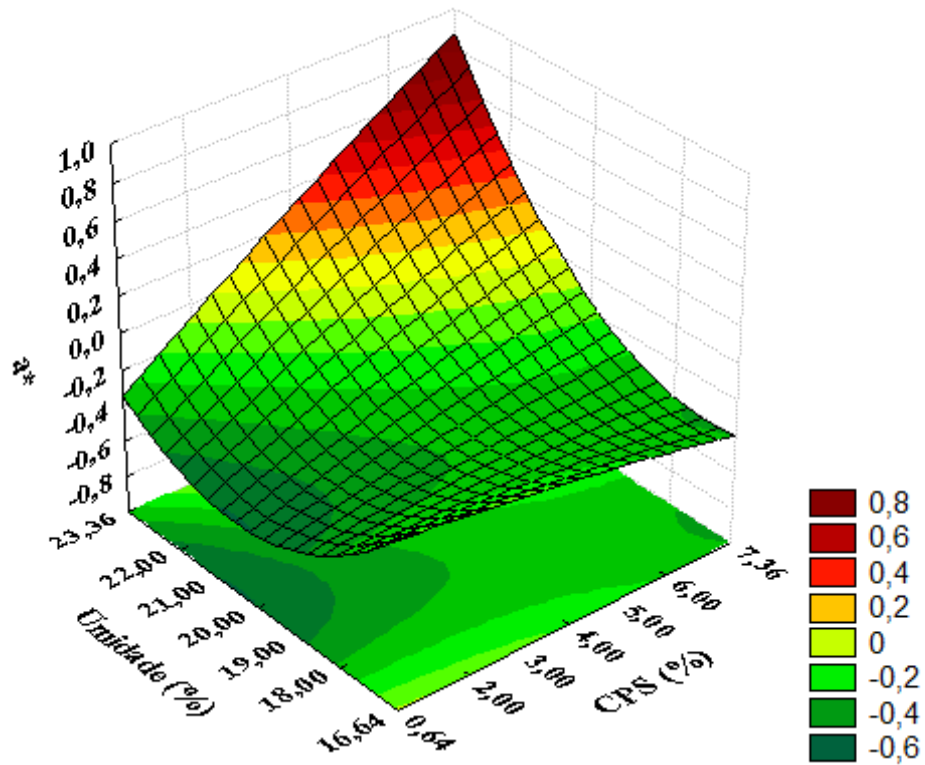
QM: Quadrados médios.

p: Valor estatístico da probabilidade.

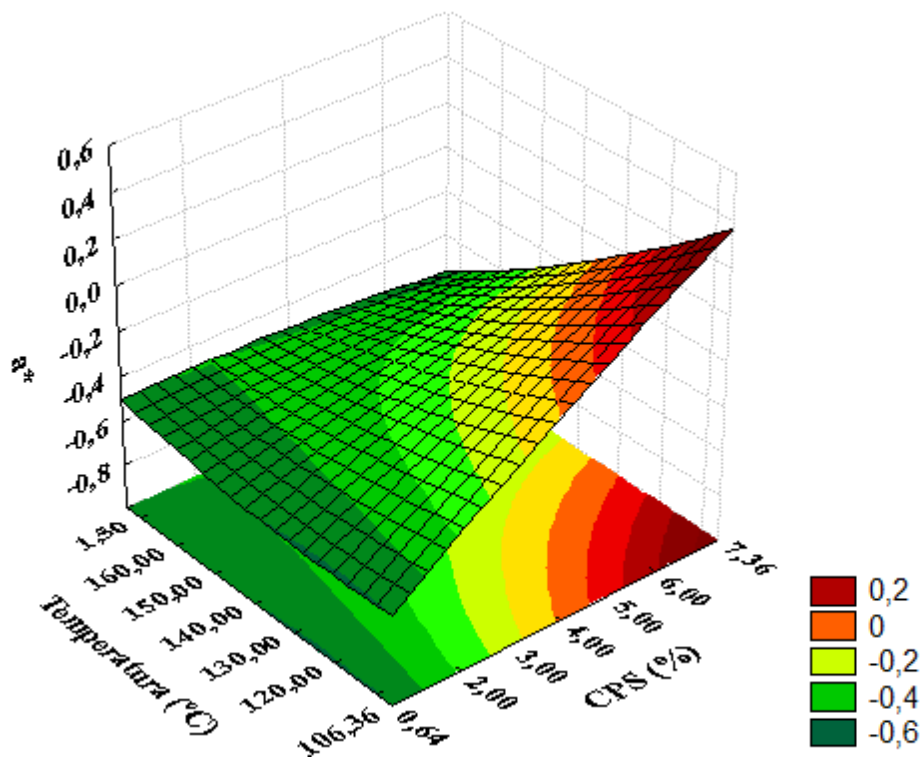
Utilizando somente os coeficientes de regressão estatisticamente significativos ao nível de 95 a 99,9 % de confiança, foi elaborada a equação do modelo matemático proposto para as variáveis independentes codificadas (Equação 15), que fica restrita da forma expressa abaixo:

$$\text{Cromaticidade } a = - 0,35 + 0,13X_1 + 0,15 X_2 + 0,14 X_2^2 - 0,12X_3 + 0,14 X_1X_2 \quad (15)$$

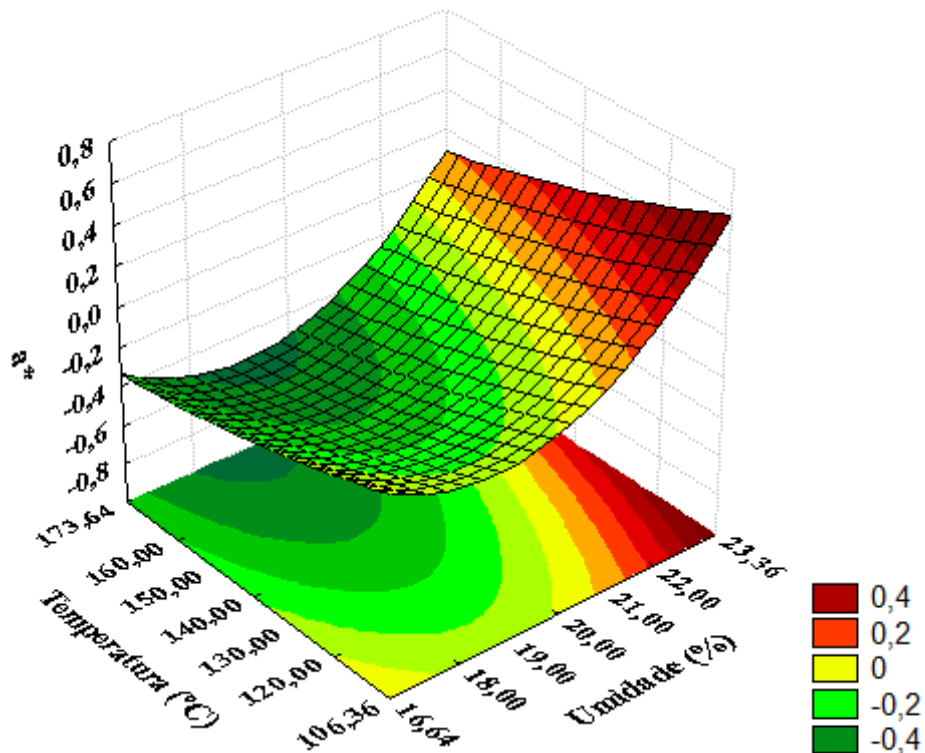
O efeito das variáveis independentes significativas está ilustrado nas Figuras 14, 15 e 16.



**Figura 14.** Efeito das variáveis quantitativas umidade (%) e CPS (%) na cromaticidade  $a^*$  das farinhas mistas extrudadas de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino.



**Figura 15.** Efeito das variáveis quantitativas temperatura (°C) e CPS (%) na cromaticidade  $a^*$  das farinhas mistas extrudadas de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino.



**Figura 16.** Efeito das variáveis quantitativas temperatura (°C) e umidade (%) na cromaticidade  $a^*$  das farinhas mistas extrudadas de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino.

Observando a Figura 16, verifica-se que quanto mais altos os valores da umidade e do conteúdo de concentrado proteico nas formulações, mais elevada é a cromaticidade  $a^*$ .

A cromaticidade  $a^*$  mede a intensidade das cores vermelhas (valores positivos) e verdes (valores negativos). Como os resultados encontrados estão entre -0,14 e -0,58, as farinhas mistas de arroz e concentrado proteico estão na faixa da coloração verde.

É válido ressaltar que as matérias-primas apresentaram cromaticidade  $a^*$  com os seguintes valores: -0,25 (farinha de arroz) e 0,02 (concentrado proteico).

#### 4.1.2.3 Cromaticidade $b^*$

A cromaticidade  $b^*$  refere-se à tonalidade amarela, e esta tonalidade encontra-se presente na amostra em maior intensidade quanto maior for o valor do croma  $b^*$ .

De acordo com a Tabela 14, observa-se que apenas as variáveis quadráticas da formulação e da temperatura não influenciaram a cromaticidade  $b^*$ , todas as demais foram estatisticamente significativas.

**Tabela 14.** Teste F da análise de variância, coeficiente de regressão, estimativa dos efeitos e respectivas probabilidades (P) do modelo de regressão quadrática aplicada à cromaticidade *b* das farinhas mistas extrudadas de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino, em função da formulação, umidade e temperatura.

Fator	Teste F	Coeficiente de Regressão	p	Estimativa dos Efeitos
Intercepto/ Média	--	9,340472	2,13E-05***	9,340472
X <sub>1</sub>	2,35E+02	1,09E+00	2,71E-01*	2,185015
X <sub>1</sub> <sup>2</sup>	1,53E+00	-8,56E-02	3,93E-04 <sup>n.s.</sup>	-0,171278
X <sub>2</sub>	7,05E+01	5,98E-01	1,52E-03**	1,195553
X <sub>2</sub> <sup>2</sup>	3,92E+01	4,34E-01	1,95E-03**	0,867913
X <sub>3</sub>	3,51E+01	-4,22E-01	1,96E-01*	-0,843605
X <sub>3</sub> <sup>2</sup>	2,23E+00	1,03E-01	4,30E-03 <sup>n.s.</sup>	0,206931
X <sub>1</sub> X <sub>2</sub>	2,45E+01	4,60E-01	9,25E-03**	0,920000
X <sub>1</sub> X <sub>3</sub>	1,69E+01	-3,83E-01	4,20E-03**	-0,765000
X <sub>2</sub> X <sub>3</sub>	2,47E+01	-4,63E-01	1,29E-02*	-0,925000
Falta de ajuste	9,78E+00	--	1,29E-02*	--
<b>R<sup>2</sup></b>			<b>0,89325</b>	

X<sub>1</sub>: Formulação: (%) concentrado proteico de soro de leite bovino na mistura com arroz polido.

X<sub>2</sub>: Umidade da mistura no processamento (%).

X<sub>3</sub>: Temperatura (°C) da última zona de aquecimento da extrusora Brabender.

p: Valor estatístico da probabilidade.

-- Não determinado.

<sup>n.s.</sup>: Não significativo.

\*: Significativo ao nível de 5 % de probabilidade.

\*\* : Significativo ao nível de 1 % de probabilidade.

\*\*\*: Significativo ao nível de 0,1 % de probabilidade.

O coeficiente de determinação obtido explica 89 % da variação dos dados em torno da média, atribuindo-se 11 % aos resíduos, entretanto, foi verificada a falta de ajuste do modelo quadrático aos dados encontrados (Tabela 14). Cabe salientar que não há sugestão de utilização de outro modelo, tendo em vista que o atual aplicado é o que mais se ajusta aos demais experimentos.

Considerando que o valor de F calculado é superior ao F tabelado (Tabela 15), foi gerada a equação que representa as variáveis que influenciaram significativamente o croma *b*\* e foram elaboradas as superfícies que as representam (Figuras 17, 18 e 19).

**Tabela 15.** Análise de variância simplificada para cromaticidade *b* das farinhas mistas extrudadas de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino.

Fonte de variação	SQ	GL	QM	Fcalculado	Ftabelado	p-valor
Regressão	30,90215	7	4,414593	13,0847	2,9134	9,28E-05
Resíduos	0,31751	2	0,33739			
Falta de ajuste	3,38499	5				
Erro puro	0,34613	5				
Total	34,95078	19				

SQ: Soma dos quadrados.

GL: Graus de liberdade.

QM: Quadrados médios.

p: Valor estatístico da probabilidade.

Pelas considerações feitas por meio da análise de variância e fazendo uso dos coeficientes observados, a equação do modelo matemático proposto para as variáveis independentes fica restrita como (Equação 16):

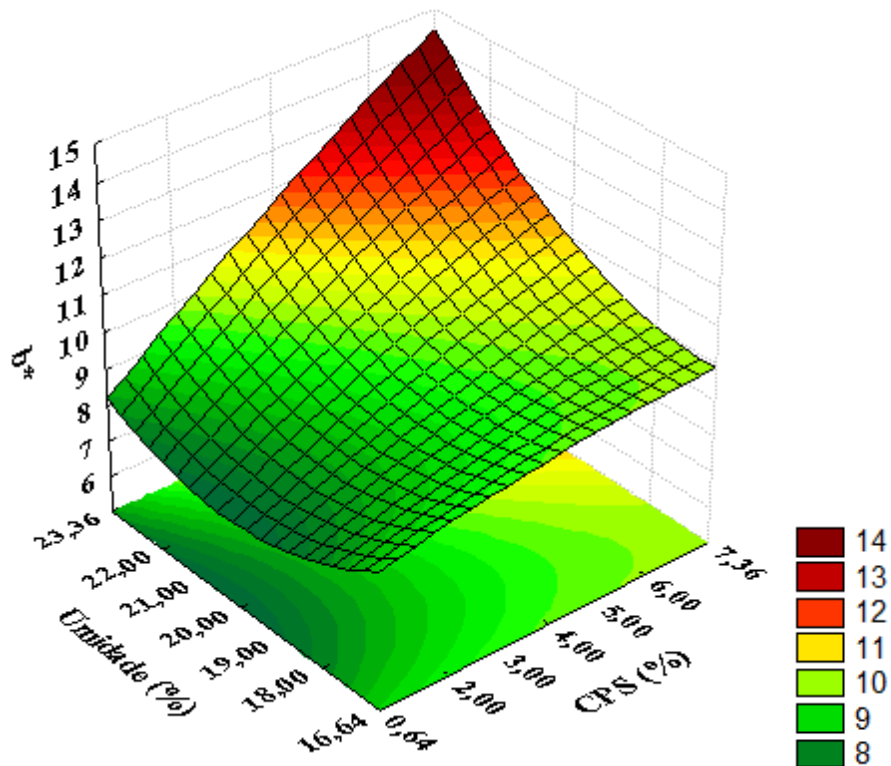
$$\text{Cromaticidade } b = 9,34 + 1,09X_1 + 0,60X_2 + 0,43X_2^2 - 0,42X_3 + 0,46X_1X_2 - 0,38X_1X_3 - 0,46X_2X_3 \quad (16)$$

A análise da Tabela 9 permite verificar que a cromaticidade *b*\* variou de 7,97 a 13,72 para as farinhas mistas extrudadas, já a farinha de arroz apresentou croma *b*\* de 6,96 e o concentrado proteico 14,01.

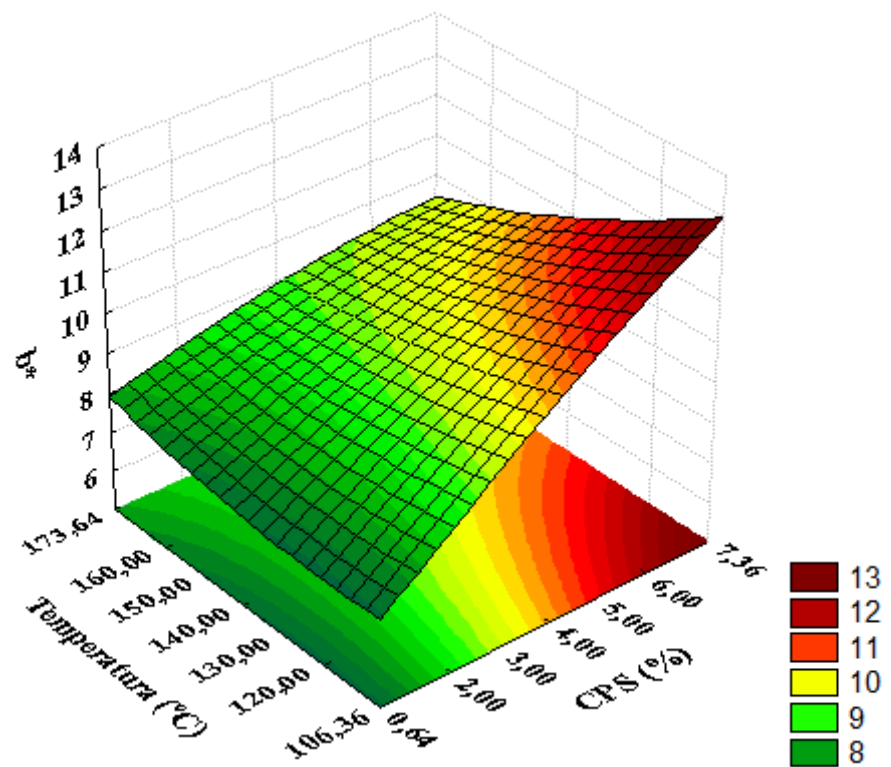
A cromaticidade *b*\* corresponde à coordenada azul-amarelo, em que valores negativos representam a cor azul e valores positivos a cor amarelo. Considerando este conceito, as farinhas mistas pré-gelatinizadas estudadas estão na faixa da cor amarelo.

O valor mais elevado foi encontrado no ensaio 4 (6 % CPS; 22 % umidade; 120 °C), seguido do ensaio 12 (4 % CPS; 23,36 % umidade; 140 °C), enquanto os menores valores foram observados no ensaio 7 (2 % CPS; 22 % umidade; 160 °C) e 1 (2 % CPS; 18 % umidade; 160 °C). Estes resultados apontam para a forte influência exercida pela formulação, ou seja, teores mais elevados de concentrado proteico tendem a elevar a cromaticidade *b*\*, principalmente quando associados a elevados conteúdos de umidade da mistura.

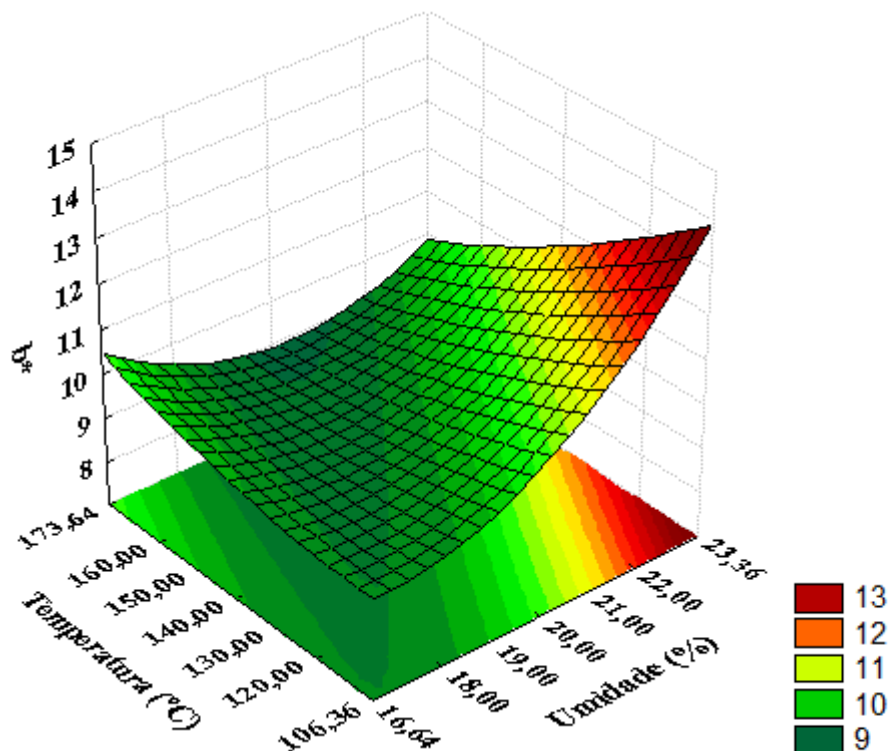




**Figura 17.** Efeito das variáveis quantitativas umidade (%) e CPS (%) na cromaticidade  $b^*$  das farinhas mistas extrudadas de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino.



**Figura 18.** Efeito das variáveis quantitativas temperatura (°C) e CPS (%) na cromaticidade  $b^*$  das farinhas mistas extrudadas de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino.



**Figura 19.** Efeito das variáveis quantitativas temperatura (°C) e umidade (%) na cromaticidade  $b^*$  das farinhas mistas extrudadas de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino.

#### 4.1.2.4 Cromaticidade $C^*$

O Croma  $C^*$  representa a saturação da cor e para as farinhas mistas extrudadas o valor deste parâmetro foi de 7,98 a 13,73 (Tabela 9).

Os resultados para o teste F da análise de variância, coeficiente de regressão, estimativa dos efeitos e respectivas probabilidades são apresentados na Tabela 16.

Analisando a Tabela 16 nota-se que o intercepto foi altamente significativo ( $p < 0,001$ ) e o coeficiente de determinação explica 89 % da cromaticidade  $C^*$  em torno da média, no entanto, a falta de ajuste do modelo quadrático aos dados foi verificada ( $p > 0,05$ ).

**Tabela 16.** Teste F da análise de variância, coeficiente de regressão, estimativa dos efeitos e respectivas probabilidades (P) do modelo de regressão quadrática aplicada à cromaticidade *c* das farinhas mistas extrudadas de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino, em função da formulação, umidade e temperatura.

Fator	Teste F	Coeficiente de Regressão	P	Estimativa dos Efeitos
Intercepto/ Média	--	9,350342	4,36E-12***	9,350342
X <sub>1</sub>	2,42E+02	1,09E+00	6,23E-05***	2,178625
X <sub>1</sub> <sup>2</sup>	1,55E+00	-8,48E-02	6,10E-01 <sup>n.s.</sup>	-0,169569
X <sub>2</sub>	7,28E+01	5,97E-01	4,79E-03**	1,194089
X <sub>2</sub> <sup>2</sup>	4,01E+01	4,31E-01	2,32E-02*	0,862553
X <sub>3</sub>	3,60E+01	-4,20E-01	2,95E-02*	-0,839677
X <sub>3</sub> <sup>2</sup>	2,27E+00	1,03E-01	5,39E-01 <sup>n.s.</sup>	0,205105
X <sub>1</sub> X <sub>2</sub>	2,52E+01	4,59E-01	5,99E-02*	0,917500
X <sub>1</sub> X <sub>3</sub>	1,78E+01	-3,86E-01	1,04E-01*	-0,772500
X <sub>2</sub> X <sub>3</sub>	2,60E+01	-4,66E-01	5,65E-02*	-0,932500
Falta de ajuste	1,02E+01	--	1,17E-02*	--
<b>R<sup>2</sup></b>		<b>0,89257</b>		

X<sub>1</sub>: Formulação: (%) concentrado proteico de soro de leite bovino na mistura com arroz polido.

X<sub>2</sub>: Umidade da mistura no processamento (%).

X<sub>3</sub>: Temperatura (°C) da última zona de aquecimento da extrusora Brabender.

p: Valor estatístico da probabilidade.

-- Não determinado.

<sup>n.s.</sup>: Não significativo.

\*: Significativo ao nível de 5 % de probabilidade.

\*\*: Significativo ao nível de 1 % de probabilidade.

\*\*\*: Significativo ao nível de 0,1 % de probabilidade.

Observa-se que a cromaticidade C\* foi influenciada estatisticamente pelas seguintes variáveis: efeito linear positivo da formulação ( $p < 0,001$ ), efeito linear ( $p < 0,01$ ) e quadrático ( $p < 0,05$ ) positivos da umidade, efeito linear negativo da temperatura ( $p < 0,05$ ), efeito positivo da interação entre formulação e umidade ( $p < 0,05$ ) e efeito negativo das demais interações ( $p < 0,05$ ).

O valor do F calculado apresentado na Tabela 17 é aproximadamente quatro vezes superior ao valor de F tabelado, o que torna possível utilizar a equação do modelo e os gráficos de superfície (Figuras 20, 21 e 22).

**Tabela 17.** Análise de variância simplificada para cromaticidade  $C^*$  das farinhas mistas extrudadas de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino.

Fonte de variação	SQ	GL	QM	Fcalculado	Ftabelado	p-valor
Regressão	30,78072	7	4,39725	13,0163	2,9134	9,53E-05
Resíduos	0,31176	2	0,33783			
Falta de ajuste	3,40781	5				
Erro puro	0,33433	5				
Total	34,83462	19				

SQ: Soma dos quadrados.

GL: Graus de liberdade.

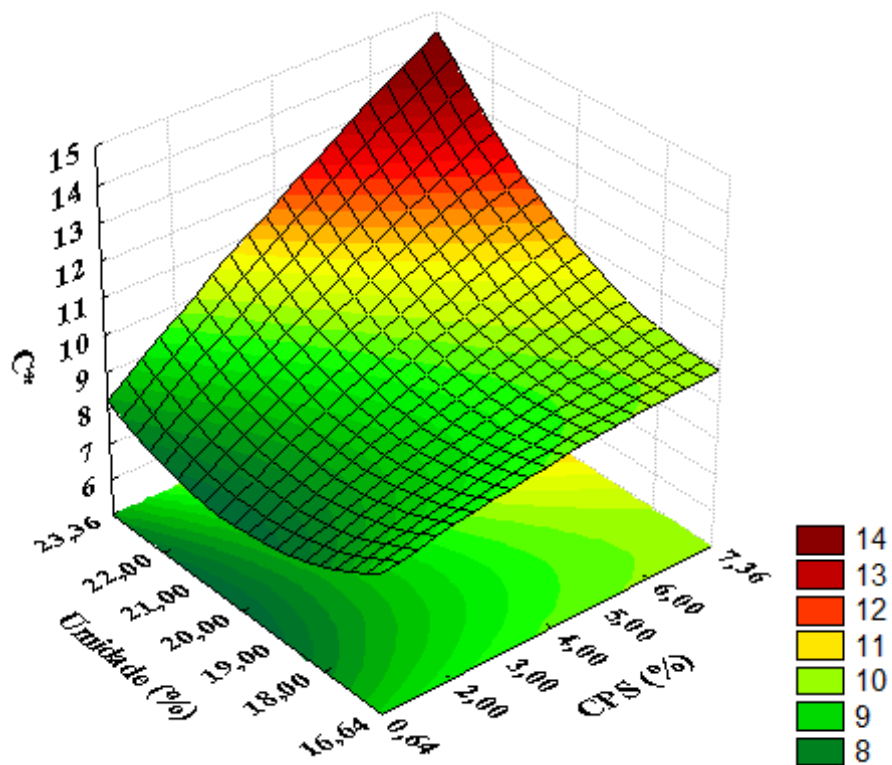
QM: Quadrados médios.

p: Valor estatístico da probabilidade.

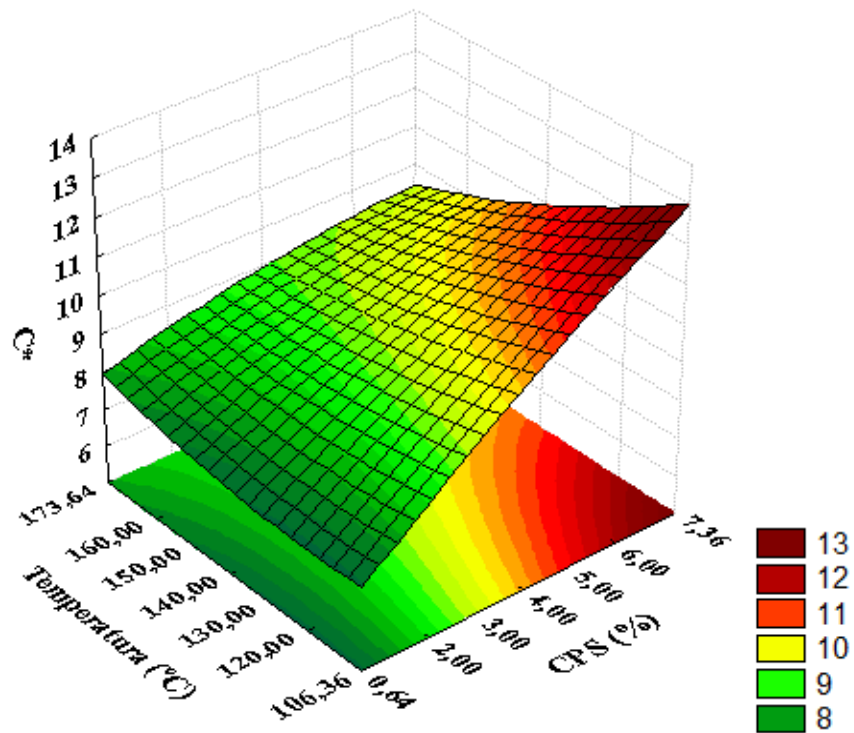
Por meio da análise de variância e da probabilidade estatística (Tabela 16), somente os coeficientes de regressão significativos ao nível de 95 a 99,9 % de confiança foram selecionados para o desenvolvimento da equação do modelo matemático proposto para as variáveis independentes codificadas (Equação 17), que fica restrita da seguinte maneira:

$$\text{Cromaticidade } C = 9,35 + 1,09X_1 + 0,60X_2 + 0,43X_2^2 - 0,42X_3 + 0,46X_1X_2 - 0,39X_1X_3 - 0,47X_2X_3 \quad (17)$$

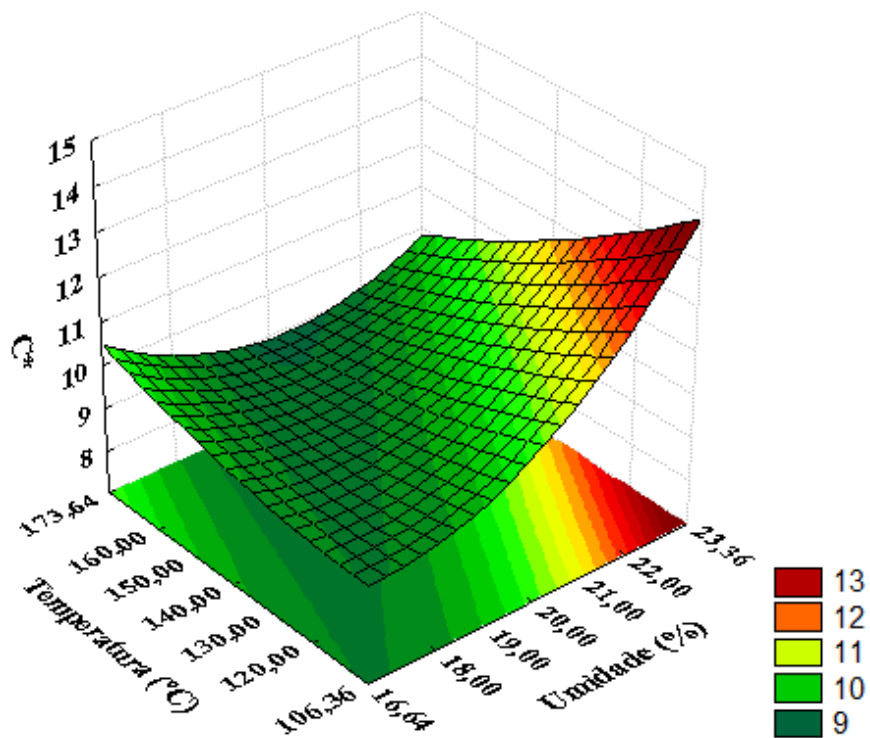
Assim como para os outros parâmetros de cor avaliados, o teor de concentrado proteico foi o fator que exerceu efeito de maior magnitude nos valores da cromaticidade  $C^*$ . Os resultados encontrados foram similares ao da cromaticidade  $b^*$



**Figura 20.** Efeito das variáveis quantitativas umidade (%) e CPS (%) na cromaticidade  $C^*$  das farinhas mistas extrudadas de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino.



**Figura 21.** Efeito das variáveis quantitativas temperatura (°C) e CPS (%) na cromaticidade  $C^*$  das farinhas mistas extrudadas de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino.



**Figura 22.** Efeito das variáveis quantitativas temperatura (°C) e umidade (%) na cromaticidade  $C^*$  das farinhas mistas extrudadas de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino.

#### 4.1.2.5 Ângulo hue

Analisando os resultados expressos na Tabela 18, verifica-se que o intercepto foi altamente significativo ( $P < 0,01$ ), indicando que o ponto central foi escolhido corretamente. Além disso, o coeficiente de determinação (0,79620), explica 80 % da variação total do ângulo hue em torno da média e 20 % atribui-se aos resíduos.

Não se evidencia falta de ajuste do modelo aos dados experimentais, uma vez que a variação devido à falta de ajuste não é estatisticamente significativa ( $P > 0,05$ ) (Tabela 18).

**Tabela 18.** Teste F da análise de variância, coeficiente de regressão, estimativa dos efeitos e respectivas probabilidades (P) do modelo de regressão quadrática aplicada ao ângulo hue (h°) das farinhas mistas extrudadas de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino, em função da formulação, umidade e temperatura.

Fator	Teste F	Coeficiente de Regressão	p	Estimativa dos Efeitos
Intercepto/ Média	--	92,12324	6,55E-20**	92,12324
X <sub>1</sub>	1,33E+01	-9,07E-01	1,48E-02*	-1,81376
X <sub>1</sub> <sup>2</sup>	3,13E-01	1,35E-01	6,00E-01 <sup>n.s.</sup>	0,27055
X <sub>2</sub>	8,77E+00	-7,36E-01	3,15E-02*	-1,47188
X <sub>2</sub> <sup>2</sup>	8,91E+00	-7,22E-01	3,06E-02*	-1,44376
X <sub>3</sub>	8,17E+00	7,10E-01	3,54E-02*	1,42096
X <sub>3</sub> <sup>2</sup>	1,70E-01	-9,98E-02	6,97E-01 <sup>n.s.</sup>	-0,19956
X <sub>1</sub> X <sub>2</sub>	4,50E+00	-6,89E-01	8,74E-02 <sup>n.s.</sup>	-1,37750
X <sub>1</sub> X <sub>3</sub>	1,09E+00	3,39E-01	3,45E-01 <sup>n.s.</sup>	0,67750
X <sub>2</sub> X <sub>3</sub>	3,27E-02	-5,88E-02	8,64E-01 <sup>n.s.</sup>	-0,11750
Falta de ajuste	1,33E+00	--	3,80E-01 <sup>n.s.</sup>	--
<b>R<sup>2</sup></b>		<b>0,79620</b>		

X<sub>1</sub>: Formulação: (%) concentrado proteico de soro de leite bovino na mistura com arroz polido.

X<sub>2</sub>: Umidade da mistura no processamento (%).

X<sub>3</sub>: Temperatura (°C) da última zona de aquecimento da extrusora Brabender.

p: Valor estatístico da probabilidade.

-- Não determinado.

<sup>n.s.</sup>: Não significativo.

\*: Significativo ao nível de 5 % de probabilidade.

\*\* : Significativo ao nível de 0,1 % de probabilidade.

A análise dos coeficientes de regressão mostra que apenas a variável linear da formulação ( $p < 0,05$ ), umidade ( $p < 0,05$ ) e temperatura ( $p < 0,05$ ), assim como a variável quadrática da umidade ( $p < 0,05$ ) contribuem na variável resposta, todas com efeito negativo, exceto a temperatura.

Tomando como base os valores de F calculado e F tabelado descritos na Tabela 19, a equação que representa o modelo e as superfícies de resposta foram geradas.

**Tabela 19.** Análise de variância simplificada para ângulo hue das farinhas mistas extrudadas de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino.

Fonte de variação	SQ	GL	QM	Fcalculado	Ftabelado	p-valor
Regressão	33,03735	4	8,25934	8,1321	3,0556	1,07E-03
Resíduos	5,39682	5	1,01565			
Falta de ajuste	5,62097	5				
Erro puro	4,21695	5				
Total	48,27209	19				

SQ: Soma dos quadrados.

GL: Graus de liberdade.

QM: Quadrados médios.

p: Valor estatístico da probabilidade.

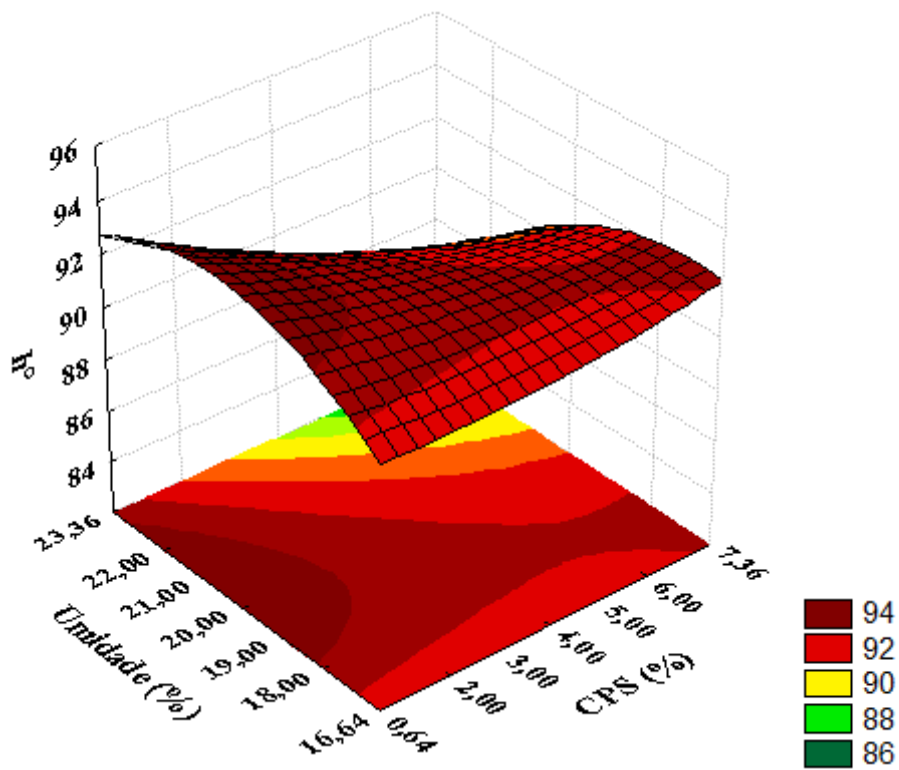
Fazendo uso dos coeficientes de regressão significativos ao nível de 95 a 99,9 % de confiança a equação do modelo matemático proposto para as variáveis independentes codificadas (Equação 18) foi desenvolvida e fica restrita como:

$$\hat{\text{Ângulo Hue}} = 92,12 - 0,91X_1 - 0,74X_2 - 0,72X_2^2 + 0,71X_3$$

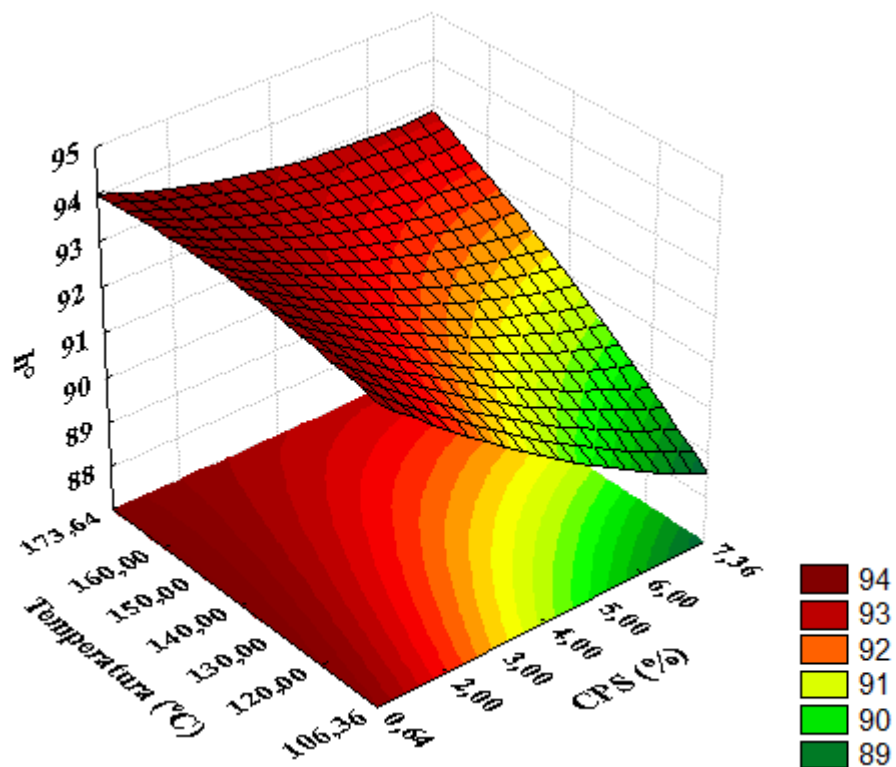
(18)

As Figuras 23, 24 e 25, desenhadas utilizando a equação 18, mostram claramente o efeito exercido pelas variáveis independentes sobre o ângulo hue.

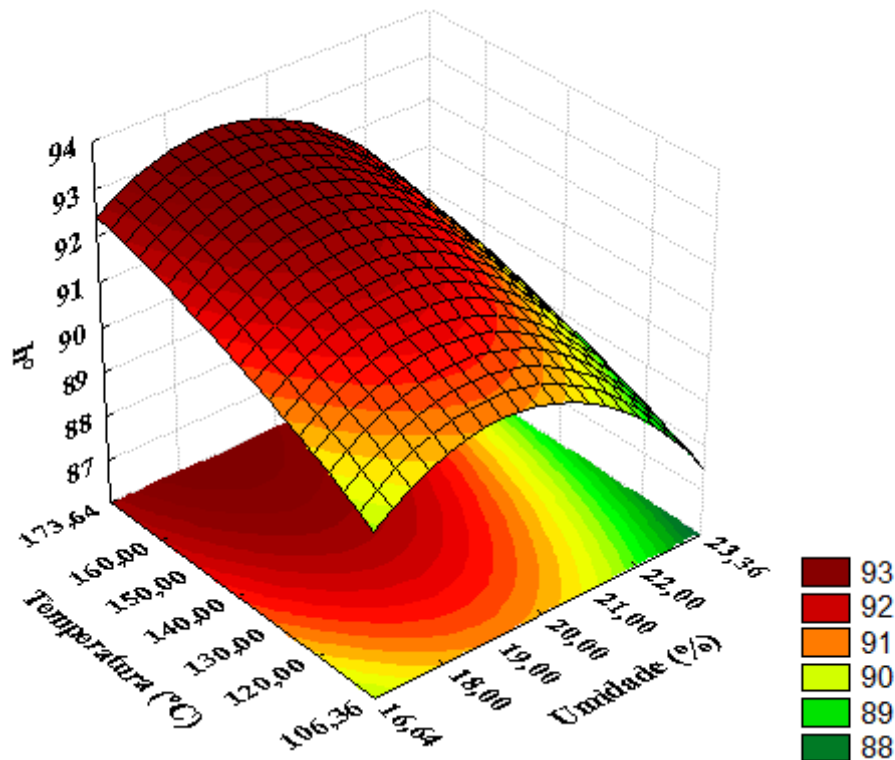




**Figura 23.** Efeito das variáveis quantitativas umidade (%) e CPS (%) no ângulo hue ( $h^\circ$ ) das farinhas mistas extrudadas de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino.



**Figura 24.** Efeito das variáveis quantitativas temperatura (°C) e CPS (%) no ângulo hue ( $h^\circ$ ) das farinhas mistas extrudadas de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino.



**Figura 25.** Efeito das variáveis quantitativas temperatura (°C) e umidade (%) no ângulo hue (h°) das farinhas mistas extrudadas de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino.

O ângulo Hue é definido como iniciando no eixo +a e é expresso em graus, sendo que 0° corresponde a + a (vermelho), 90° corresponde a + b (amarelo), 180° corresponde a – a (verde) e 270° corresponde a – b (azul).

Considerando os resultados encontrados (Tabela 9), observa-se que as farinhas mistas extrudadas apresentaram ângulo hue variando de 87,59 ° a 93,77 °. Assim, pode-se afirmar que as amostras são compostas de maiores intensidades de amarelo.

Analisando as figuras acima, nota-se que valores mais elevados são encontrados quando as condições de processamento garantem temperatura mais elevada e umidade intermediária.

#### 4.1.3 Caracterização visual dos extrudados expandidos de arroz e concentrado proteico

As amostras de extrudados expandidos também foram avaliadas por meio do uso de imagens obtidas por um “scanner” com a finalidade de verificar as diferenças provocadas pelas condições de processamento, tais como teor de concentrado proteico nas amostras, umidade da mistura e temperatura na 3ª zona do extrusor, na estrutura interna dos extrudados produzidos.

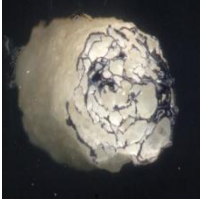
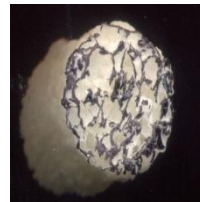
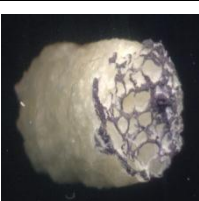
Sabe-se que a disposição das células internas dos extrudados, bem como os componentes presentes em sua constituição, conferem ao produto final diferentes texturas e, portanto, relacionam-se diretamente com a aceitação do mesmo.

Em geral, extrudados que possuem células grandes e com paredes muito espessas apresentam maior dureza, no entanto, quando a estrutura interna é homogênea, ou seja, quando os compartimentos de ar têm tamanhos similares, e as paredes são finas, há facilidade de ruptura do produto quando mastigado, sendo esta característica desejável pelos consumidores.

As imagens com o corte radial das amostras de expandidos escaneadas mostrando a estrutura interna das células (tamanho e forma) estão apresentadas no Quadro 5.

Ao analisar as imagens abaixo observa-se que todas as amostras com menor percentual de umidade (16,64 % e 18 %) apresentaram células mais homogêneas. Já os extrudados processados com alta temperatura (igual ou superior a 160 °C) ficaram quebradiços e não apresentaram uniformidade.

Vale ressaltar que de acordo com o grau de gelatinização ocorrido durante o processamento, avaliado a partir da caracterização química, física e tecnológica, cada uma das amostras pode ser direcionada para a elaboração de produtos diferenciados.

1 (2 % CPS; 18 % U; 120 °C)	2 (6 % CPS; 18 % U; 120 °C)	3 (2 % CPS; 22 % U; 120 °C)	4 (6 % CPS; 22 % U; 120 °C)	5 (2 % CPS; 18 % U; 160 °C)
				
6 (6 % CPS; 18 % U; 160 °C)	7 (2 % CPS; 22 % U; 160 °C)	8 (6 % CPS; 22 % U; 160 °C)	9 (0,64 % CPS; 20 % U; 140 °C)	10 (7,36 % CPS; 20 % U; 140 °C)
				
11 (4 % CPS; 16,64 % U; 140 °C)	12 (4 % CPS; 23,36 % U; 140 °C)	13 (4 % CPS; 20 % U; 106,36 °C)	14 (4 % CPS; 20 % U; 173,64 °C)	15 (4 % CPS; 20 % U; 140 °C)
				
16 (4 % CPS; 20 % U; 140 °C)	17 (4 % CPS; 20 % U; 140 °C)	18 (4 % CPS; 20 % U; 140 °C)	19 (4 % CPS; 20 % U; 140 °C)	20 (4 % CPS; 20 % U; 140 °C)
				

**Quadro 5.** Corte radial dos expandidos de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino (CPS) processados em diferentes condições de umidade (U) e temperatura.

#### 4.1.4 Densidade absoluta e volume total de poros de farinhas mistas pré-gelatinizadas

A densidade absoluta é a diferença entre o volume total de poros e o "bulk" ou volume envelope, que representa o volume real de poros abertos (WEBB, 2001).

Webb e Orr (1997) afirmam que as partículas finas exercem papel fundamental na determinação de características que envolvem os processos de dissolução e absorção. Em geral, o tamanho, a área ou a porosidade das partículas individuais ou a aglutinação de partículas devem ser controladas a fim de aperfeiçoar o efeito desejado.

Para a medição da densidade e porosidade de pós o método mais eficiente é a picnometria à gás, tendo em vista que existe uma diferença de granulometria onde o gás quando inserido ao sistema tem a capacidade de penetrar nos poros e diminuir a interferência do ar. O gás hélio é recomendado uma vez que as pequenas dimensões atômicas asseguram uma penetração entre as cavidades e poros com aproximadamente 1 Angstrom em dimensões (MOURA e FIGUEIREDO, 2002).

Os resultados de densidade absoluta das farinhas mistas extrudadas e das matérias-primas utilizadas podem ser observados na Tabela 20. Para as farinhas mistas os valores de densidade absoluta variaram de 1,3732 a 1,4930 g/cm<sup>3</sup>, enquanto para a farinha de arroz e para o concentrado proteico de soro de leite bovino foi de 1,4818 e 1,3033 g/cm<sup>3</sup>. Resultados similares foram descritos por Nascimento (2010) ao avaliar os extrudados de milho e gergelim, que apresentaram densidade de 1,4589 a 1,4964 g/cm<sup>3</sup> e por Silva (2010), que analisou extrudados de milho e feijão e obteve valores entre 1,4662 e 1,4916 g/cm<sup>3</sup>.

O teste F da análise de variância (Tabela 21) aplicado à densidade absoluta das farinhas mistas extrudadas indica que apenas a umidade ( $p < 0,01$ ) e a temperatura ( $p < 0,05$ ), na sua forma linear, influenciaram significativamente a densidade. Ambas apresentaram efeito positivo, assim, o aumento da umidade e da temperatura leva ao aumento da densidade absoluta, entretanto, a umidade exerce efeito predominante.

O coeficiente de regressão obtido indica que 88 % da variação total dos dados foi explicada pelo modelo utilizado, e, não foi observada falta de ajuste (Tabela 21). A análise de variância simplificada (Tabela 22) mostra que o valor do F calculado é aproximadamente sete vezes maior do que o valor do F tabelado, sendo possível, então, gerar o modelo da equação que representa os resultados obtidos e a superfície de contorno correspondente (Figura 26).

**Tabela 20.** Densidade absoluta e volume total de poros de farinhas mistas extrudadas de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino e matérias-primas.

Ensaio	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	$\rho_{abs}$ (g/cm <sup>3</sup> )	Volume total de poros (cm <sup>3</sup> )
1	2,0	18,0	120	1,3896	0,2803
2	6,0	18,0	120	1,3732	0,2718
3	2,0	22,0	120	1,4930	0,3302
4	6,0	22,0	120	1,4832	0,3258
5	2,0	18,0	160	1,4462	0,3085
6	6,0	18,0	160	1,4591	0,3146
7	2,0	22,0	160	1,4778	0,3233
8	6,0	22,0	160	1,5067	0,3363
9	0,64	20,0	140	1,4569	0,3136
10	7,36	20,0	140	1,4252	0,2984
11	4,0	16,64	140	1,4011	0,2863
12	4,0	23,36	140	1,4927	0,3301
13	4,0	20,0	106,36	1,3974	0,2844
14	4,0	20,0	173,64	1,4764	0,3227
15	4,0	20,0	140	1,4742	0,3217
16	4,0	20,0	140	1,4445	0,3077
17	4,0	20,0	140	1,4804	0,3245
18	4,0	20,0	140	1,4617	0,3159
19	4,0	20,0	140	1,4461	0,3085
20	4,0	20,0	140	1,4299	0,3007
<b>Farinha de Arroz</b>	--	--	--	1,4818	0,32515
<b>CPS</b>	--	--	--	1,30325	0,23265

X<sub>1</sub>: Formulação: (%) concentrado proteico de soro de leite bovino na mistura com arroz polido.

X<sub>2</sub>: Umidade da mistura no processamento (%).

X<sub>3</sub>: Temperatura (°C) da última zona de aquecimento do extrusor Brabender.

$\rho_{abs}$ : Densidade absoluta.

CPS: Concentrado proteico de soro de leite bovino.

**Tabela 21.** Teste F da análise de variância, coeficiente de regressão, estimativa dos efeitos e respectivas probabilidades (P) do modelo de regressão quadrática aplicada a densidade absoluta ( $\text{g/cm}^3$ ) das farinhas mistas extrudadas de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino, em função da formulação, umidade e temperatura.

Fator	Teste F	Coeficiente de Regressão	p	Estimativa dos Efeitos
Intercepto/ Média	--	1,455679	8,90E-11***	1,455679
X <sub>1</sub>	2,79E-01	-2,77E-03	6,20E-01 <sup>n.s.</sup>	-0,005536
X <sub>1</sub> <sup>2</sup>	2,64E-01	-2,62E-03	6,29E-01 <sup>n.s.</sup>	-0,005239
X <sub>2</sub>	3,90E+01	3,27E-02	1,54E-03**	0,065407
X <sub>2</sub> <sup>2</sup>	1,13E-02	-5,43E-04	9,19E-01 <sup>n.s.</sup>	-0,001086
X <sub>3</sub>	1,57E+01	2,08E-02	1,07E-02*	0,041525
X <sub>3</sub> <sup>2</sup>	6,40E-01	-4,08E-03	4,60E-01 <sup>n.s.</sup>	-0,008155
X <sub>1</sub> X <sub>2</sub>	1,69E-01	2,81E-03	6,98E-01 <sup>n.s.</sup>	0,005625
X <sub>1</sub> X <sub>3</sub>	1,54E+00	8,50E-03	2,69E-01 <sup>n.s.</sup>	0,017000
X <sub>2</sub> X <sub>3</sub>	6,01E+00	-1,68E-02	5,78E-02 <sup>n.s.</sup>	-0,033550
Falta de ajuste	7,09E-01	--	6,42E-01 <sup>n.s.</sup>	--
<b>R<sup>2</sup></b>			<b>0,88147</b>	

X<sub>1</sub>: Formulação: (%) concentrado proteico de soro de leite bovino na mistura com arroz polido.

X<sub>2</sub>: Umidade da mistura no processamento (%).

X<sub>3</sub>: Temperatura (°C) da última zona de aquecimento da extrusora Brabender.

p: Valor estatístico da probabilidade.

-- Não determinado.

<sup>n.s.</sup>: Não significativo.

\*: Significativo ao nível de 5 % de probabilidade.

\*\* : Significativo ao nível de 1 % de probabilidade.

\*\*\*: Significativo ao nível de 0,1 % de probabilidade.

**Tabela 22.** Análise de variância simplificada para a densidade absoluta de farinhas mistas extrudadas de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino.

Fonte de variação	SQ	GL	QM	Fcalculado	Ftabelado	p-valor
Regressão	0,0205	2	0,010248	26,7695	3,5915	5,59E-06
Resíduos	0,0033	7	0,000383			
Falta de ajuste	0,0013	5				
Erro puro	0,0019	5				
<b>Total</b>	<b>0,0270</b>	<b>19</b>				

SQ: Soma dos quadrados.  
 GL: Graus de liberdade.  
 QM: Quadrados médios.  
 p: Valor estatístico da probabilidade.

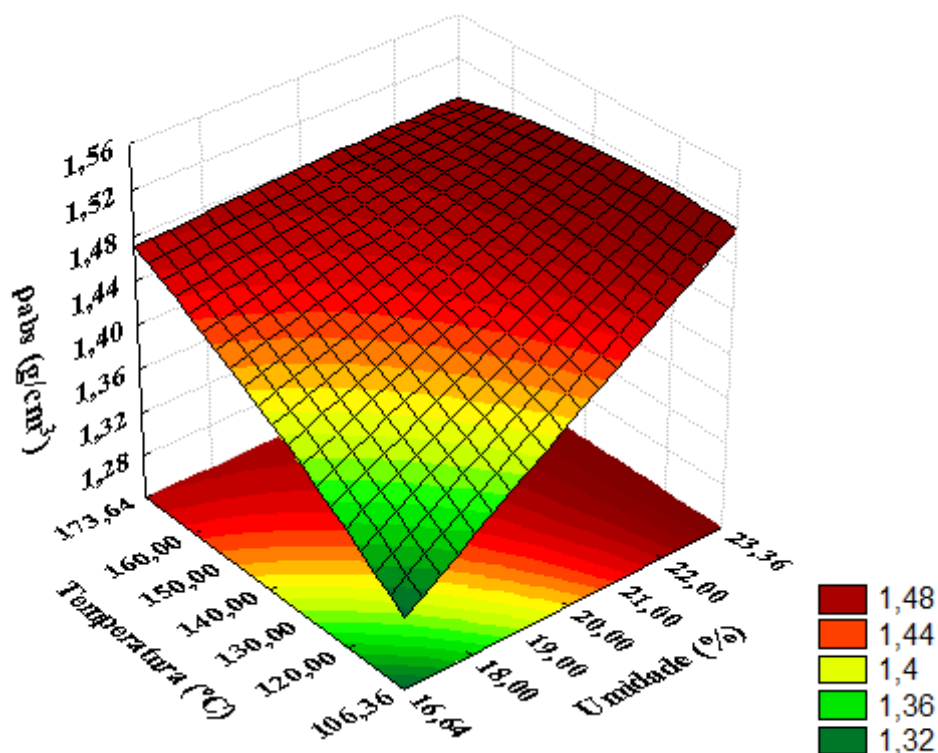
Considerando apenas os coeficientes significativos, a equação do modelo matemático proposta fica restrita como (Equação 19):

$$\rho_{abs} = 1,46 + 0,03X_2 + 0,02X_3 \quad (19)$$

Na Figura 26 está representado o efeito da temperatura e da umidade na densidade aparente. Os maiores valores encontrados 1,4930 e 1,4927 g/cm<sup>3</sup> foram para amostras com elevado conteúdo de umidade, sendo 22 % (ensaio 3) e 23,36 % (ensaio 12), respectivamente.

Diferente do observado no presente estudo, a  $\rho_{abs}$  dos extrudados de arroz adicionados de gergelim desenvolvidos por Borges (2012) foi afetada pelo teor de gergelim nas misturas (efeito quadrático negativo), pela interação entre umidade e teor de gergelim (efeito negativo), além da umidade na sua forma linear (efeito negativo) e quadrática (efeito positivo).





**Figura 26.** Efeito das variáveis quantitativas temperatura (°C) e umidade (%) na densidade absoluta (g/cm<sup>3</sup>) das farinhas mistas extrudadas de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino.

Mata e Duarte (2002) citam que a porosidade de um produto representa uma das características físicas mais importantes no processo produtivo, pois relaciona-se ao dimensionamento de várias estruturas, tais como caixas, embalagens e unidades transportadoras.

Santana e Gasparetto (2009) afirmam que quando se utiliza a densidade real fornecida pelo picnômetro a gás os resultados obtidos são menos sujeitos a erros, sendo, portanto, mais confiáveis do que os que são fornecidos por outras técnicas. Dessa forma, os resultados obtidos no presente estudo representam valores fidedignos.

Os dados apresentados na Tabela 20 mostram que o volume total de poros das farinhas mistas extrudadas variou entre 0,2718 a 0,32515 cm<sup>3</sup>; para farinha de arroz polido o valor foi de 0,32515 cm<sup>3</sup> e para o concentrado proteico foi 0,23265 cm<sup>3</sup>.

Na Tabela 23 verifica-se que os parâmetros umidade ( $p < 0,01$ ) e temperatura ( $p < 0,01$ ) afetaram significativamente o volume total de poros; ambos apresentaram efeito linear positivo. A interação ( $p < 0,05$ ) entre estes dois parâmetros também influenciou a porosidade das farinhas mistas, entretanto, o efeito foi negativo.

**Tabela 23.** Teste F da análise de variância, coeficiente de regressão, estimativa dos efeitos e respectivas probabilidades (P) do modelo de regressão quadrática aplicada ao volume total de poros (cm<sup>3</sup>) das farinhas mistas extrudadas de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino, em função da formulação, umidade e temperatura.

Fator	Teste F	Coeficiente de Regressão	P	Estimativa dos Efeitos
Intercepto/ Média		0,312944	4,51E-09***	0,312944
X <sub>1</sub>	3,33E-01	-1,42E-03	5,89E-01 <sup>n.s.</sup>	-0,002848
X <sub>1</sub> <sup>2</sup>	2,89E-01	-1,29E-03	6,14E-01 <sup>n.s.</sup>	-0,002582
X <sub>2</sub>	4,02E+01	1,57E-02	1,44E-03**	0,031320
X <sub>2</sub> <sup>2</sup>	4,56E-02	-5,13E-04	8,39E-01 <sup>n.s.</sup>	-0,001027
X <sub>3</sub>	1,70E+01	1,02E-02	9,16E-03**	0,020357
X <sub>3</sub> <sup>2</sup>	7,99E-01	-2,15E-03	4,12E-01 <sup>n.s.</sup>	-0,004296
X <sub>1</sub> X <sub>2</sub>	1,82E-01	1,37E-03	6,88E-01 <sup>n.s.</sup>	0,002750
X <sub>1</sub> X <sub>3</sub>	1,55E+00	4,01E-03	2,69E-01 <sup>n.s.</sup>	0,008025
X <sub>2</sub> X <sub>3</sub>	6,82E+00	-8,42E-03	4,76E-02*	-0,016850
Falta de ajuste	6,89E-01		6,54E-01 <sup>n.s.</sup>	
<b>R<sup>2</sup></b>		<b>0,88822</b>		

X<sub>1</sub>: Formulação: (%) concentrado proteico de soro de leite bovino na mistura com arroz polido.

X<sub>2</sub>: Umidade da mistura no processamento (%).

X<sub>3</sub>: Temperatura (°C) da última zona de aquecimento da extrusora Brabender.

p: Valor estatístico da probabilidade.

-- Não determinado.

<sup>n.s.</sup>: Não significativo.

\*: Significativo ao nível de 5 % de probabilidade.

\*\* : Significativo ao nível de 1 % de probabilidade.

\*\*\*: Significativo ao nível de 0,1 % de probabilidade.

Observando a Tabela 23 verifica-se que 89 % da variação total foi explicada pelo modelo proposto, atribuindo-se apenas 11 % aos resíduos, além disso, não foi evidenciada falta de ajuste dos dados ao modelo quadrático aplicado e o valor de F calculado foi superior ao valor do F tabelado em cerca de nove vezes (Tabela 24). Assim, o modelo pode ser considerado preditivo e podem ser gerados a equação e a superfície de resposta equivalente.

**Tabela 24.** Análise de variância simplificada para o volume total de poros de farinhas mistas extrudadas de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino.

Fonte de variação	SQ	GL	QM	Fcalculado	Ftabelado	p-valor
Regressão	0,0053	3	0,001777	29,6531	3,2389	9,05E-07
Resíduos	0,0003	6	0,000060			
Falta de ajuste	0,0003	5				
Erro puro	0,0004	5				
Total	0,0063	19				

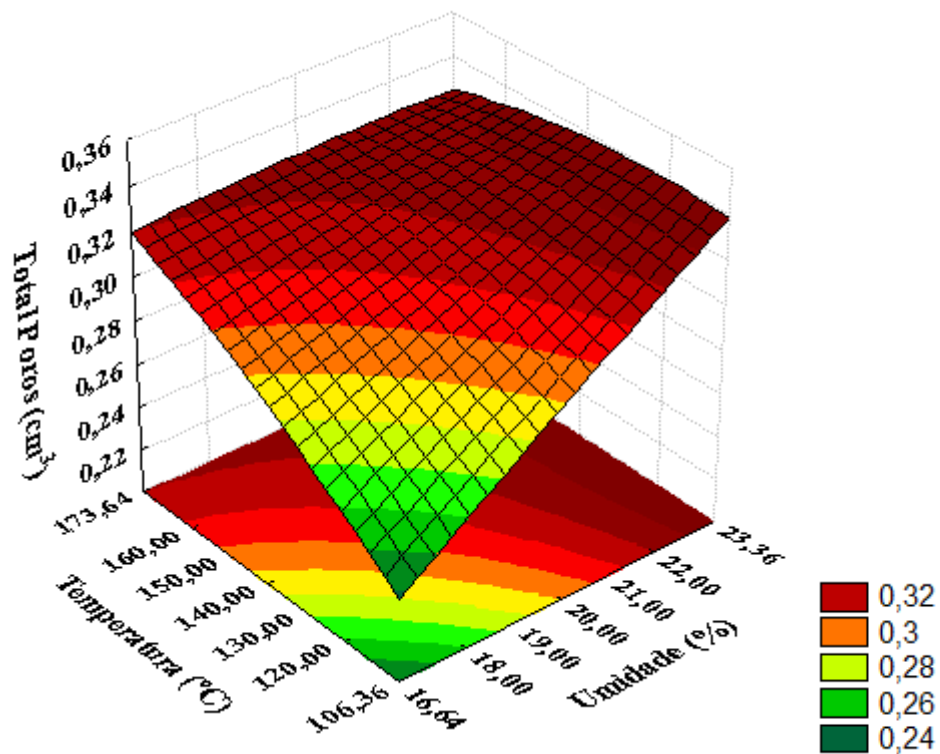
A partir das considerações realizadas por meio da análise de variância e fazendo uso dos coeficientes observados, a equação do modelo matemático proposta para as variáveis independentes significativas fica restrita do seguinte modo (Equação 20):

$$\text{Volume Total de Poros} = 0,31 + 0,016X_2 + 0,010X_3 - 0,008 X_2X_3 \quad (20)$$

A superfície de resposta apresentada abaixo (Figura 27) representa o efeito da temperatura e da umidade nos valores do volume total de poros.

Analisando a superfície, observa-se que o volume total de poros aumenta com o incremento da umidade e da temperatura, atingindo o seu máximo quando se utiliza 22 % de umidade e 160 °C (0,3363 cm<sup>3</sup>). Os menores valores encontrados foram 0,2718 e 0,2803 cm<sup>3</sup>, ambos processados a 120 °C e com 18 % de umidade.

No estudo realizado por Borges (2012) com extrudados de arroz e milho enriquecidos com gergelim nenhuma das variáveis independentes estudadas apresentou efeito significativo para o volume total de poros. Entretanto, Silva (2010) relatou que a rotação do parafuso, a umidade, a formulação e as interações da umidade com a rotação e com a formulação influenciaram esta variável resposta.

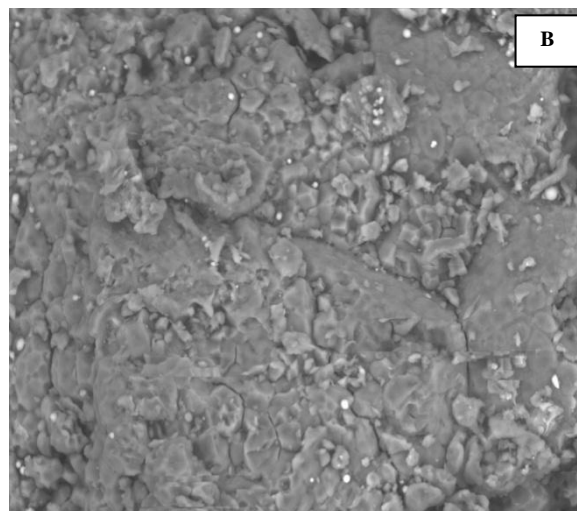
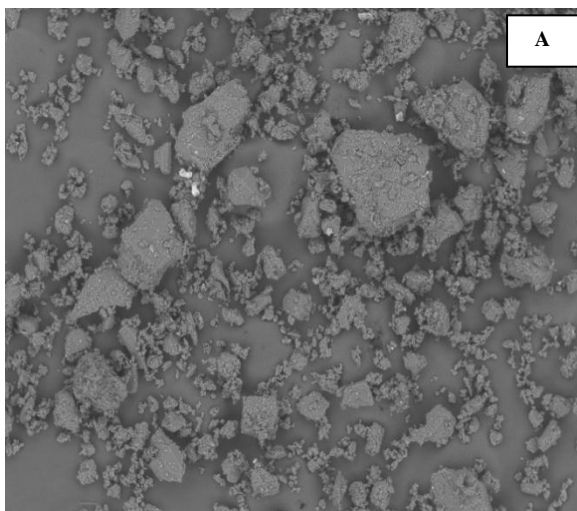


**Figura 27.** Efeito das variáveis quantitativas temperatura (°C) e umidade (%) no volume total de poros (cm<sup>3</sup>) das farinhas mistas extrudadas de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino.

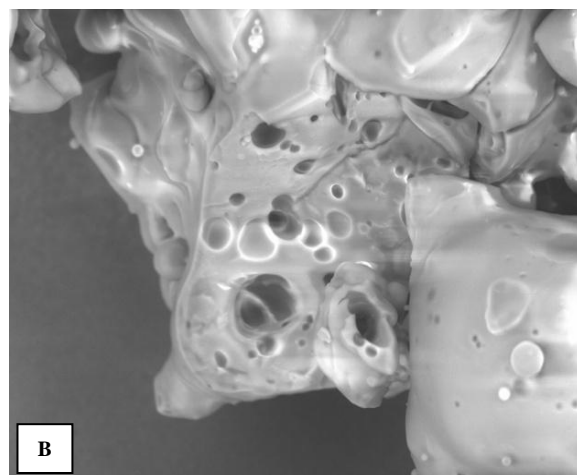
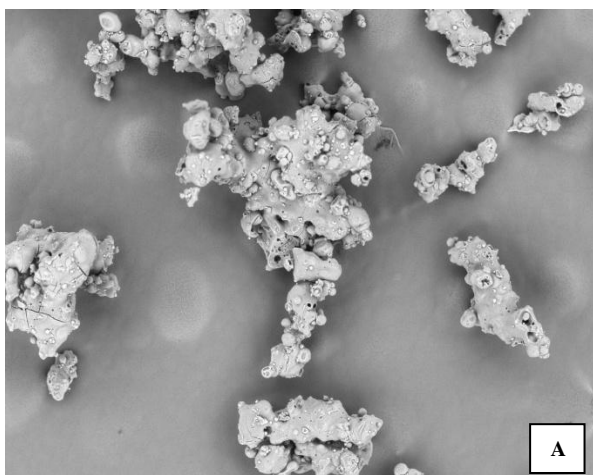
## 4.2 Caracterização de Microestrutura e Cristalinidade

### 4.2.1 Microscopia eletrônica de varredura (MEV) das matérias-primas e farinhas mistas extrudadas

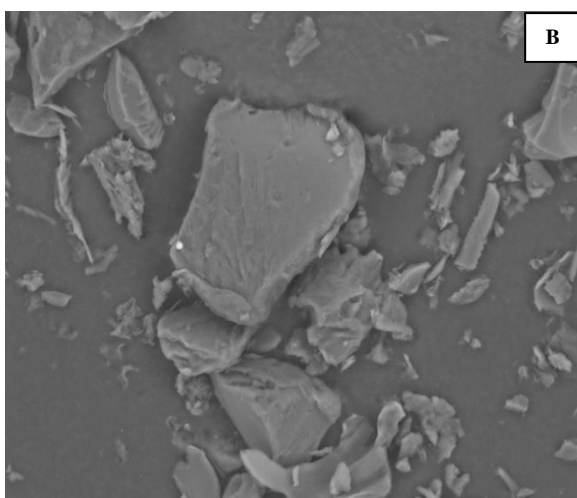
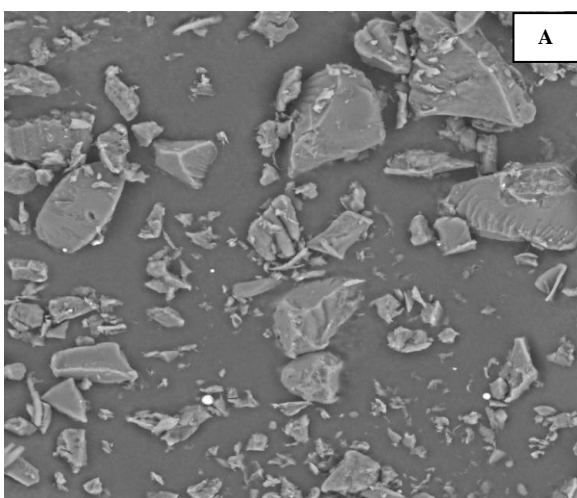
As micrografias da farinha de arroz branco crua, do concentrado proteico e das farinhas mistas pré-gelatinizadas à base de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino estão expostas nas Figuras 28 a 39.



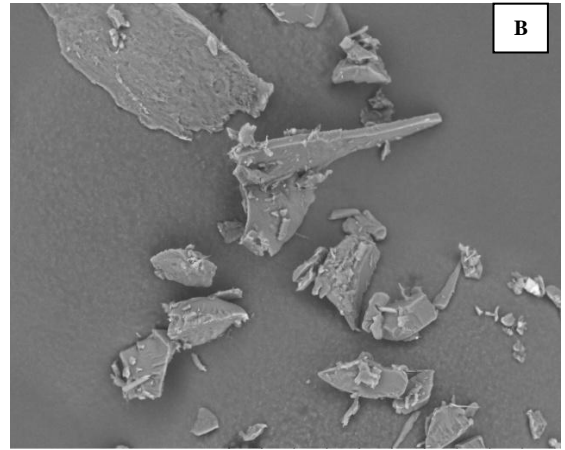
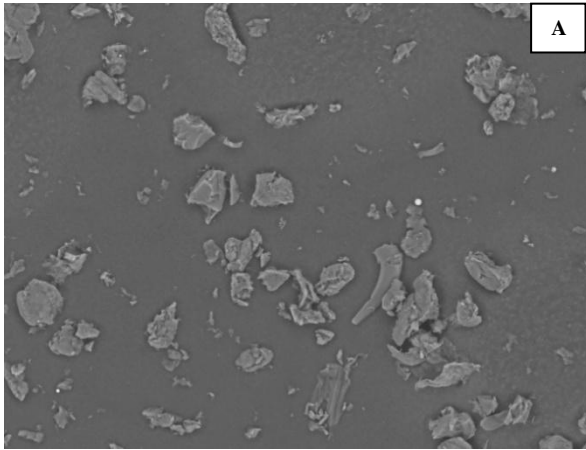
**Figura 28.** Micrografias obtida por MEV de farinha de arroz branco polido, aumento de 100x (A) e 1,0k (B).



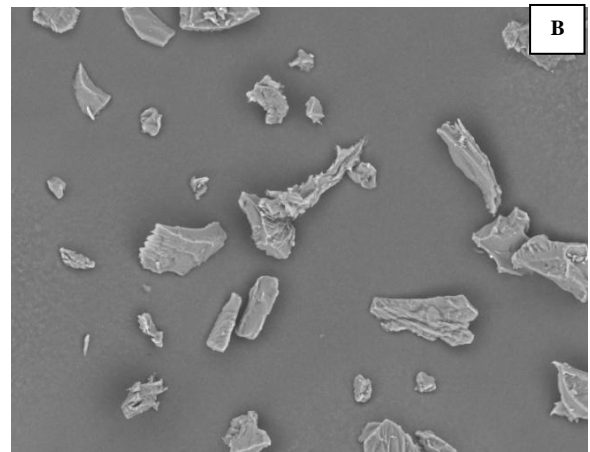
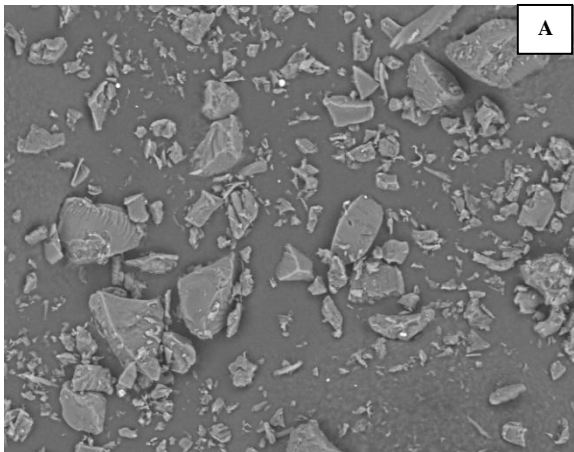
**Figura 29.** Micrografias obtida por MEV de concentrado proteico de soro de leite bovino, aumento de 100x (A) e 1,2k (B).



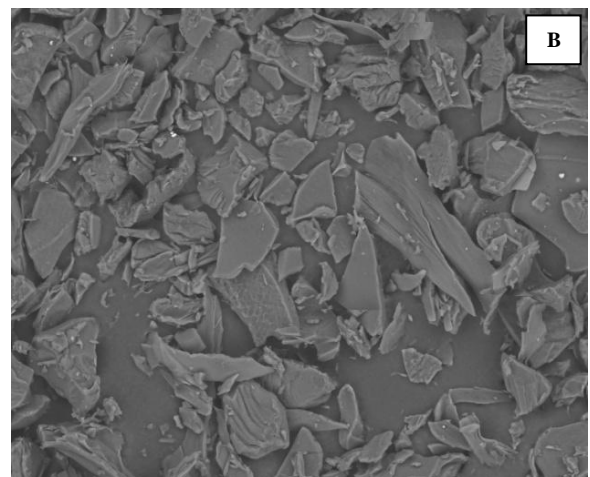
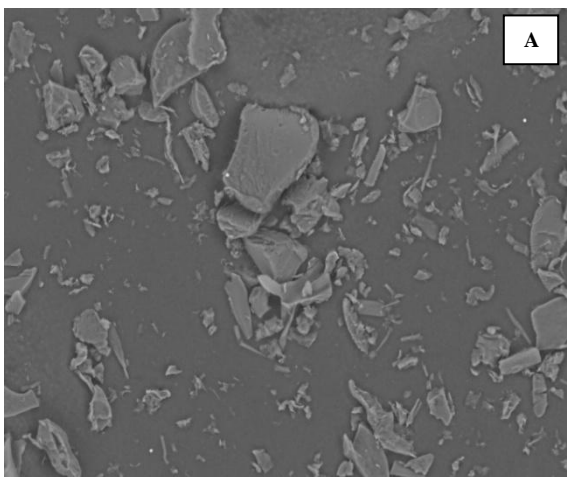
**Figura 30.** Micrografias obtida por MEV de farinha mista extrudada referente aos ensaios 1 (A) e 2 (B), aumento de 500x (A) e 1,0k (B).



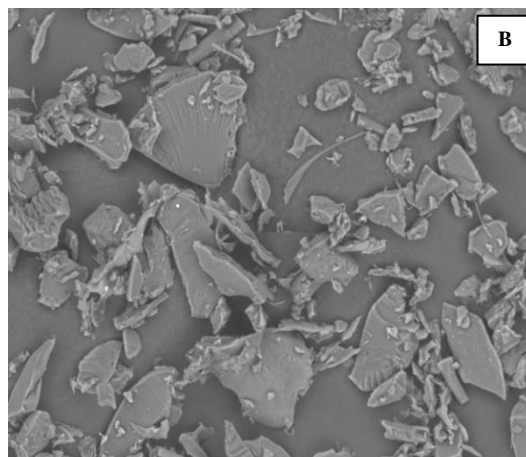
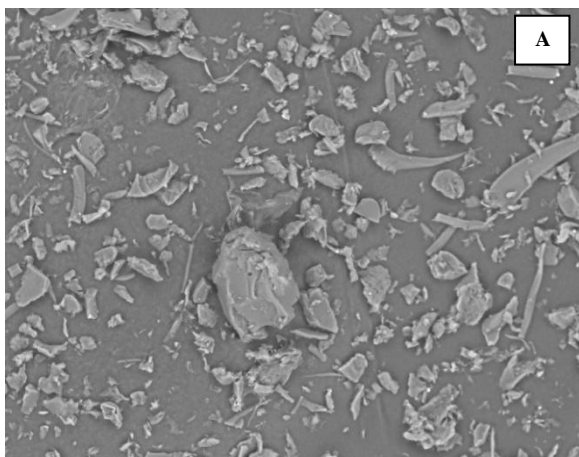
**Figura 31.** Micrografias obtida por MEV de farinha mista extrudada referente aos ensaios 3 (A) e 4 (B), aumento de 500x.



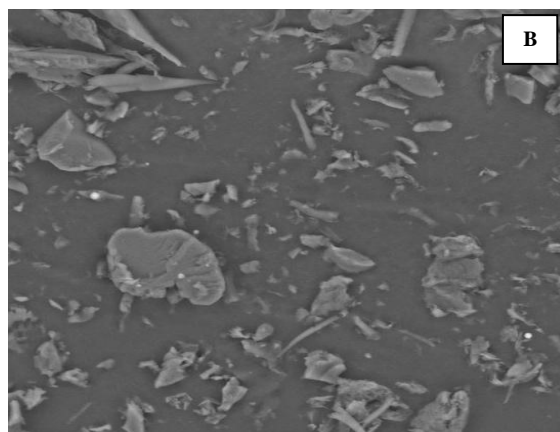
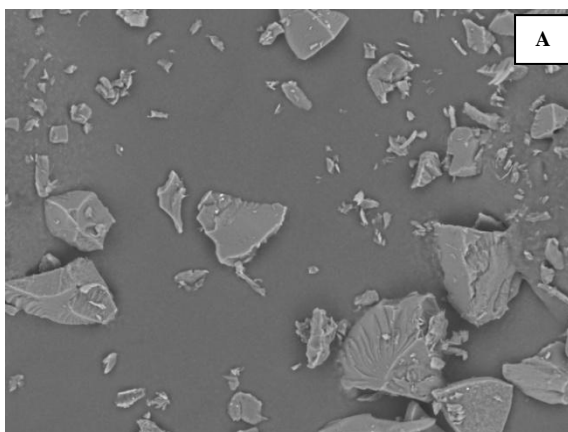
**Figura 32.** Micrografias obtida por MEV de farinha mista extrudada referente aos ensaios 5 (A) e 6 (B), aumento de 500x.



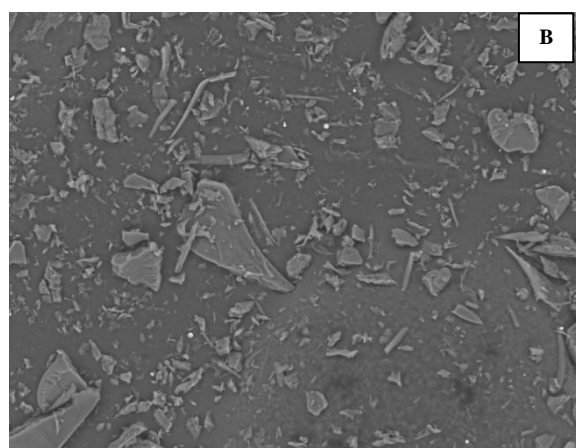
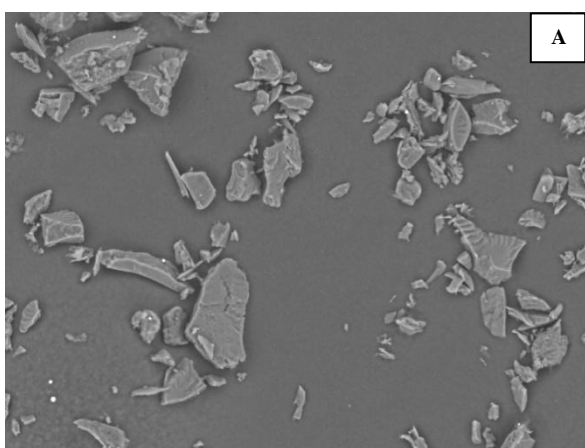
**Figura 33.** Micrografias obtida por MEV de farinha mista extrudada referente aos ensaios 7 (A) e 8 (B), aumento de 500x.



**Figura 34.** Micrografias obtida por MEV de farinha mista extrudada referente aos ensaios 9 (A) e 10 (B), aumento de 500x.

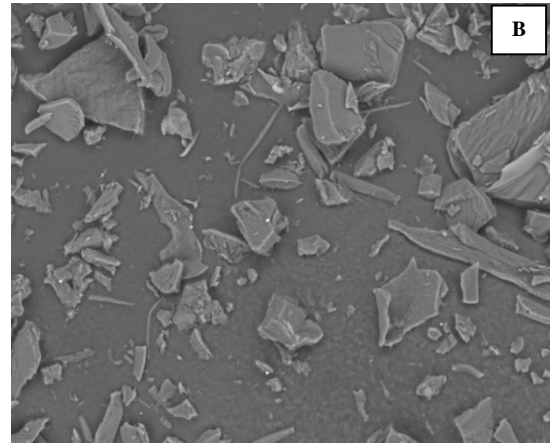
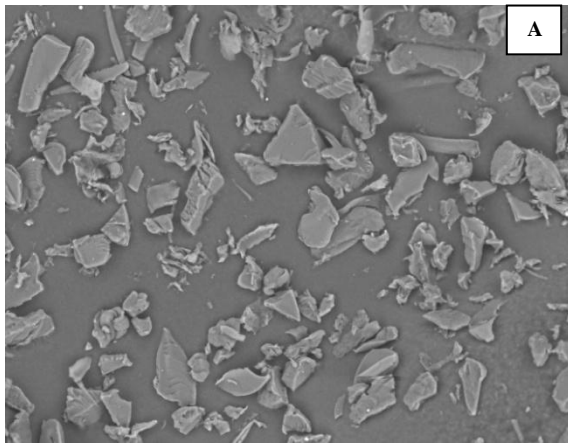


**Figura 35.** Micrografias obtida por MEV de farinha mista extrudada referente aos ensaios 11 (A) e 12 (B), aumento de 500x.

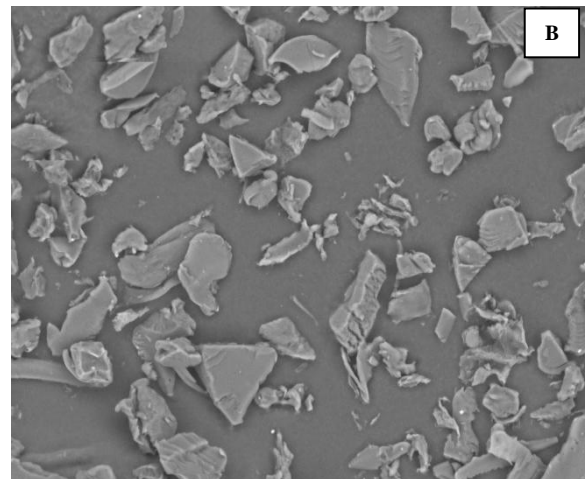
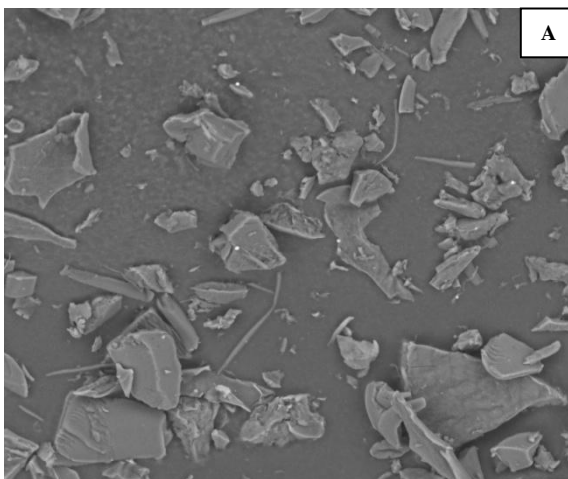


**Figura 36.** Micrografias obtida por MEV de farinha mista extrudada referente aos ensaios 13 (A) e 14 (B), aumento de 500x.

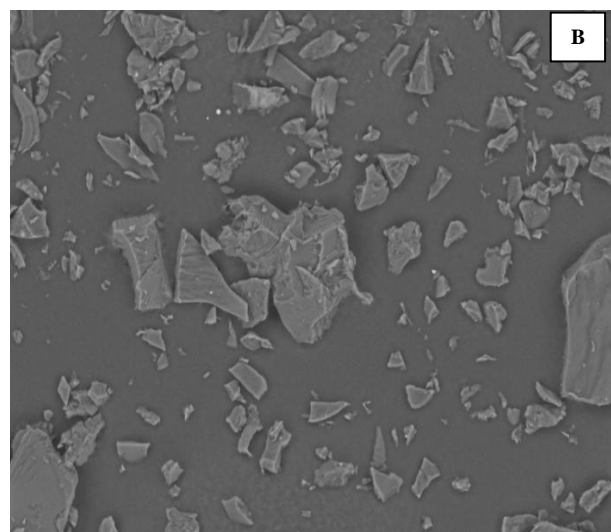
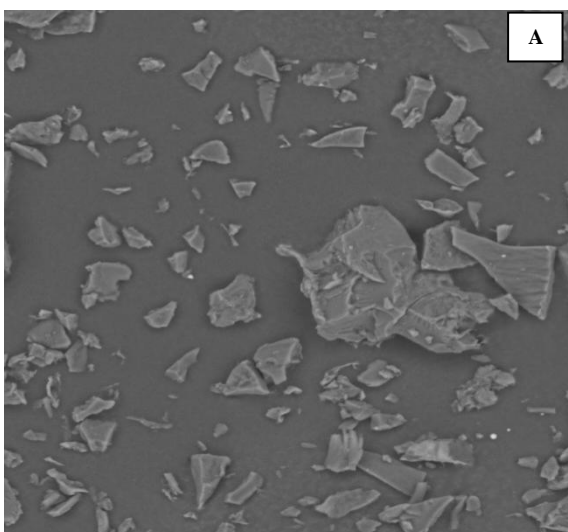




**Figura 37.** Micrografias obtida por MEV de farinha mista extrudada referente aos ensaios 15 (A) e 16 (B), aumento de 500x.



**Figura 38.** Micrografias obtida por MEV de farinha mista extrudada referente aos ensaios 17 (A) e 18 (B), aumento de 500x.



**Figura 39.** Micrografias obtida por MEV de farinha mista extrudada referente aos ensaios 19 (A) e 20 (B), aumento de 500x.



Analisando as micrografias acima, de modo geral, observa-se que as matérias-primas apresentam os componentes da sua estrutura aglomerados e íntegros. Já as farinhas mistas que foram submetidas ao processo de extrusão, apresentam aspecto de uma massa compacta, amorfa, em que não se distingue o amido e a proteína.

De modo geral, nas amostras extrudadas pode-se verificar a presença de superfícies irregulares, com partes lisas e estriadas e alguns pequenos orifícios, provavelmente formados pelas bolhas de ar geradas durante a expansão.

#### **4.2.2 Índice de cristalinidade de farinhas mistas extrudadas**

A difratometria de raios X permite a identificação da natureza botânica dos amidos revelando a presença e as características da estrutura cristalina dos grânulos de amido, através do empacotamento de amilose e amilopectina (SINGH et al., 2003; LACERDA, 2006).

A região cristalina do grânulo é formada pelas cadeias laterais de amilopectina, enquanto que a região amorfa é composta por amilose e ramificações de amilopectina. Assim, a cristalinidade do grânulo está, principalmente, relacionada com as duplas hélices formadas pelas ramificações de amilopectina (HOOVER, 2001).

Segundo Yonemoto (2006), a cristalinidade dos grânulos varia entre 15-45 % e pode ser caracterizada em três principais padrões através da difração de raios X, os tipos A, B e C.

Amidos com comprimento de cadeias entre curto e médio exibem um padrão de cristalinidade tipo A, enquanto os padrões tipo B e C, são encontrados em amidos com médio e grande comprimento de cadeia, respectivamente (KUAPETTON e WANG, 2006). O padrão tipo A é mais denso e apresenta menos espaço para moléculas de água, sendo geralmente encontrado em amidos de cereais (LOBO e SILVA, 2003).

De acordo com Tako e Hizuruki (2002), o grânulo de amido normalmente consiste de camadas concêntricas que contêm micelas cristalinas agrupadas. Os grânulos, por serem parcialmente cristalinos, fornecem resultados particulares de difração de raios X. Esta análise permite a identificação da natureza botânica de amidos.

Analisando os difratogramas apresentados pelas farinhas mistas extrudadas e pela farinha de arroz branco polido, nota-se que as amostras apresentam um perfil difratográfico similar ao cristal do tipo “A”, característico de cereais, devido a presença de domínios cristalinos na sua estrutura, como descrevem Franco et al. (2002).

O índice de cristalinidade e o percentual de região cristalina e amorfa de cada amostra está descrito na Tabela 25.

A análise de variância (ANOVA) para o índice de cristalinidade está representada na Tabela 26. Nota-se que o coeficiente de determinação apresentou um valor muito baixo (0,51274) para que o modelo seja considerado preditivo. Desta forma, como o  $R^2$  foi menor que 0,70, não foram construídos gráficos de superfície de resposta nem gerado o modelo da equação, no entanto, os resultados foram discutidos com a finalidade de delimitar novas áreas de estudo. Neste caso, a discussão foi realizada através de comparação de médias realizada pelo teste de Tukey (Tabela 25).

**Tabela 25.** Índice de cristalinidade de farinhas mistas extrudadas de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino e matérias-primas.

Ensaio	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	Cristalinidade (%)	Região Amorfa (%)	Índice de Cristalinidade (%)
1	2,0	18,0	120	29,00	71,00	29,02 <sup>a</sup>
2	6,0	18,0	120	21,70	78,30	21,68 <sup>l</sup>
3	2,0	22,0	120	21,20	78,80	21,21 <sup>m</sup>
4	6,0	22,0	120	22,00	78,00	21,99 <sup>k</sup>
5	2,0	18,0	160	23,30	76,70	23,55 <sup>e</sup>
6	6,0	18,0	160	22,60	77,40	22,64 <sup>h</sup>
7	2,0	22,0	160	23,30	76,70	23,34 <sup>f</sup>
8	6,0	22,0	160	22,30	77,70	22,30 <sup>j</sup>
9	0,64	20,0	140	23,00	77,00	23,03 <sup>g</sup>
10	7,36	20,0	140	23,60	76,40	23,58 <sup>e</sup>
11	4,0	16,64	140	22,10	77,90	22,06 <sup>k</sup>
12	4,0	23,36	140	26,90	73,10	26,88 <sup>b</sup>
13	4,0	20,0	106,36	24,70	75,30	24,71 <sup>d</sup>
14	4,0	20,0	173,64	26,40	73,60	26,42 <sup>c</sup>
15	4,0	20,0	140	22,40	77,60	22,43 <sup>i</sup>
16	4,0	20,0	140	22,20	77,80	22,24 <sup>j</sup>
17	4,0	20,0	140	20,60	79,40	20,56 <sup>n</sup>
18	4,0	20,0	140	20,60	79,40	20,60 <sup>n</sup>
19	4,0	20,0	140	22,10	77,90	22,06 <sup>k</sup>
20	4,0	20,0	140	20,20	79,80	20,18 <sup>o</sup>
<b>Farinha de Arroz</b>				31,90	68,10	31,88

X<sub>1</sub>: Formulação: (%) concentrado proteico de soro de leite bovino na mistura com arroz polido.

X<sub>2</sub>: Umidade da mistura no processamento (%).

X<sub>3</sub>: Temperatura (°C) da última zona de aquecimento do extrusor Brabender.

**Tabela 26.** Teste F da análise de variância, coeficiente de regressão, estimativa dos efeitos e respectivas probabilidades (P) do modelo de regressão quadrática aplicada ao índice de cristalinidade (%) das farinhas mistas extrudadas de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino, em função da formulação, umidade e temperatura.

Fator	Teste F	Coeficiente de Regressão	p	Estimativa dos Efeitos
Intercepto/ Média	--	21,39148	4,83E-08***	21,39148
X <sub>1</sub>	4,21E+00	-5,57E-01	9,53E-02 <sup>n.s.</sup>	-1,11364
X <sub>1</sub> <sup>2</sup>	2,22E+00	3,94E-01	1,96E-01 <sup>n.s.</sup>	0,78710
X <sub>2</sub>	1,44E-04	3,26E-03	9,91E-01 <sup>n.s.</sup>	0,00652
X <sub>2</sub> <sup>2</sup>	9,32E+00	8,06E-01	2,83E-02*	1,61229
X <sub>3</sub>	4,91E-02	6,01E-02	8,33E-01 <sup>n.s.</sup>	0,12020
X <sub>3</sub> <sup>2</sup>	2,04E+01	1,19E+00	6,31E-03**	2,38491
X <sub>1</sub> X <sub>2</sub>	7,93E+00	9,98E-01	3,73E-02*	1,99598
X <sub>1</sub> X <sub>3</sub>	2,64E+00	5,76E-01	1,65E-01 <sup>n.s.</sup>	1,15255
X <sub>2</sub> X <sub>3</sub>	6,02E+00	8,69E-01	5,77E-02 <sup>n.s.</sup>	1,73893
Falta de ajuste	8,27E+00	--	1,84E-02*	--
<b>R<sup>2</sup></b>		<b>0,51274</b>		

X<sub>1</sub>: Formulação: (%) concentrado proteico de soro de leite bovino na mistura com arroz polido.

X<sub>2</sub>: Umidade da mistura no processamento (%).

X<sub>3</sub>: Temperatura (°C) da última zona de aquecimento da extrusora Brabender.

p: Valor estatístico da probabilidade.

-- Não determinado.

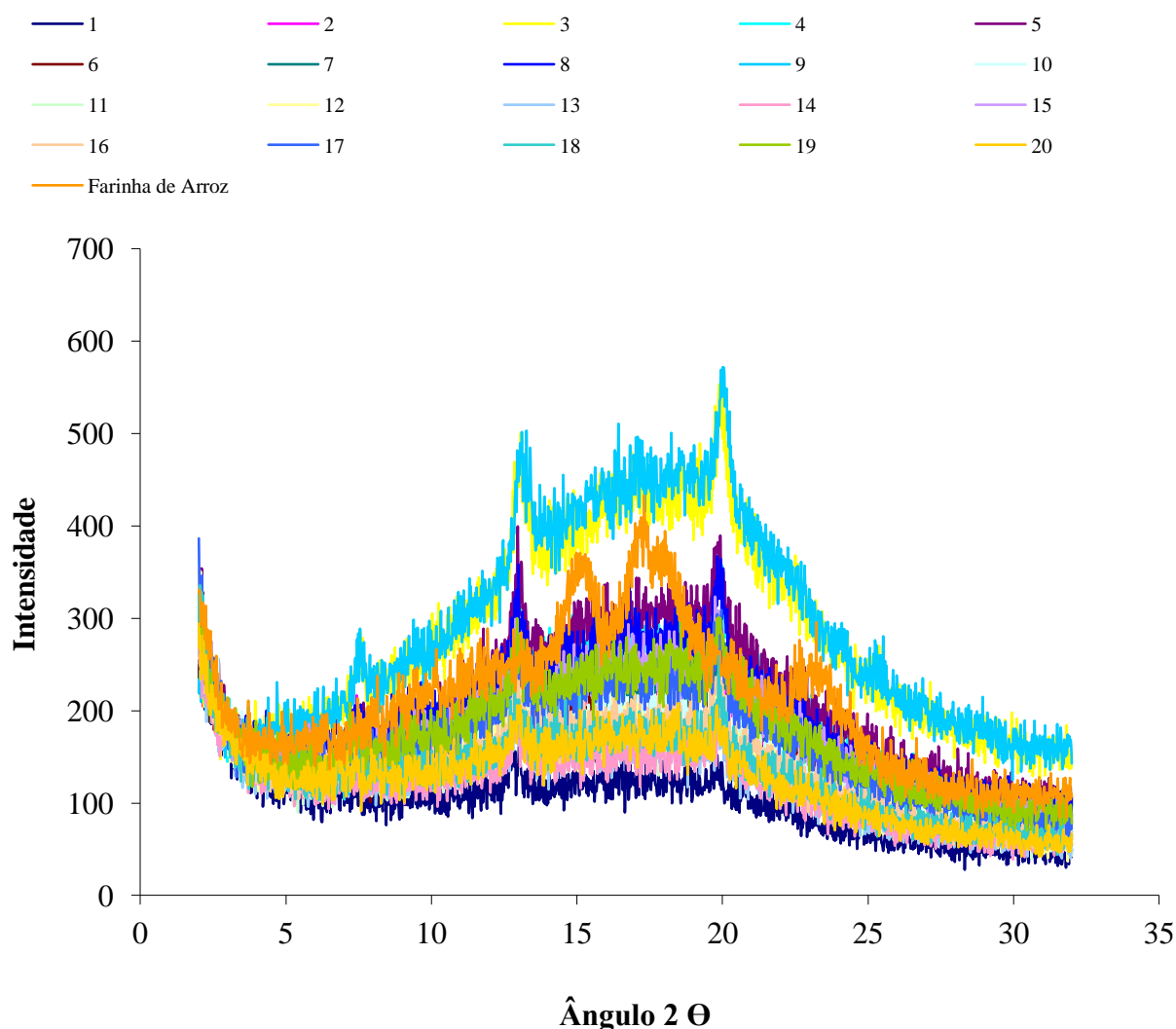
<sup>n.s.</sup>: Não significativo.

\*: Significativo ao nível de 5 % de probabilidade.

\*\* : Significativo ao nível de 1 % de probabilidade.

\*\*\*: Significativo ao nível de 0,1 % de probabilidade.

Os principais picos foram exibidos a 7,7°; 13,18° e 19,98° em 2 $\theta$  para as farinhas mistas. A farinha de arroz branco polido apresentou três picos de difração (2 $\theta$  = 15,2°; 17,3°; 23,2°) e intensidades de 363,14; 397,99 e 234,28, respectivamente (Figura 40).



**Figura 40.** Difratoogramas de farinha de arroz e farinhas mistas pré-gelatinizadas de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino.

O cozimento por extrusão pode destruir a estrutura cristalina organizada do amido, conforme demonstraram estudos feitos usando as técnicas de difração de raios X. Essa destruição poderá ser parcial ou completa, dependendo das variáveis de extrusão, tais como o teor de umidade e cisalhamento, e também da relação de amilose/amilopectina do amido em uso. É bem claro que os grânulos de amido podem resistir à “quebra” de sua estrutura típica na extrusão em condições de alta umidade e baixo grau de cisalhamento; entretanto, aumentando a severidade do tratamento térmico, os grânulos perdem suas estruturas organizadas (ASCHERI, 2011).

Costa (2008) destaca que quando o amido é aquecido em presença de água, as ligações de hidrogênio presentes nas áreas amorfas são quebradas, possibilitando o entumescimento do grânulo, enquanto as ligações mais fortes, presentes na área micelar, permitem que o grânulo permaneça intacto até que estas se rompam em algum ponto. Nessa condição, a expansão dos grânulos torna-se irreversível e a ordem estrutural desaparece, podendo ser caracterizada pelo desaparecimento da cristalinidade evidenciada pela realização de uma análise de difração de raios X, por exemplo.

A difração de raios X realizada na farinha de arroz branco polido crua e nas farinhas mistas mostra que houve redução da estrutura cristalina nas amostras submetidas ao processo de extrusão (Tabela 25); a redução variou de 9 a 37 %, dependendo do tratamento térmico utilizado. Os maiores valores foram encontrados para as amostras que sofreram tratamento mais brando (temperaturas mais baixas ou conteúdo de umidade mais baixo), associado ao teor baixo ou médio de concentrado proteico, devido ao maior teor de componentes amiláceos nestas amostras.

### **4.3 Características Tecnológicas Funcionais das Farinhas Mistas Extrudadas**

#### **4.3.1 Índice de solubilidade em água (ISA)**

O índice de solubilidade em água relaciona-se com a quantidade de moléculas solúveis presentes em uma amostra seca e mede indiretamente a severidade do tratamento térmico utilizado em função da gelatinização, dextrinização e a resultante solubilização do amido (MERCIER e FEILLET, 1975; CARVALHO, ASCHERI e CAL-VIDAL, 2002; MOURA, 2012).

Moura (2012) ainda destaca que a solubilidade em água do amido também está relacionada à expansão e segue as mesmas variações com as condições de extrusão. Dependendo da matéria-prima utilizada, o índice de solubilidade em água aumenta com a severidade do tratamento e com o decréscimo da umidade.

Silva (2010) atenta para o fato do índice de solubilidade em água ser um parâmetro importante na caracterização de farinhas extrudadas para fins de solubilização posterior, pois, por meio deste, pode-se verificar o grau de cozimento do amido e avaliar as condições de solubilização em meio aquoso.

Desta forma, na produção de bebidas, mingaus e sopas de rápido preparo, é desejável que o produto seja homogêneo e os seus respectivos componentes sólidos tenham interação plena com a água, garantindo completa solubilização e evitando a separação de fases e a formação de grumos.

Na Tabela 27 encontram-se os dados experimentais para o índice de solubilidade em água. Observa-se que o maior valor de ISA foi obtido pela amostra 2, que continha em sua composição 6 % de concentrado proteico e 18 % de umidade, além de ter sido extrudada a 120 °C, enquanto o menor valor foi encontrado na farinha mista com 2 % concentrado proteico, 22 % de umidade e submetida à temperatura de 160 °C (ensaio 7).

O coeficiente de determinação indica que 76 % da variação total da variável resposta em torno da média e 24 % são atribuídos aos resíduos (Tabela 28). Não houve falta de ajuste aos dados experimentais e a média foi altamente significativa ( $p < 0,001$ ).

A análise dos coeficientes de regressão mostra que apenas as variáveis com efeito linear contribuíram na variável resposta de forma significativa ( $p < 0,05$ ).

**Tabela 27.** Índice de solubilidade em água (%) de farinhas mistas extrudadas de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino e farinha de arroz crua.

<b>Ensaio</b>	<b>X<sub>1</sub></b>	<b>X<sub>2</sub></b>	<b>X<sub>3</sub></b>	<b>ISA (%)</b>
1	2,0	18,0	120	8,46
2	6,0	18,0	120	10,96
3	2,0	22,0	120	6,64
4	6,0	22,0	120	7,35
5	2,0	18,0	160	7,57
6	6,0	18,0	160	8,78
7	2,0	22,0	160	5,48
8	6,0	22,0	160	6,50
9	0,64	20,0	140	7,57
10	7,36	20,0	140	9,38
11	4,0	16,64	140	9,54
12	4,0	23,36	140	8,24
13	4,0	20,0	106,36	9,69
14	4,0	20,0	173,64	7,61
15	4,0	20,0	140	10,53
16	4,0	20,0	140	9,80
17	4,0	20,0	140	8,04
18	4,0	20,0	140	9,22
19	4,0	20,0	140	8,80
20	4,0	20,0	140	9,31
<b>Farinha de Arroz</b>	-	-	-	0,76

X<sub>1</sub>: Formulação: (%) concentrado proteico de soro de leite bovino na mistura com arroz polido.

X<sub>2</sub>: Umidade da mistura no processamento (%).

X<sub>3</sub>: Temperatura (°C) da última zona de aquecimento do extrusor Brabender.

ISA: Índice de solubilidade em água (%).

**Tabela 28.** Teste F da análise de variância, coeficiente de regressão, estimativa dos efeitos e respectivas probabilidades (P) do modelo de regressão quadrática aplicada ao índice de solubilidade em água (%) das farinhas mistas extrudadas de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino, em função da formulação, umidade e temperatura.

Fator	Teste F	Coefficiente de Regressão	P	Estimativa dos Efeitos
Intercepto/ Média	--	9,312831	3,51E-10**	9,31283
X <sub>1</sub>	7,31E+00	6,21E-01	4,26E-02*	1,24239
X <sub>1</sub> <sup>2</sup>	4,59E+00	-4,79E-01	8,50E-02 <sup>n.s.</sup>	-0,95839
X <sub>2</sub>	1,46E+01	-8,78E-01	1,24E-02*	-1,75522
X <sub>2</sub> <sup>2</sup>	2,21E+00	-3,33E-01	1,97E-01 <sup>n.s.</sup>	-0,66502
X <sub>3</sub>	7,47E+00	-6,28E-01	4,11E-02*	-1,25617
X <sub>3</sub> <sup>2</sup>	3,48E+00	-4,17E-01	1,21E-01 <sup>n.s.</sup>	-0,83468
X <sub>1</sub> X <sub>2</sub>	6,80E-01	-2,48E-01	4,47E-01 <sup>n.s.</sup>	-0,49500
X <sub>1</sub> X <sub>3</sub>	1,66E-01	-1,23E-01	7,00E-01 <sup>n.s.</sup>	-0,24500
X <sub>2</sub> X <sub>3</sub>	1,95E-01	1,33E-01	6,77E-01 <sup>n.s.</sup>	0,26500
Falta de ajuste	1,50E+00	--	3,34E-01 <sup>n.s.</sup>	--
<b>R<sup>2</sup></b>			<b>0,75756</b>	

X<sub>1</sub>: Formulação: (%) concentrado proteico de soro de leite bovino na mistura com arroz polido.

X<sub>2</sub>: Umidade da mistura no processamento (%).

X<sub>3</sub>: Temperatura (°C) da última zona de aquecimento da extrusora Brabender.

p: Valor estatístico da probabilidade.

-- Não determinado.

<sup>n.s.</sup>: Não significativo.

\*: Significativo ao nível de 5 % de probabilidade.

\*\* : Significativo ao nível de 0,1 % de probabilidade.

Como o valor de F calculado (7,06) para a regressão (75,09) apresenta determinante significância e a porcentagem de variação explicada (R<sup>2</sup>) pelo modelo foi representativa, cerca de 80%, podemos concluir que o modelo se ajusta aos dados experimentais.

A análise de variância simplificada (Tabela 29) mostra que O teste F foi significativo, assim, o modelo aplicado pode ser considerado adequado para descrever os resultados através da superfície de resposta.

**Tabela 29.** Análise de variância simplificada para índice de solubilidade em água das farinhas mistas extrudadas de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino.

Fonte de variação	SQ	GL	QM	Fcalculado	Ftabelado	p-valor
Regressão	21,17810	3	7,059367	7,0635	3,2389	3,08E-03
Resíduos	6,97936	6	0,99941			
Falta de ajuste	5,40587	5				
Erro puro	3,60533	5				
Total	37,16866	19				

SQ: Soma dos quadrados.

GL: Graus de liberdade.

QM: Quadrados médios.

p: Valor estatístico da probabilidade.

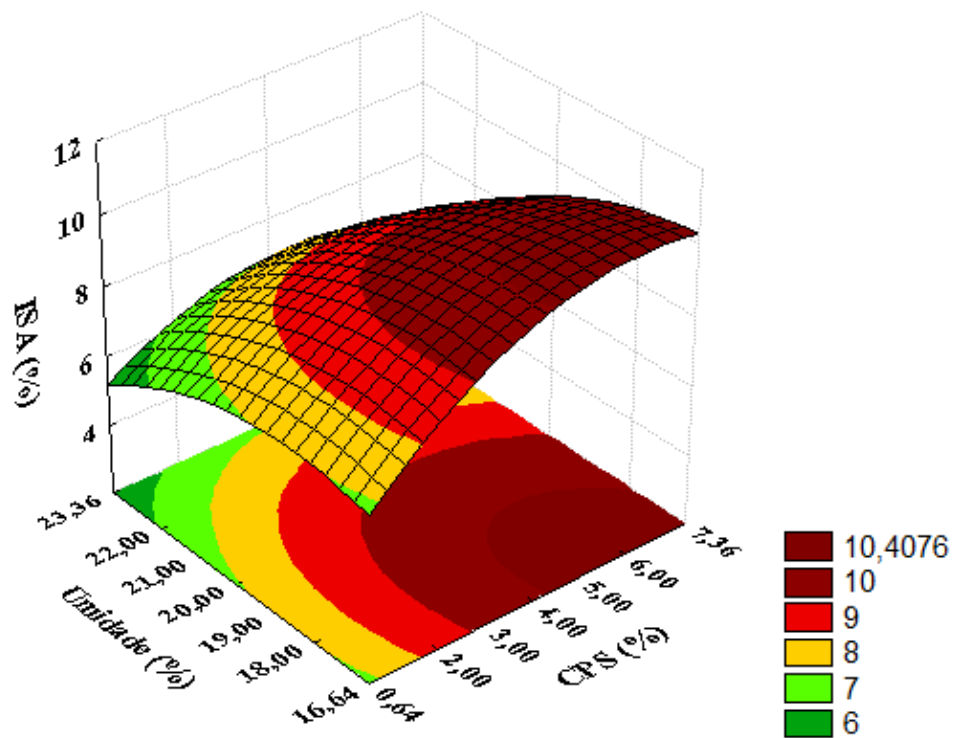
Por meio da análise de variância e fazendo uso somente dos coeficientes de regressão significativos, foi elaborada a equação do modelo matemático proposto para as variáveis independentes codificadas (Equação 21), que fica restrita como:

$$\text{Índice de Solubilidade em Água} = 9,31 + 0,62X_1 - 0,88 X_2 - 0,63X_3 \quad (21)$$

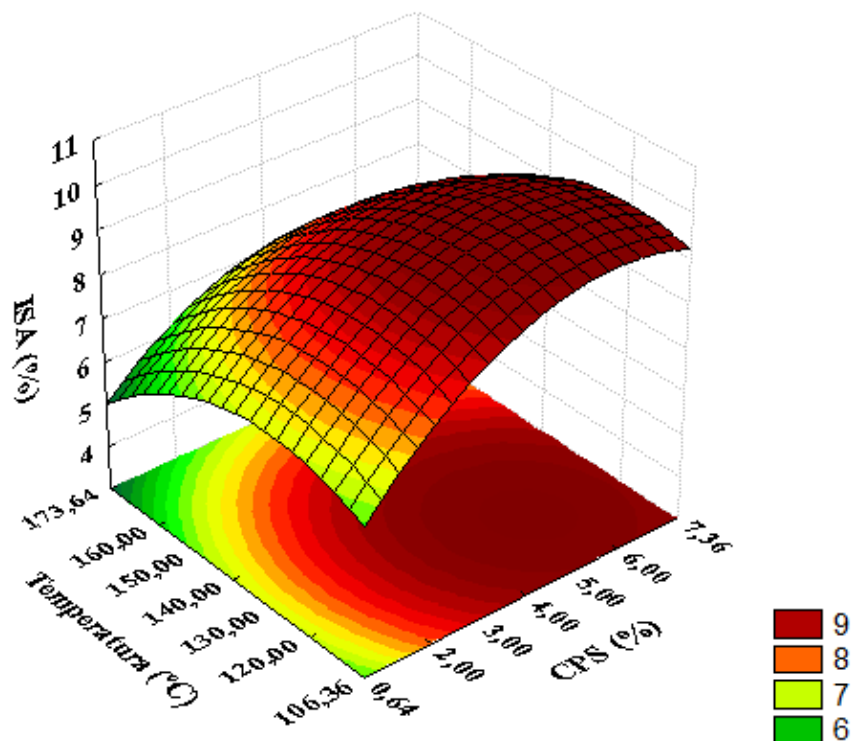
A Figura 41 ilustra o efeito diretamente proporcional do teor de proteína e inversamente proporcional da umidade no aumento do valor do índice de solubilidade em água. Verifica-se uma tendência à elevação dos valores de ISA, na medida em que se aumenta linearmente o percentual de concentrado proteico nas formulações de farinha mista.

Analisando a Figura 42 observa-se que em comparação com a temperatura, o teor de concentrado proteico exerce maior influência. Quando comparada com a umidade, o efeito é similar (Figura 43). Mas, de modo geral, temperaturas superiores a 140 °C levam a menores índices de solubilidade em água.

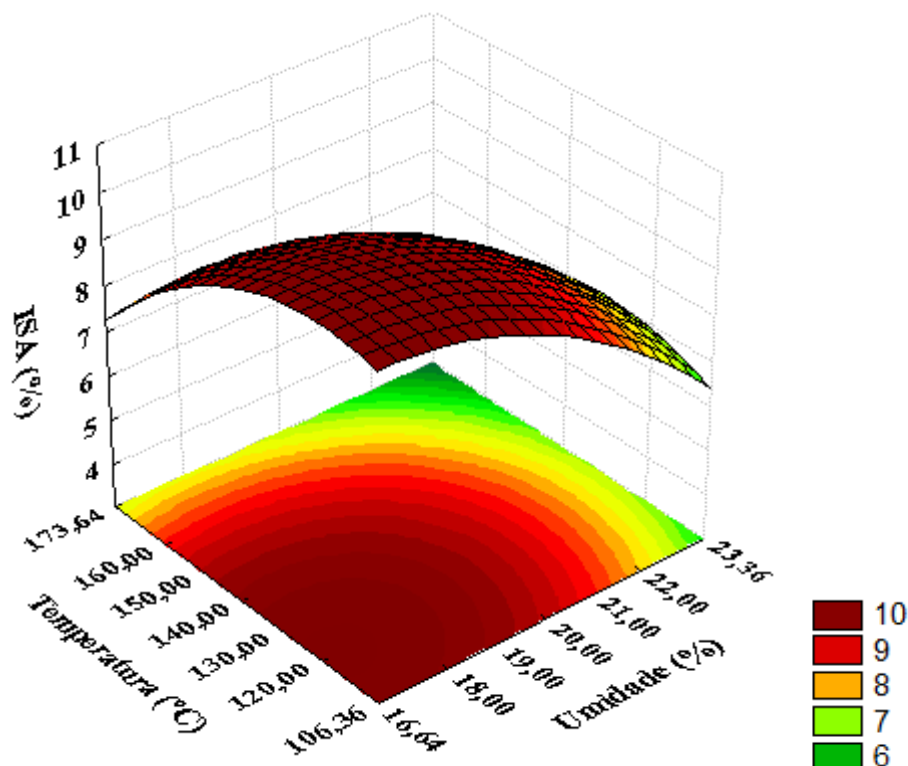




**Figura 41.** Efeito das variáveis quantitativas umidade (%) e CPS (%) no índice de solubilidade em água (%) das farinhas mistas extrudadas de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino.



**Figura 42.** Efeito das variáveis quantitativas temperatura (°C) e CPS (%) no índice de solubilidade em água (%) das farinhas mistas extrudadas de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino.



**Figura 43.** Efeito das variáveis quantitativas umidade (%) e temperatura (°C) no índice de solubilidade em água (%) das farinhas mistas extrudadas de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino.

Sabe-se que o índice de solubilidade em água revela a intensidade do tratamento térmico utilizado e a desramificação da estrutura do grânulo de amido. Segundo Collona et al. (1987), o aumento da solubilidade verificado em extrudados é imputado à dispersão das moléculas de amilose e amilopectina como consequência da gelatinização, quando as condições do processamento são mais brandas, e da formação de compostos de baixo peso molecular quando as condições são mais drásticas.

Mas, além da fragmentação do amido, o conteúdo proteico também pode afetar o índice de solubilidade (TEBA, 2009). Silva (2010) desenvolveu e caracterizou extrudados de milho e feijão e relatou que, possivelmente, a presença de feijão na matéria-prima associado à umidade durante a extrusão forma uma rede proteica que impede, em parte, a perda de outras moléculas. E, embora as proteínas das leguminosas possuam sítios hidrofílicos, o processo de desnaturação que ocorre durante a extrusão pode desencadear a perda da capacidade de hidratação das mesmas. O autor ainda menciona que a menor capacidade de hidratação é favorecida pela formação de pontes intra e intermoleculares das proteínas com as cadeias de amilose e amilopectina. Além disso, ele afirma que a desnaturação de proteínas durante o processo de extrusão favorece a ocorrência da reação de Maillard que, consequentemente favorece a formação de agregado de alto peso molecular, reduzindo a solubilidade.

Segundo Fernandes et al. (2003) as características de solubilidade servem para aperfeiçoar os efeitos do calor nas proteínas durante os processos. Os autores destacam que quanto maior for o valor de solubilidade para uma proteína, melhor será a indicação do potencial de seu uso em sistemas alimentares.

Um fator determinante no comportamento da solubilidade em água de farinhas extrudadas com teor proteico significativo é a temperatura. As proteínas quando submetidas a elevadas temperaturas favorecem a produção de  $-NH_2$  terminal pela desnaturação que, reagindo com os  $-OH$  livres originados pela dextrinização do material amiláceo, levam à formação de complexos não solúveis, como relatado por Ascheri, Ascheri e Carvalho (2006).

Brnčić et al. (2011) produziram extrudados de milho enriquecidos com concentrado proteico de soro de leite bovino nas seguintes proporções: 7,5 %, 15 % e 22,5 %. O extrudado com maior teor de concentrado proteico e elevado teor de umidade apresentou o menor valor de índice de solubilidade em água.

O índice de solubilidade das farinhas mistas pré-gelatinizadas a base de arroz branco polido e feijão preto sem casca estudadas por Teba (2009) também sofreu forte influência da formulação (efeito linear positivo). Na medida em que se aumentou o percentual de farinha de feijão nas misturas o ISA apresentou tendência à elevação, o que ocorreu, provavelmente pela quantidade de sólidos solúveis presentes ter aumentado também em decorrência da desnaturação das proteínas de forma menos severa.

Maia et al. (1999) e Moura (2012) encontraram resultados similares ao do presente estudo ao analisar mingaus desidratados de arroz e soja e farinhas mistas pré-gelatinizadas de milho, arroz e feijão, respectivamente.

Stojceska et al. (2008) afirmam que altos teores de umidade, na maioria dos casos, pode provocar menores graus de gelatinização no material amiláceo.

Lazou e Krokida (2010) avaliaram a solubilidade de extrudados de milho e lentilha e também verificaram o efeito negativo da umidade na variável resposta, ou seja, o índice de solubilidade se reduzia com o incremento da umidade, o que também foi observado nas farinhas de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino.

#### **4.3.2 Índice de absorção de água (IAA)**

Sriburi e Hill (2000) consideram a absorção de água como medida do grau de modificação de amido, e, por isso, é uma propriedade indicativa das possibilidades de uso de farinhas que foram submetidas ao processo de extrusão.

A utilização de farinhas extrudadas para o preparo de produtos de rápida dissolução, tais como bebidas, mingaus, molhos e sopas, por exemplo, está atrelada a alta capacidade de absorção de água das mesmas, pois, apenas amidos não intactos possuem grupos hidrofílicos livres que podem se ligar à água, absorvê-la e formar gel em temperatura ambiente.

O índice de absorção de água também desempenha um papel importante na avaliação da severidade das condições da extrusão termoplástica, uma vez que elevadas temperaturas, alta taxa de cisalhamento e baixo teor de umidade podem desencadear o rompimento da estrutura do grânulo de amido, levando, conseqüentemente, à redução da capacidade do amido em absorver água.

Os coeficientes do modelo de regressão para o índice de absorção de água estão descritos na Tabela 30. Verifica-se que o coeficiente de determinação apresentou valor inferior a 0,70, assim o modelo não pode ser considerado preditivo. Logo, não foram construídos gráficos de superfície de resposta nem gerado o modelo da equação.

Os resultados foram discutidos através da comparação das médias pelo teste de Tukey, com a finalidade de delimitar novas áreas de estudo (Tabela 31).

**Tabela 30.** Teste F da análise de variância, coeficiente de regressão, estimativa dos efeitos e respectivas probabilidades (P) do modelo de regressão quadrática aplicada ao índice de absorção de água (g gel.g<sup>-1</sup>) das farinhas mistas extrudadas de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino, em função da formulação, umidade e temperatura.

Fator	Teste F	Coeficiente de Regressão	P	Estimativa dos Efeitos
Intercepto/ Média	--	7,437249	2,24E-12**	7,437249
X <sub>1</sub>	4,12E+00	-1,72E-01	9,80E-02 <sup>n.s.</sup>	-0,344126
X <sub>1</sub> <sup>2</sup>	6,22E-01	6,50E-02	4,66E-01 <sup>n.s.</sup>	0,130075
X <sub>2</sub>	4,89E+00	1,87E-01	7,79E-02 <sup>n.s.</sup>	0,374809
X <sub>2</sub> <sup>2</sup>	1,33E+00	9,51E-02	3,01E-01 <sup>n.s.</sup>	0,190164
X <sub>3</sub>	1,17E+01	2,90E-01	1,88E-02*	0,580130
X <sub>3</sub> <sup>2</sup>	1,72E+01	3,43E-01	8,89E-03**	0,685017
X <sub>1</sub> X <sub>2</sub>	4,44E-01	-7,38E-02	5,35E-01 <sup>n.s.</sup>	-0,147500
X <sub>1</sub> X <sub>3</sub>	1,27E-04	1,25E-03	9,91E-01 <sup>n.s.</sup>	0,002500
X <sub>2</sub> X <sub>3</sub>	1,87E+00	1,51E-01	2,30E-01 <sup>n.s.</sup>	0,302500
Falta de ajuste	3,22E+00	--	1,12E-01 <sup>n.s.</sup>	--
<b>R<sup>2</sup></b>		<b>0,65977</b>		

X<sub>1</sub>: Formulação: (%) concentrado proteico de soro de leite bovino na mistura com arroz polido.

X<sub>2</sub>: Umidade da mistura no processamento (%).

X<sub>3</sub>: Temperatura (°C) da última zona de aquecimento da extrusora Brabender.

p: Valor estatístico da probabilidade.

-- Não determinado.

<sup>n.s.</sup>: Não significativo.

\*: Significativo ao nível de 5 % de probabilidade.

\*\* : Significativo ao nível de 1 % de probabilidade.

\*\*\*: Significativo ao nível de 0,1 % de probabilidade.

**Tabela 31.** Índice de absorção de água (g gel.g<sup>-1</sup> de matéria seca) de farinhas mistas extrudadas de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino e farinha de arroz crua.

Ensaio	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	IAA (g gel.g <sup>-1</sup> matéria seca)	CV (%)
1	2,0	18,0	120	7,93 ± 0,19 <sup>b,c,d</sup>	2,44
2	6,0	18,0	120	7,66 ± 0,14 <sup>c,d,e,f</sup>	1,78
3	2,0	22,0	120	8,23 ± 0,20 <sup>a,b</sup>	2,41
4	6,0	22,0	120	7,69 ± 0,15 <sup>c,d,e,f</sup>	1,89
5	2,0	18,0	160	7,64 ± 0,26 <sup>c,d,e,f</sup>	2,80
6	6,0	18,0	160	7,40 ± 0,15 <sup>f,g,h</sup>	2,04
7	2,0	22,0	160	8,57 ± 0,24 <sup>a</sup>	2,80
8	6,0	22,0	160	8,01 ± 0,19 <sup>b,c</sup>	2,43
9	0,64	20,0	140	7,91 ± 0,15 <sup>b,c,d</sup>	1,91
10	7,36	20,0	140	7,47 ± 0,21 <sup>e,f,g,h</sup>	2,82
11	4,0	16,64	140	7,57 ± 0,07 <sup>d,e,f</sup>	0,89
12	4,0	23,36	140	7,98 ± 0,28 <sup>b,c,d</sup>	3,45
13	4,0	20,0	106,36	7,33 ± 0,08 <sup>f,g,h</sup>	1,14
14	4,0	20,0	173,64	7,62 ± 0,06 <sup>c,d,e,f</sup>	0,80
15	4,0	20,0	140	7,82 ± 0,05 <sup>b,c,d,e</sup>	0,59
16	4,0	20,0	140	7,60 ± 0,05 <sup>c,d,e,f</sup>	0,60
17	4,0	20,0	140	7,48 ± 0,07 <sup>e,f,g</sup>	0,94
18	4,0	20,0	140	7,59 ± 0,04 <sup>d,e,f</sup>	0,49
19	4,0	20,0	140	7,05 ± 0,06 <sup>h</sup>	0,84
20	4,0	20,0	140	7,06 ± 0,26 <sup>g,h</sup>	3,66
<b>D.M.S.</b>				<b>0,08443</b>	
<b>Farinha de Arroz</b>	-	-	-	2,42 ± 0,02	0,97

X<sub>1</sub>: Formulação: (%) concentrado proteico de soro de leite bovino na mistura com arroz polido.

X<sub>2</sub>: Umidade da mistura no processamento (%).

X<sub>3</sub>: Temperatura (°C) da última zona de aquecimento do extrusor Brabender.

IAA: Índice de absorção de água (g gel.g<sup>-1</sup> de matéria seca)

CV(%): Coeficiente de variação.

D.M.S. = Diferença mínima significativa ao nível de erro de 5 % pelo teste de Tukey.

Médias com letras diferentes na mesma coluna diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey (p < 0,05).

Analisando a Tabela 31, observa-se que a matéria-prima apresentou menor capacidade de absorção quando comparada às farinhas mistas pré-gelatinizadas, resultado já esperado tendo em vista que apenas os grânulos de amido danificados absorvem água e incham. Linko et al. (1980) ressaltam que depois que os grânulos de amido alcançam um máximo de absorção, o índice de absorção de água decresce devido ao início da dextrinização.

A comparação das médias pelo teste de Tukey mostra que houve diferença estatística significativa entre os ensaios (Tabela 31), apesar dos valores não apresentarem grande variação.

O índice de absorção de água variou de 7,05 g gel.g<sup>-1</sup> a 8,57 g gel.g<sup>-1</sup>; os maiores valores foram apresentados pelas amostras 7 (8,57 g gel.g<sup>-1</sup>) e 3 (8,23 g gel.g<sup>-1</sup>). Ambas foram processadas com 22 % de umidade e têm em sua composição 2 % de concentrado proteico; a amostra 7 foi submetida a 160 °C e a amostra 3 a 120 °C. De modo geral, os valores mais baixos de IAA foram obtidos por amostras com teor de concentrado proteico igual ou superior a 4 % e com umidade igual ou inferior a 20 %.

Considerando os resultados encontrados, pode-se dizer que para amostras com teor de umidade um pouco mais elevado, mesmo a temperaturas altas, o nível de degradação do amido pode ter sido menor, havendo assim, menor "quebra" na estrutura amilácea e, conseqüentemente, maior absorção de água.

Chang e El-Dash (2003) afirmam que durante a extrusão termoplástica os grânulos de amido sofrem gelatinização e as proteínas são desnaturadas. O amido gelatinizado absorve mais água do que em seu estado natural e as proteínas, devido a mudanças na sua conformação e na sua estrutura, têm o seu balanço hidrofílico/hidrofóbico alterado, podendo contribuir para o aumento ou diminuição do índice de absorção de água.

Para a elaboração de mingaus, a partir do uso de farinhas mistas pré-gelatinizadas, é fundamental que as mesmas possuam parte da sua estrutura amilácea íntegra, pois favorece o espessamento da preparação após a adição de água quente, podendo, muitas vezes, evitar a adição de espessantes.

#### **4.3.4 Propriedades viscoamilográficas de farinhas mistas extrudadas**

Lustosa e Leonel (2010) classificam a viscosidade como uma das propriedades mais importantes de misturas instantâneas e, segundo Teba, Ascheri e Carvalho (2009), os parâmetros viscoamilográficos possibilitam a determinação e o estudo do grau de cozimento do produto extrudado, bem como permitem avaliar o comportamento do amido em meio aquoso, aplicando-se diferentes temperaturas durante o processo. Dessa forma, torna-se uma ferramenta indispensável para a definição da aplicação das farinhas mistas pré-gelatinizadas desenvolvidas.

Whalen et al. (1997) e Ascheri (2011) afirmam que a viscosidade de pasta é determinada pelo grau de inchamento e resistência dos grânulos de amido, por meio da dissolução pelo calor, que é imposto em ciclos intercalados de temperatura, ou fragmentação ocasionada pela agitação mecânica controlada.

Na Tabela 32 estão expostos os resultados experimentais da viscosidade inicial a frio (25 °C), viscosidade máxima a 95 °C, viscosidade mínima a 95 °C, viscosidade final a 25 °C e os valores calculados para a tendência à retrogradação (*setback*) referentes às farinhas mistas pré-gelatinizadas de arroz e concentrado proteico de soro de leite e matérias-primas.

**Tabela 32.** Viscosidade de pasta de farinhas mistas extrudadas de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino e farinha de arroz crua.

Ensaio	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	VI (cP)	VMáx (cP)	VMín (cP)	VFinal (cP)	Setback (cP)
1	2,0	18,0	120	1026,00	528,67	289,33	832,00	542,67
2	6,0	18,0	120	763,00	556,00	223,00	687,00	464,00
3	2,0	22,0	120	879,00	646,00	378,50	1164,50	786,00
4	6,0	22,0	120	878,00	589,33	162,67	515,33	352,67
5	2,0	18,0	160	1002,00	568,50	301,00	809,50	508,50
6	6,0	18,0	160	986,33	523,00	228,67	662,50	433,83
7	2,0	22,0	160	1035,50	751,00	383,50	1205,50	822,00
8	6,0	22,0	160	1093,50	666,00	241,50	677,00	435,50
9	0,64	20,0	140	994,00	690,00	389,00	1139,00	750,00
10	7,36	20,0	140	694,50	422,00	251,00	643,50	392,50
11	4,0	16,64	140	894,00	471,00	260,00	740,00	480,00
12	4,0	23,36	140	1180,50	724,00	165,50	585,50	420,00
13	4,0	20,0	106,36	774,50	507,00	270,00	747,50	477,50
14	4,0	20,0	173,64	971,00	662,67	355,67	930,00	574,33
15	4,0	20,0	140	968,00	682,00	273,00	800,50	527,50
16	4,0	20,0	140	828,00	617,50	282,00	862,50	580,50
17	4,0	20,0	140	967,50	603,00	254,50	863,50	609,00
18	4,0	20,0	140	988,00	689,00	304,50	923,50	619,00
19	4,0	20,0	140	860,00	686,50	289,50	852,50	563,00
20	4,0	20,0	140	812,50	657,50	278,50	798,50	520,00
<b>Farinha de Arroz</b>	-	-	-	14,00	1217,50	1217,50	6879,50	5662,00

X<sub>1</sub>: Formulação: (%) concentrado proteico de soro de leite bovino na mistura com arroz polido.

X<sub>2</sub>: Umidade da mistura no processamento (%).

X<sub>3</sub>: Temperatura (°C) da última zona de aquecimento do extrusor Brabender.

VI: Viscosidade de pasta inicial a 25°C (cP).

VMáx: Viscosidade de pasta máxima a 95°C (cP).

VMín: Viscosidade de pasta mínima a 95°C (cP).

VFinal: Viscosidade de pasta final a 25°C (cP).

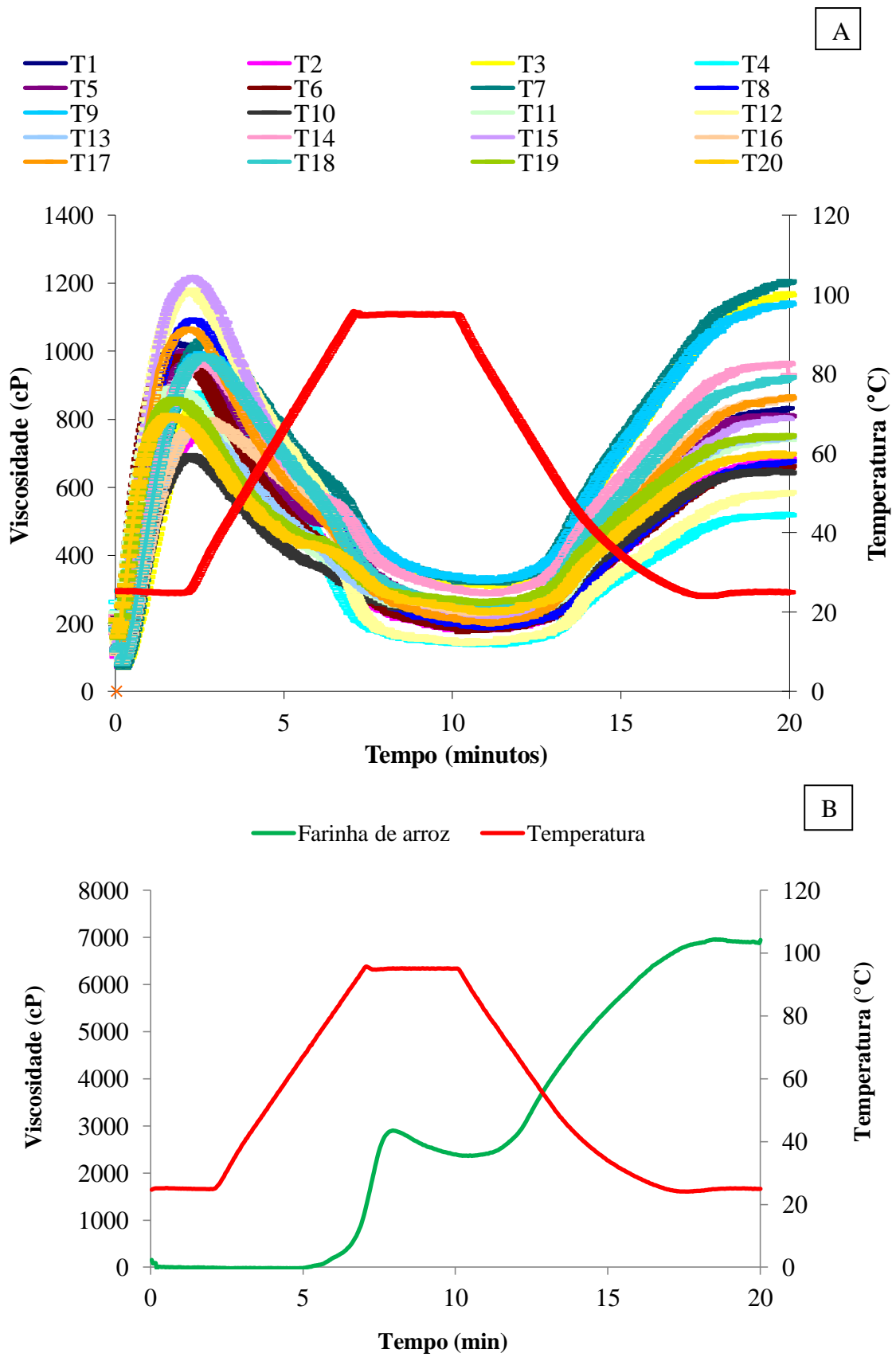
#### **4.3.4.1 Perfil de viscosidade de pasta de farinhas mistas pré-gelatinizadas de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino**

Analisando os perfis de viscosidade apresentados na Figura 44, observa-se que as farinhas mistas extrudadas apresentam maior viscosidade inicial a 25 °C quando comparadas com a farinha de arroz branco polido crua. Com base nos resultados encontrados na Tabela 32, verifica-se que apenas os ensaios referentes às amostras 3, 7, 9 e 16 apresentaram viscosidade final superior a viscosidade inicial a frio. Já em relação ao valor de viscosidade máxima a quente, as farinhas extrudadas apresentaram menor pico do que a matéria prima. Tal fato era esperado tendo em vista a presença de amido pré-gelatinizado nas farinhas mistas. Assim, pode-se afirmar que as amostras extrudadas estudadas possuem boas características de viscosidade quando acrescidas em meio aquoso a temperatura ambiente, não sendo necessário aplicar calor para que se atinja a consistência desejada.

É importante também, para o preparo de mingaus, que estas não apresentem valores elevados para viscosidade final, no ciclo de resfriamento, pois este produto deve apresentar boa característica de cremosidade, homogeneidade e textura, mesmo após o seu preparo, em temperaturas mais amenas. Por meio curva viscoamilográfica da amostra extrudada, pode-se perceber que o valor de viscosidade final desta amostra foi inferior à mistura crua.

Os valores de viscosidade final foram maiores que os valores de viscosidade máxima, estimando a característica de um amido extrudado em retrogradar e reaproximar moléculas de amilose e amilopectina e aumentar a viscosidade de pasta, entretanto, isso não ocorreu de forma a tornar a característica dos mingaus preparados indesejável.





**Figura 44.** Perfis viscoamilográficos de farinhas mistas extrudadas de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino (A) e de farinha de arroz branco polido crua (B).

#### 4.3.4.2 Viscosidade de pasta inicial a 25 °C

De acordo com El-Dash, Gonzalez e Ciol (1984) e Carvalho, Ascheri e Vidal (2002) a viscosidade de pasta inicial a 25 °C indica a capacidade das farinhas em absorver água a temperatura ambiente e formar uma pasta, gel ou líquido viscoso, sendo, por isso, conhecida também como viscosidade de pasta a frio.

Os resultados da análise de variância (ANOVA) do modelo aplicado estão descritos na Tabela 33 e a partir da sua análise, observa-se que a variável umidade (efeito quadrático) exerceu influência significativa ( $p < 0,05$ ) e positiva nos valores de viscosidade inicial, assim como a temperatura (efeito linear).

Os maiores valores para viscosidade de pasta inicial a 25°C, apresentados na Tabela 32, foram encontrados para as farinhas mistas pré-gelatinizadas referentes aos tratamentos T<sub>12</sub> (1180,50 cP), T<sub>8</sub> (1093,50 cP) e T<sub>7</sub> (1035,50 cP), que foram processados nas seguintes condições: 23,36 % (T<sub>12</sub>) e 22 % (T<sub>8</sub> e T<sub>7</sub>) de umidade, 140 °C (T<sub>12</sub>) e 160 °C (T<sub>8</sub> e T<sub>7</sub>) de temperatura e continham 2 % (T<sub>7</sub>) 4 % (T<sub>12</sub>) e 6 % (T<sub>8</sub>) de concentrado proteico de soro de leite bovino em suas formulações. Já os ensaios T<sub>10</sub> (7,36 % concentrado proteico, 20 % umidade e 140 °C), T<sub>2</sub> (6 % concentrado proteico, 18 % umidade e 120 °C) e T<sub>13</sub> (4 % concentrado proteico, 20 % umidade e 106,36 °C) apresentaram os menores valores de viscosidade a frio, sendo eles: 694,50 cP, 763 cP e 774,50 cP, respectivamente.

Os resultados acima descritos indicam claramente a influência significativa e diretamente proporcional exercida pela umidade e temperatura.

Mercier e Feillet (1975) também observaram aumento da viscosidade inicial do com o incremento dos valores de umidade.

Carvalho et al. (2010) afirmam que valores altos de viscosidade inicial a frio podem indicar alto grau de cisalhamento durante o processo de extrusão termoplástica, que pode resultar em uma elevada quebra dos grânulos de amido, e com isso, haver uma exposição maior da quantidade de sítios hidrofílicos a partir das moléculas do amido que foram rompidas, formando-se, portanto, uma rede tridimensional a temperatura ambiente.

De acordo com Sebio (1996) o efeito da umidade na viscosidade inicial pode ser explicado pela lubrificação que o alto teor de água provoca na rosca do extrusor, evitando assim, maior ocorrência de degradação mecânica dos grânulos do amido, obtendo-se, portanto, valores elevados de viscosidade inicial, como observado no presente estudo, apesar das elevadas temperaturas.

**Tabela 33.** Teste F da análise de variância, coeficiente de regressão, estimativa dos efeitos e respectivas probabilidades (P) do modelo de regressão quadrática aplicada a viscosidade inicial a 25°C (cP) das farinhas mistas extrudadas de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino, em função da formulação, umidade e temperatura.

Fator	Teste F	Coeficiente de Regressão	P	Estimativa dos Efeitos
Intercepto/ Média	--	902,7463	1,43E-10**	902,746
X <sub>1</sub>	6,16E+00	-5,31E+01	5,57E-02 <sup>n.s.</sup>	-106,225
X <sub>1</sub> <sup>2</sup>	3,83E-01	-1,29E+01	5,63E-01 <sup>n.s.</sup>	-25,793
X <sub>2</sub>	4,08E+00	4,32E+01	9,93E-02 <sup>n.s.</sup>	86,477
X <sub>2</sub> <sup>2</sup>	7,06E+00	5,53E+01	4,51E-02*	110,645
X <sub>3</sub>	9,52E+00	6,60E+01	2,73E-02*	132,059
X <sub>3</sub> <sup>2</sup>	1,84E-02	-2,82E+00	8,97E-01 <sup>n.s.</sup>	-5,646
X <sub>1</sub> X <sub>2</sub>	2,25E+00	4,20E+01	1,94E-01 <sup>n.s.</sup>	83,917
X <sub>1</sub> X <sub>3</sub>	1,88E+00	3,83E+01	2,29E-01 <sup>n.s.</sup>	76,583
X <sub>2</sub> X <sub>3</sub>	5,96E-01	2,16E+01	4,75E-01 <sup>n.s.</sup>	43,167
Falta de ajuste	1,26E+00	--	4,04E-01 <sup>n.s.</sup>	--
<b>R<sup>2</sup></b>		<b>0,74192</b>		

X<sub>1</sub>: Formulação: (%) concentrado proteico de soro de leite bovino na mistura com arroz polido.

X<sub>2</sub>: Umidade da mistura no processamento (%).

X<sub>3</sub>: Temperatura (°C) da última zona de aquecimento da extrusora Brabender.

p: Valor estatístico da probabilidade.

-- Não determinado.

<sup>n.s.</sup>: Não significativo.

\*: Significativo ao nível de 5 % de probabilidade.

\*\* : Significativo ao nível de 0,1 % de probabilidade.

Observando a Tabela 33, nota-se que 74 % da variação total da viscosidade inicial em torno da média foi explicada pelo modelo e 26 % atribuem-se aos resíduos. Não evidenciou-se a falta de ajuste do modelo aos dados experimentais. Os resultados apresentados também mostram que a média de viscosidade a frio observada para os ensaios do ponto central foi altamente significativa, ao nível de 0,1 % de probabilidade, o que demonstra a reprodutibilidade do processo.

A análise de variância simplificada (Tabela 34) indica que o F calculado é maior que o F Tabelado, logo, o modelo é considerado preditivo e apto para a otimização dos parâmetros.

**Tabela 34.** Análise de variância simplificada para viscosidade inicial a 25°C (cP) das farinhas mistas extrudadas de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino.

Fonte de variação	SQ	GL	QM	Fcalculado	Ftabelado	p-valor
Regressão	103671,30	2	51835,65	5,1913	3,5915	1,74E-02
Resíduos	99183,30	7	9985,06			
Falta de ajuste	39294,20	5				
Erro puro	31268,50	5				
Total	273417,30	19				

SQ: Soma dos quadrados.

GL: Graus de liberdade.

QM: Quadrados médios.

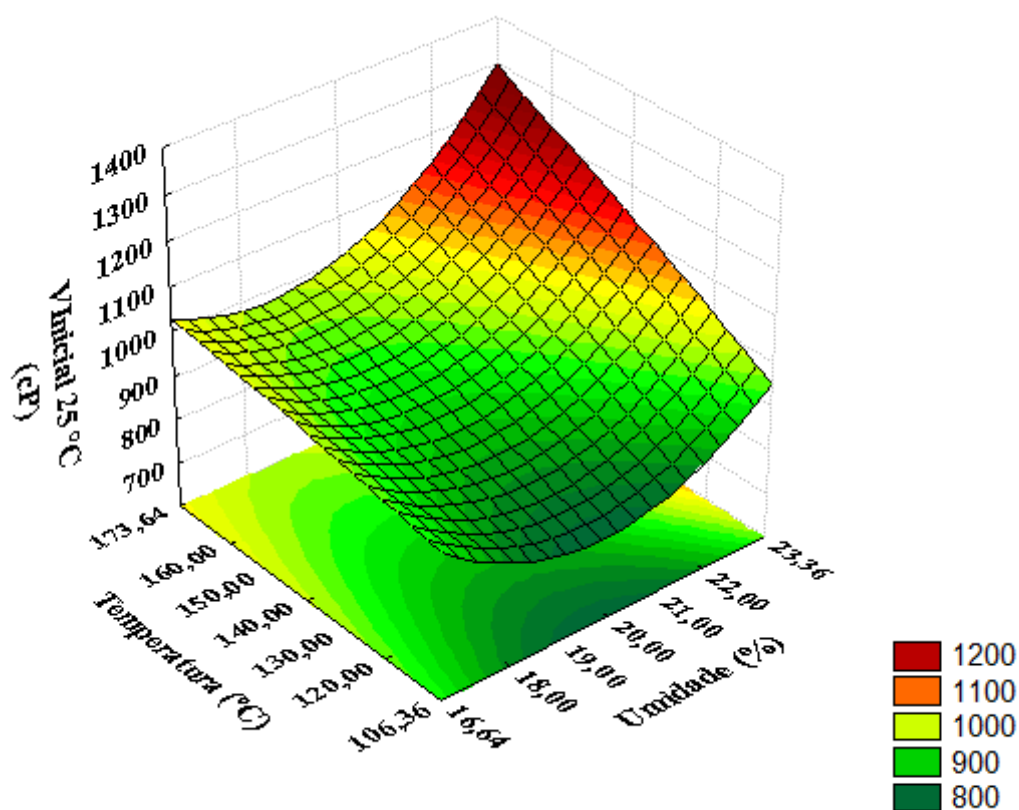
p: Valor estatístico da probabilidade.

Assim, para a elaboração da equação do modelo matemático proposto para as variáveis independentes codificadas foram utilizados somente os coeficientes de regressão significativos ao nível de 95 % de confiança. A equação fica restrita da seguinte maneira:

$$\text{Viscosidade Inicial a } 25^\circ\text{C} = 902,75 + 55,32 X_2^2 + 66,03X_3 \quad (22)$$

A Figura 45 representa o efeito das variáveis umidade e temperatura na viscosidade inicial a frio.

Analisando a figura, verifica-se que as condições ideais para se obter farinhas mistas pré-gelatinizadas de arroz e concentrado proteico com elevada viscosidade a temperatura ambiente, deve-se utilizar altos teores de umidade, sendo, portanto, acima de 20%, e temperatura de processamento de média a alta (igual ou superior a 140 °C).



**Figura 45.** Efeito das variáveis quantitativas temperatura (°C) e umidade (%) na viscosidade inicial a 25 °C (cP) das farinhas mistas extrudadas de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino.

#### 4.3.4.3 Viscosidade de pasta máxima a 95 °C

A viscosidade máxima a 95 °C caracteriza-se por transformações que ocorrem na estrutura do amido submetido ao processo de aquecimento como resultado da desorganização molecular, que leva a uma gelatinização com absorção máxima de água pelos grânulos de amido. Valores elevados de viscosidade máxima a quente geralmente são verificados quando o processamento aplicado não consegue ser suficiente para despolimerizar a estrutura amilácea, favorecendo a dextrinização do material. Sendo assim, grânulos de amido intactos chegam à fase de aquecimento, onde sofrem gelatinização (SILVA, 2010).

Torres et al. (2005) ressaltam que a viscosidade máxima no ciclo de aquecimento indica o quão alto ou baixo pode ser a viscosidade de uma mostra, que por sua vez depende da estrutura granular do amido, da sua distribuição ramificada, da sua proporção de amilose e amilopectina e das prováveis combinações que por ventura foram feitas com outros ingredientes.

Os autores ainda destacam que em consequência disso este parâmetro de viscosidade de pasta poderá indicar indiretamente as possibilidades de utilização da farinha extrudada, tornando-se importante quando, por exemplo, a farinha for destinada ao preparo de sopas, tortas ou outros alimentos em que determinantes propriedades são requeridas, ou seja, a manutenção da viscosidade em temperatura superior a temperatura ambiente.

Devido a gelatinização dos grânulos de amido, os picos de viscosidade das farinhas mistas pré-gelatinizadas desenvolvidas no presente estudo (724 cP a 422 cP) foram inferiores ao apresentado pela farinha crua de arroz branco (1217,50), como descrito na Tabela 32.

Com relação à influência das variáveis, a Tabela 35 mostra que houve contribuição linear ( $p < 0,01$ ) e quadrática da formulação ( $p < 0,05$ ), e linear da umidade ( $p < 0,01$ ) e da temperatura ( $p < 0,05$ ).

Os efeitos linear e quadrático da variável formulação foram negativos, indicando que a variação do valor da viscosidade máxima a 95 °C é indiretamente proporcional ao aumento do teor de concentrado proteico nas farinhas mistas, enquanto o efeito linear das variáveis umidade e temperatura apresentaram efeitos positivos, proporcionando um aumento no valor da viscosidade máxima a quente.

Avaliando a Tabela 35, verifica-se também que 84 % da variação total é explicada pelo modelo e 16 % atribui-se ao erro experimental. Não se evidencia falta de ajuste dos dados ao modelo quadrático aplicado, sendo possível sugerir, então, que o mesmo é preditivo para a viscosidade máxima a quente. Vale ressaltar que o F calculado tem valor maior do que o F Tabelado (Tabela 36), então, pode-se gerar a equação do modelo e os gráficos de superfície de resposta (Figuras 46, 47 e 48).

Os resultados descritos na Tabela 35 mostram ainda que o intercepto foi altamente significativo, ao nível de 0,1 % de probabilidade, o que demonstra que a escolha do ponto central foi realizada adequadamente.

**Tabela 35.** Teste F da análise de variância, coeficiente de regressão, estimativa dos efeitos e respectivas probabilidades (P) do modelo de regressão quadrática aplicada a viscosidade máxima a 95 °C (cP) das farinhas mistas extrudadas de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino, em função da formulação, umidade e temperatura.

Fator	Teste F	Coeficiente de Regressão	p	Estimativa dos Efeitos
Intercepto/ Média	--	6,55E+02	1,72E-11***	654,9925
X <sub>1</sub>	1,95E+01	-4,47E+01	6,90E-03**	-89,4125
X <sub>1</sub> <sup>2</sup>	8,83E+00	-2,93E+01	3,11E-02*	-58,5109
X <sub>2</sub>	4,26E+01	6,60E+01	1,26E-03**	132,0393
X <sub>2</sub> <sup>2</sup>	2,19E+00	-1,46E+01	1,99E-01 <sup>n.s.</sup>	-29,1732
X <sub>3</sub>	1,06E+01	3,30E+01	2,25E-02*	65,9428
X <sub>3</sub> <sup>2</sup>	3,75E+00	-1,91E+01	1,11E-01 <sup>n.s.</sup>	-38,1276
X <sub>1</sub> X <sub>2</sub>	1,36E+00	-1,54E+01	2,96E-01 <sup>n.s.</sup>	-30,8750
X <sub>1</sub> X <sub>3</sub>	9,15E-01	-1,26E+01	3,83E-01 <sup>n.s.</sup>	-25,2917
X <sub>2</sub> X <sub>3</sub>	2,73E+00	2,19E+01	1,59E-01 <sup>n.s.</sup>	43,7083
Falta de ajuste	2,46E+00	--	1,72E-01 <sup>n.s.</sup>	--
<b>R<sup>2</sup></b>			<b>0,83922</b>	

X<sub>1</sub>: Formulação: (%) concentrado proteico de soro de leite bovino na mistura com arroz polido.

X<sub>2</sub>: Umidade da mistura no processamento (%).

X<sub>3</sub>: Temperatura (°C) da última zona de aquecimento da extrusora Brabender.

p: Valor estatístico da probabilidade.

-- Não determinado.

<sup>n.s.</sup>: Não significativo.

\*: Significativo ao nível de 5 % de probabilidade.

\*\* : Significativo ao nível de 1 % de probabilidade.

\*\*\*: Significativo ao nível de 0,1 % de probabilidade.

**Tabela 36.** Análise de variância simplificada para viscosidade máxima a 95 °C (cP) das farinhas mistas extrudadas de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino.

Fonte de variação	SQ	GL	QM	Fcalculado	Ftabelado	p-valor
Regressão	114015,70	4	28503,9	11,6990	3,0556	1,63E-04
Resíduos	12339,70	5	2436,44			
Falta de ajuste	17218,20	5				
Erro puro	6988,70	5				
Total	150562,30	19				

SQ: Soma dos quadrados.

GL: Graus de liberdade.

QM: Quadrados médios.

p: Valor estatístico da probabilidade.

Considerando os resultados da análise de variância e fazendo uso dos coeficientes significativos observados, a equação do modelo matemático fica restrita como:

$$\text{Viscosidade Máxima a 95 °C} = 654,99 - 44,71X_1 - 29,26 X_1^2 + 66,02X_2 + 32,97X_3 \quad (23)$$

A análise cuidadosa das Figuras 46, 47 e 48, indicam que os maiores picos de viscosidade a quente são alcançados quando o teor de concentrado proteico está em seus menores níveis e, concomitantemente, a umidade e a temperatura estão em níveis mais altos.

Quando houve a combinação de elevada concentração de proteína (7,36 %) com intermediário teor de umidade (20 %) e temperatura média (140 °C), o menor valor de viscosidade a 95 °C foi alcançado.

Teba, Ascheri e Carvalho (2009) avaliaram as propriedades de pasta de massas alimentícias a base de arroz e feijão e relataram que o aumento da proporção de farinha de feijão nas farinhas mistas de arroz polido e feijão preto levou a redução da quantidade de amido presente, resultando, portanto, na diminuição de viscosidade.

A redução significativa da viscosidade máxima a quente decorrente da presença de matérias-primas não amiláceas também foi descrita por outros autores (SILVEIRA et al., 1981; BORGES, 2002; MENDONÇA, 2005; ASCHERI, 2006; SILVA, 2006).

A presença de amidos solúveis e a interação entre os grânulos intumescidos também deve ser considerada, pois, segundo Vijayagopal, Balagopalan e Moorthy (1988), elas são responsáveis pela viscosidade de uma suspensão de amido gelatinizado de tal forma que a diminuição da concentração de amido causa decréscimo no número de grânulos e consequentemente, na viscosidade numa mesma temperatura.

Um fator que pode contribuir para a diminuição da viscosidade a 95 °C é o teor de proteína adicionado às misturas ou presente nas matérias-primas utilizadas na elaboração dos extrudados. Assim como no presente estudo, El-Saied et al. (1979) constataram que o teor de

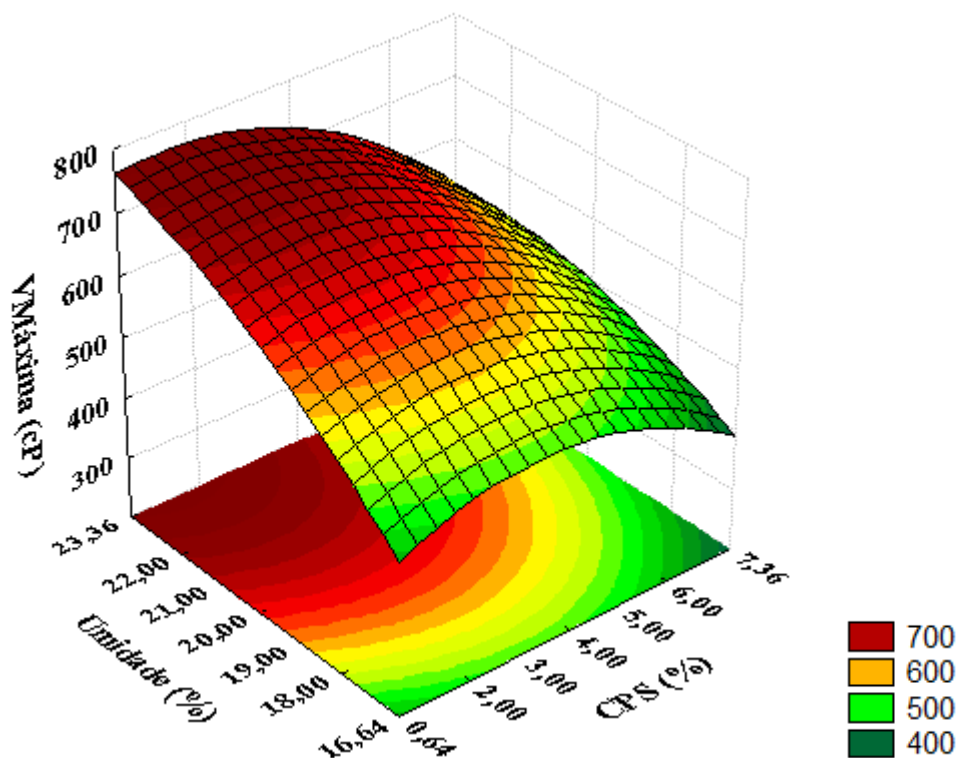


proteína correlaciona-se negativamente com a viscosidade máxima a quente, o que pode ser explicado pelo fato da proteína desempenhar o papel de uma barreira física ao intumescimento do grânulo de amido, pois o mesmo encaixa-se na matriz proteica.

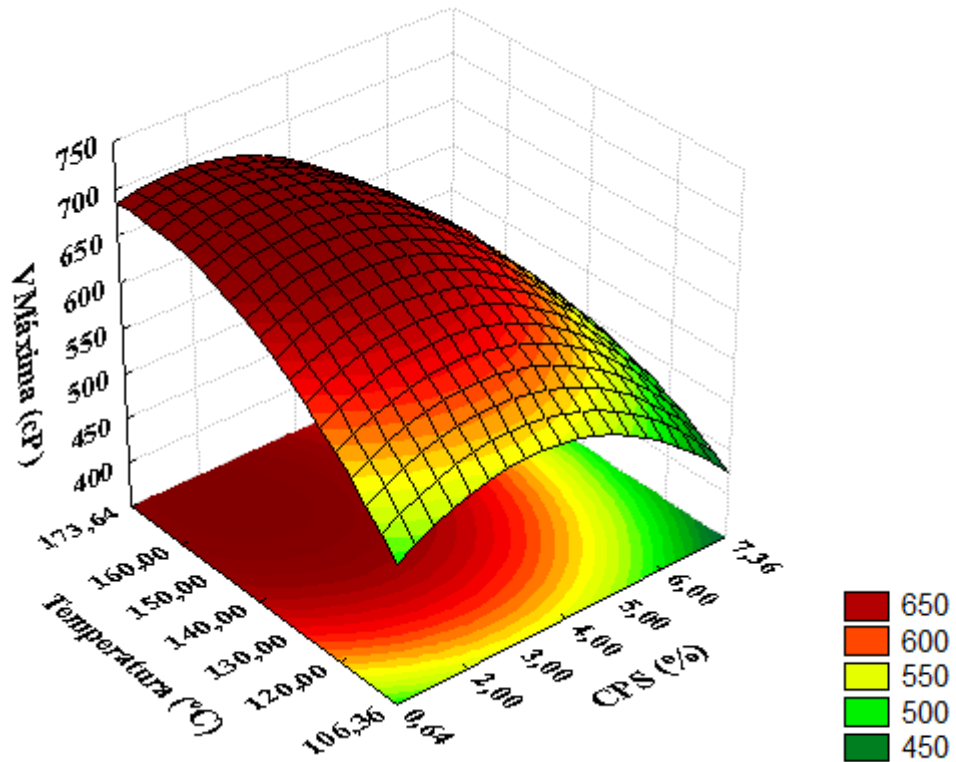
Outro agente cooperador para o decréscimo da viscosidade é a diminuição da água disponível para a gelatinização do amido devido a sua interação com a proteína, como cita Silveira et al. (1981).

Sabe-se que o amido é o principal responsável pela viscosidade. Para Moura (2012), um amido que não sofre um processo de extrusão tão severo, seja por auxílio de uma elevada umidade, ou de uma baixa temperatura associada com uma baixa rotação do parafuso, pode manter parte de sua estrutura amilácea, apresentando até mesmo um pico de viscosidade máxima, que pode representar um amido não gelatinizado, ou parcialmente gelatinizado.

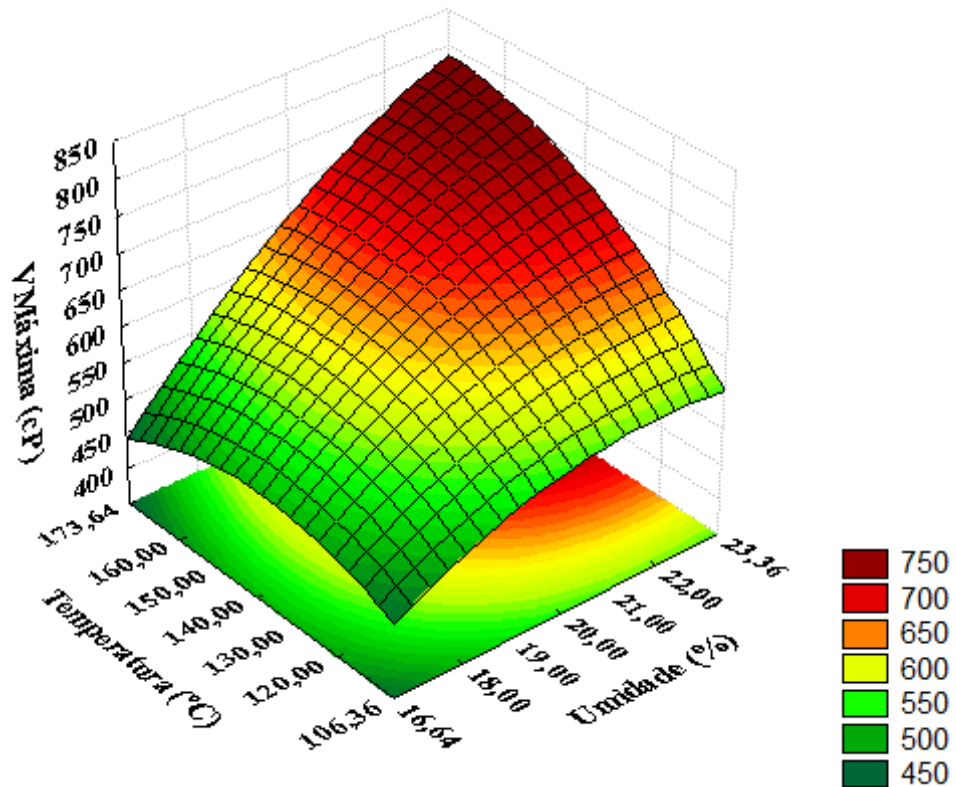
Os maiores picos de viscosidade (Tabela 32) foram observados nos ensaios com temperatura média a elevada (140 °C e 160 °C) e alto teor de umidade (23,36 % e 22 %). Considerando o acima exposto, supõe-se que o teor de umidade atuou de modo a reduzir o atrito provocado durante o cisalhamento, levando a uma menor destruição dos grânulos de amido.



**Figura 46.** Efeito das variáveis quantitativas umidade (%) e CPS (%) na viscosidade máxima a 95 °C (cP) das farinhas mistas extrudadas de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino.



**Figura 47.** Efeito das variáveis quantitativas temperatura (°C) e CPS (%) na viscosidade máxima a 95 °C (cP) das farinhas mistas extrudadas de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino.



**Figura 48.** Efeito das variáveis quantitativas temperatura (°C) e umidade (%) na viscosidade máxima a 95 °C (cP) das farinhas mistas extrudadas de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino.

#### 4.3.4.4 Viscosidade de pasta mínima a 95 °C

Segundo Teba (2009), a viscosidade mínima à temperatura constante ocorre quando a ruptura dos grânulos, devido à agitação do meio, atinge o seu máximo, e, para Moura (2010) este parâmetro de viscosidade de pasta pode ser visto como uma medida do grau de desintegração dos grânulos de amido e outras substâncias, correspondendo ao menor valor de viscosidade após o pico de gelatinização.

De acordo com os dados da Tabela 37, verifica-se que a viscosidade mínima a quente teve influência do efeito linear ( $p < 0,001$ ) e quadrático ( $p < 0,05$ ) da formulação; foi influenciada também pelo efeito quadrático ( $p < 0,01$ ) da umidade, pelo efeito linear da temperatura ( $p < 0,05$ ) e pela interação entre formulação e umidade ( $p < 0,05$ ), com maiores efeitos para o fator formulação.

**Tabela 37.** Teste F da análise de variância, coeficiente de regressão, estimativa dos efeitos e respectivas probabilidades (P) do modelo de regressão quadrática aplicada a viscosidade mínima a 95 °C (cP) das farinhas mistas extrudadas de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino, em função da formulação, umidade e temperatura.

Fator	Teste F	Coeficiente de Regressão	p	Estimativa dos Efeitos
Intercepto/ Média	--	280,5241	1,27E-09***	280,524
X <sub>1</sub>	1,39E+02	-5,33E+01	7,69E-05***	-106,692
X <sub>1</sub> <sup>2</sup>	8,42E+00	1,28E+01	3,37E-02*	25,539
X <sub>2</sub>	3,17E-01	-2,55E+00	5,97E-01 <sup>n.s.</sup>	-5,093
X <sub>2</sub> <sup>2</sup>	3,26E+01	-2,51E+01	2,29E-03**	-50,280
X <sub>3</sub>	1,58E+01	1,80E+01	1,06E-02*	35,914
X <sub>3</sub> <sup>2</sup>	5,41E+00	1,02E+01	6,75E-02 <sup>n.s.</sup>	20,472
X <sub>1</sub> X <sub>2</sub>	2,15E+01	-2,74E+01	5,64E-03**	-54,792
X <sub>1</sub> X <sub>3</sub>	2,06E+00	8,48E+00	2,11E-01 <sup>n.s.</sup>	16,958
X <sub>2</sub> X <sub>3</sub>	1,98E+00	8,31E+00	2,18E-01 <sup>n.s.</sup>	16,625
Falta de ajuste	6,61E+00	--	2,93E-02*	--
<b>R<sup>2</sup></b>			<b>0,85936</b>	

X<sub>1</sub>: Formulação: (%) concentrado proteico de soro de leite bovino na mistura com arroz polido.

X<sub>2</sub>: Umidade da mistura no processamento (%).

X<sub>3</sub>: Temperatura (°C) da última zona de aquecimento da extrusora Brabender.

p: Valor estatístico da probabilidade.

-- Não determinado.

<sup>n.s.</sup>: Não significativo.

\*: Significativo ao nível de 5 % de probabilidade.

\*\* : Significativo ao nível de 1 % de probabilidade.

\*\*\*: Significativo ao nível de 0,1 % de probabilidade.

Através da análise da Tabela 37, observa-se que 86 % da variação total foi explicada pelo modelo, atribuindo-se apenas 14 % ao erro experimental, entretanto, foi evidenciada falta de ajuste dos dados ao modelo quadrático aplicado, o que pode sugerir que este modelo não é preditivo para esta análise. Mas, cabe salientar que não existe outro modelo que não o atualmente utilizado que se ajuste ao presente estudo.

A média foi altamente significativa ( $p < 0,001$ ), o que demonstra que o ponto central pode ter sido escolhido adequadamente (Tabela 37), e como a análise de variância simplificada (Tabela 38) mostra que o F calculado é superior ao F tabelado foram obtidos a equação que representa o modelo e as superfícies de resposta correspondentes.

**Tabela 38.** Análise de variância simplificada para viscosidade mínima a 95°C (cP) das farinhas mistas extrudadas de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino.

Fonte de variação	SQ	GL	QM	Fcalculado	Ftabelado	p-valor
Regressão	60739,40	5	12147,9	11,5123	2,9582	1,47E-04
Resíduos	4153,00	4	1055,21			
Falta de ajuste	9224,63	5				
Erro puro	1395,33	5				
Total	75512,36	19				

SQ: Soma dos quadrados.

GL: Graus de liberdade.

QM: Quadrados médios.

p: Valor estatístico da probabilidade.

Através da análise de variância e na probabilidade estatística, descritas na Tabela 37, somente os coeficientes de regressão significativos ao nível de 95 a 99,9 % de confiança foram selecionados para o desenvolvimento do modelo (Equação 24), como segue abaixo:

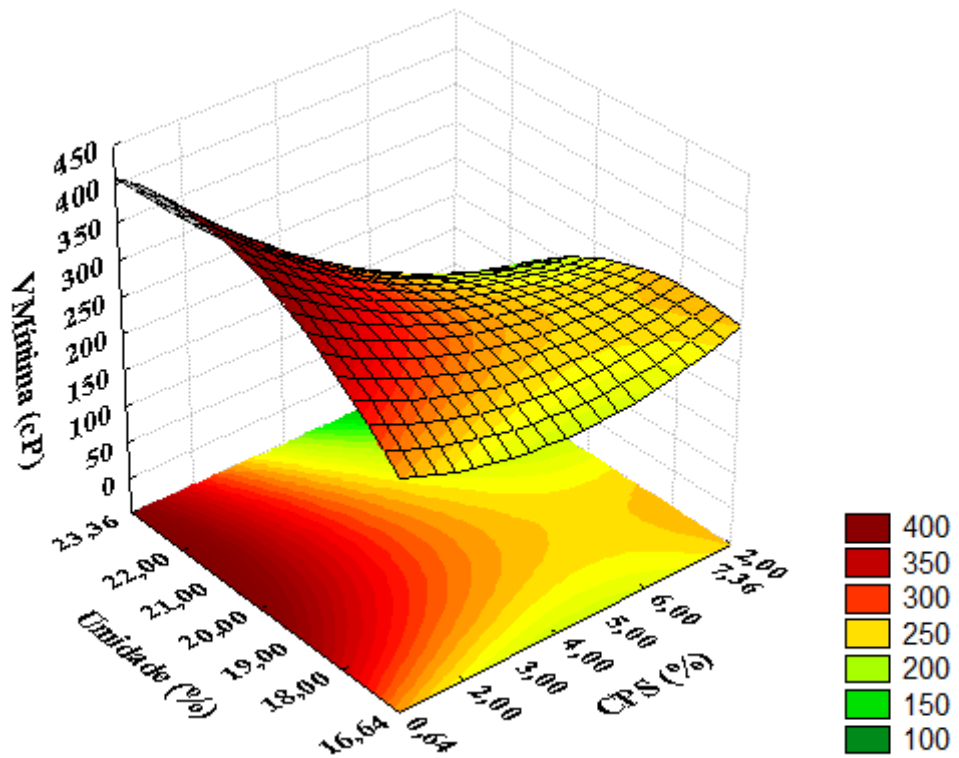
$$\text{Viscosidade Mínima a 95 } ^\circ\text{C} = 280,52 - 53,35X_1 + 12,75X_1^2 - 25,14 X_2^2 + 17,96X_3 - 7,40X_1X_2 \quad (24)$$

As Figuras 49, 50 e 51, desenhadas utilizando a Equação 24, mostram claramente a influência dos fatores acima referidos.

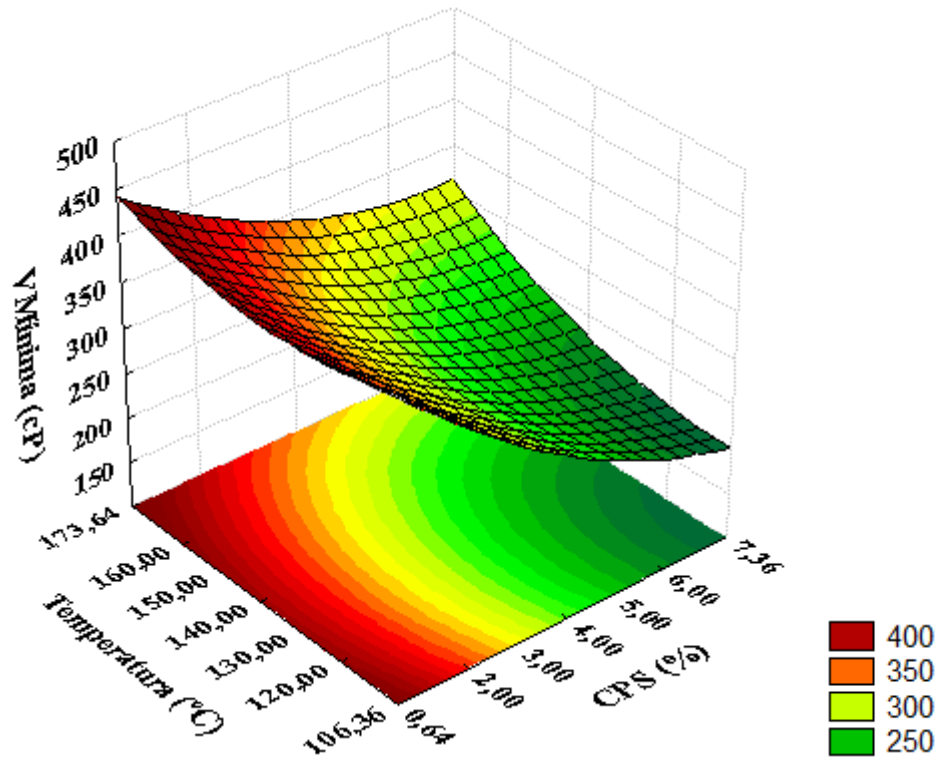
Verifica-se que os efeitos negativos das variáveis umidade e formulação resultam em incremento dos valores de viscosidade mínima quando estas encontram-se em níveis inferiores.

Teba (2009) afirma que altos teores de umidade diminuem o atrito e com isso uma quantidade menor de grânulos sofre degradação. Dessa forma, a autora enfatiza que como a viscosidade mínima está relacionada à ruptura dos grânulos de amido, é necessário menor valor de umidade para que este fenômeno ocorra com maior intensidade, pois assim, as moléculas tornam-se mais susceptíveis à ação do cisalhamento.

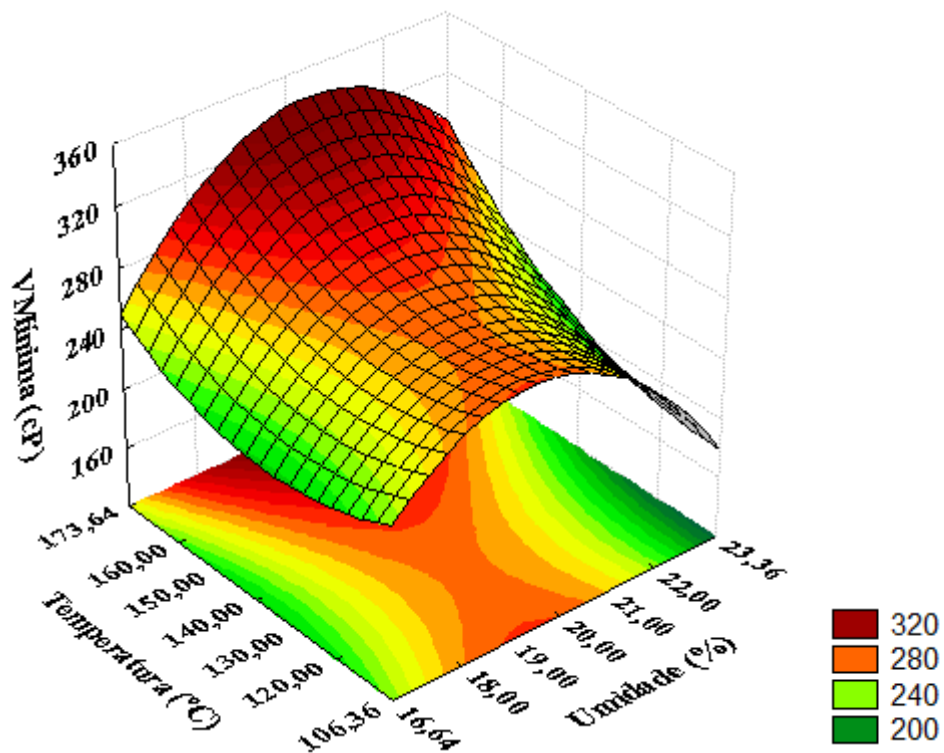
Com a inclusão do concentrado proteico de soro de leite na mistura, houve redução da quantidade de amido presente nas farinhas mistas, e conseqüentemente, menos grânulos para sofrer degradação, levando a diminuição dos valores de viscosidade mínima a 95 °C.



**Figura 49.** Efeito das variáveis quantitativas umidade (%) e CPS (%) na viscosidade mínima a 95 °C (cP) das farinhas mistas extrudadas de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino.



**Figura 50.** Efeito das variáveis quantitativas temperatura (°C) e CPS (%) na viscosidade mínima a 95 °C (cP) das farinhas mistas extrudadas de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino.



**Figura 51.** Efeito das variáveis quantitativas temperatura (°C) e umidade (%) na viscosidade mínima a 95 °C (cP) das farinhas mistas extrudadas de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino.

#### 4.3.4.5 Viscosidade final a 25 °C

Para produtos elaborados através da tecnologia de extrusão termoplástica, a viscosidade de pasta final a 25 °C depende diretamente de todas as transformações que acontecem no grânulo de amido e nos demais componentes presentes nas farinhas extrudadas.

Bobbio e Bobbio (2003) e Silva (2006) indicam o processo de retrogradação como uma das características de produtos amiláceos que foram submetidos ao aquecimento, gelatinização e resfriamento, durante a determinação das propriedades de pasta.

De acordo com estes autores, a ocorrência deste fenômeno está atrelada ao efeito da recristalização das moléculas de amilose e amilopectina, que desencadeia a reorganização da estrutura molecular e, conseqüentemente confere na maioria dos casos, um aumento da viscosidade durante o processo de resfriamento.

Por meio da observação da Tabela 39 verifica-se que a viscosidade final a 25 °C foi influenciada de modo linear pelas variáveis formulação ( $p < 0,001$ ) e temperatura ( $p < 0,05$ ), quadraticamente pela variável umidade ( $p < 0,01$ ), assim como pela interação entre formulação e umidade ( $p < 0,01$ ), com maior efeito provocado pelo teor de concentrado proteico nas misturas.

O coeficiente de determinação explica 89 % da variação total da variável resposta em torno da média e 11 % atribui-se aos resíduos, mas o ajuste do modelo aos dados experimentais não foi evidenciado.

Os dados presentes na Tabela 40 viabilizam a elaboração da equação do modelo matemático e dos gráficos tridimensionais (Figuras 52 a 54).

**Tabela 39.** Teste F da análise de variância, coeficiente de regressão, estimativa dos efeitos e respectivas probabilidades (P) do modelo de regressão quadrática aplicada a viscosidade final a 25 °C (cP) das farinhas mistas extrudadas de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino, em função da formulação, umidade e temperatura.

Fator	Teste F	Coeficiente de Regressão	P	Estimativa dos Efeitos
Intercepto/ Média	--	849,370	2,29E-10***	849,370
X <sub>1</sub>	1,79E+02	-1,69E+02	4,18E-05***	-337,246
X <sub>1</sub> <sup>2</sup>	2,59E+00	1,97E+01	1,68E-01 <sup>n.s.</sup>	39,489
X <sub>2</sub>	3,27E+00	2,28E+01	1,30E-01 <sup>n.s.</sup>	45,608
X <sub>2</sub> <sup>2</sup>	2,47E+01	-6,10E+01	4,20E-03**	-122,046
X <sub>3</sub>	7,22E+00	3,39E+01	4,34E-02*	67,744
X <sub>3</sub> <sup>2</sup>	9,37E-03	1,19E+00	9,27E-01 <sup>n.s.</sup>	2,375
X <sub>1</sub> X <sub>2</sub>	4,52E+01	-1,11E+02	1,10E-03**	-221,417
X <sub>1</sub> X <sub>3</sub>	8,11E-01	1,48E+01	4,09E-01 <sup>n.s.</sup>	29,667
X <sub>2</sub> X <sub>3</sub>	3,59E+00	3,12E+01	1,17E-01 <sup>n.s.</sup>	62,417
Falta de ajuste	5,33E+00	--	4,50E-02*	--
<b>R<sup>2</sup></b>			<b>0,89446</b>	

X<sub>1</sub>: Formulação: (%) concentrado proteico de soro de leite bovino na mistura com arroz polido.

X<sub>2</sub>: Umidade da mistura no processamento (%).

X<sub>3</sub>: Temperatura (°C) da última zona de aquecimento da extrusora Brabender.

p: Valor estatístico da probabilidade.

-- Não determinado.

<sup>n.s.</sup>: Não significativo.

\*: Significativo ao nível de 5 % de probabilidade.

\*\* : Significativo ao nível de 1 % de probabilidade.

\*\*\*: Significativo ao nível de 0,1 % de probabilidade.



**Tabela 40.** Análise de variância simplificada para viscosidade final a 25 °C (cP) das farinhas mistas extrudadas de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino.

Fonte de variação	SQ	GL	QM	Fcalculado	Ftabelado	p-valor
Regressão	555760,80	4	138940	21,8368	3,0556	4,12E-06
Resíduos	26709,80	5	6362,66			
Falta de ajuste	57880,80	5				
Erro puro	10849,30	5				
Total	651200,70	19				

SQ: Soma dos quadrados.

GL: Graus de liberdade.

QM: Quadrados médios.

p: Valor estatístico da probabilidade.

Pelas considerações feitas a partir da análise de variância e fazendo uso dos coeficientes observados, a equação do modelo matemático proposta para as variáveis independentes fica rescrita como (Equação 25):

$$\text{Viscosidade Final a 25 °C} = 849,37 - 168,62X_1 - 61,02X_2^2 + 33,87X_3 - 110,71X_1X_2 \quad (25)$$

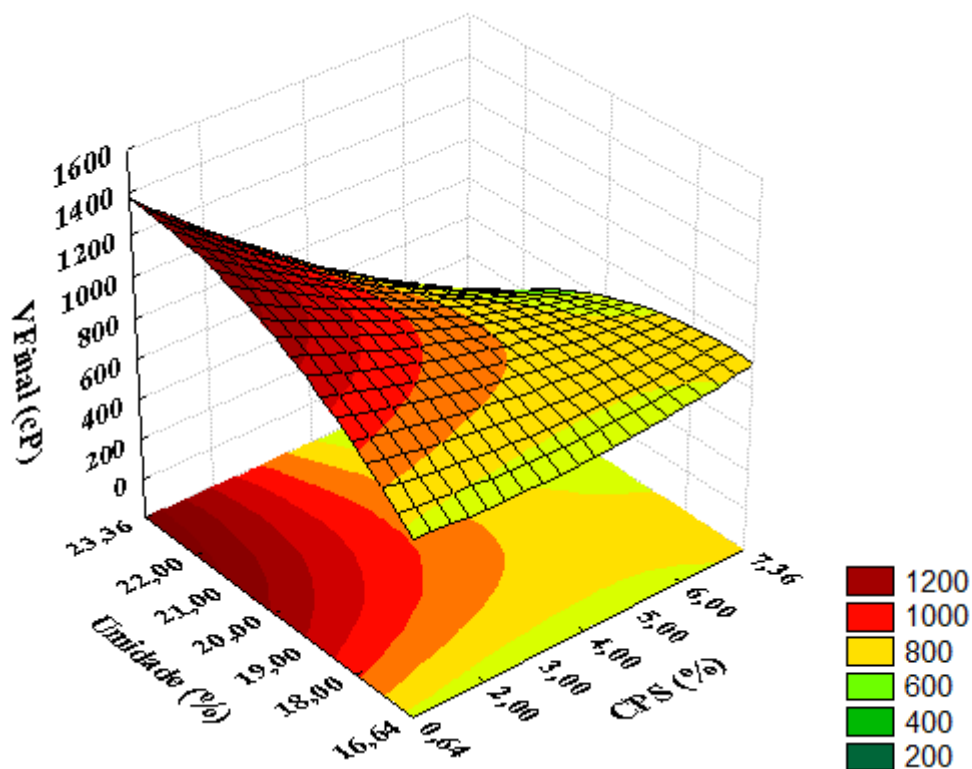
As Figuras 52, 53 e 54 foram desenhadas utilizando a Equação 25 e mostram a influência dos fatores acima descritos.

Analisando a Figura 52, observa-se que o aumento do teor de concentrado proteico de soro de leite bovino implica em menores valores de viscosidade final. Este resultado é similar aos descritos por vários autores (MAIA et al. 1999; BORGES, 2002; MENDONÇA, 2005).

Verifica-se que a viscosidade de pasta final aumenta quando a umidade está entre 20 e 22 %, combinada com baixos teores de concentrado proteico de soro de leite bovino, em geral, até 2 %.

Nota-se ainda que a amostra 3 apresentou o maior valor de viscosidade de pasta final (1164,50 cP); a referida amostra contém 2 % de concentrado proteico de soro de leite bovino e foi processada com 22 % de umidade. Em contrapartida, o menor valor viscosidade final a 25 °C (515,33 cP) foi obtido pela amostra 4, que possui umidade intermediária de 22 % e elevado percentual de concentrado proteico, sendo, neste caso, 6 %.

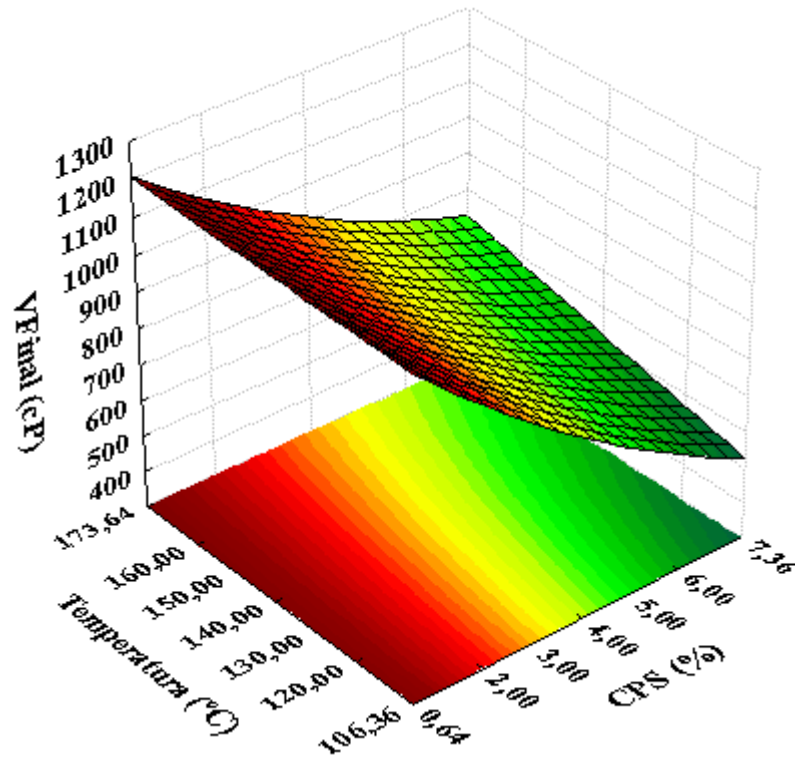
De acordo com as Figuras 53 e 54 pode-se perceber a temperatura exerce o menor efeito na viscosidade final, quando comparado ao efeito provocado pela formulação. O maior valor deste parâmetro de viscosidade foi alcançado com elevada temperatura (160 °C).



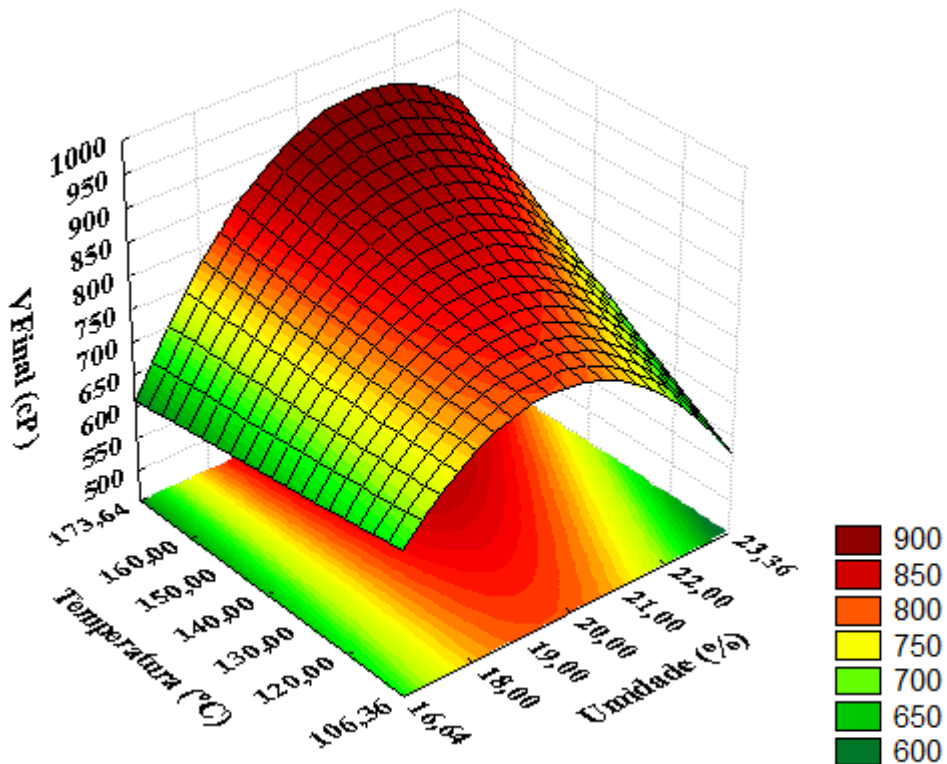
**Figura 52.** Efeito das variáveis quantitativas umidade (%) e CPS (%) na viscosidade final a 25 °C (cP) das farinhas mistas extrudadas de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino.

Massas alimentícias pré-cozidas foram elaboradas por Teba, Ascheri e Carvalho (2009) e por Silva (2007) com diferentes matérias-primas. Nos dois estudos os autores observaram efeito negativo da formulação na viscosidade final.

Ascheri et al. (2006) avaliaram as propriedades de pasta de farinhas pré-gelatinizadas à base de arroz branco polido e bagaço de jabuticaba e verificaram que a formulação foi inversamente proporcional à viscosidade final a 25 °C, enquanto a temperatura apresentou efeito positivo sobre esta variável. Resultado similar foi observado no presente estudo.



**Figura 53.** Efeito das variáveis quantitativas temperatura (°C) e CPS (%) na viscosidade final a 25 °C (cP) das farinhas mistas extrudadas de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino.



**Figura 54.** Efeito das variáveis quantitativas temperatura (°C) e umidade (%) na viscosidade final a 25 °C (cP) das farinhas mistas extrudadas de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino.

#### 4.3.4.6 Tendência à retrogradação ou *setback*

Este parâmetro de viscosidade mede a diferença entre a viscosidade final e o menor valor de viscosidade após o pico, e permite avaliar o comportamento do amido durante a fase de resfriamento.

Os resultados apresentados na Tabela 32 indicam que a média da tendência a retrogradação das farinhas mistas extrudadas (568,85 cP) foi inferior à média de viscosidade máxima a 95 °C (654,99), evidenciando fraca tendência à retrogradação das farinhas mistas elaboradas no presente estudo.

Por meio da análise da Tabela 32 verifica-se que apenas as amostras 3, 7 e 9 apresentaram valores de *setback* superior aos valores de viscosidade de pasta máxima a 95 °C, com diferença superior a 50 cP, o que reforça a ideia apresentada acima.

A partir dos dados expostos na Tabela 41 verifica-se que 90 % da variação total da tendência à retrogradação é explicada pelo modelo utilizado, e, apenas 10 % atribui-se aos resíduos. Como a falta de ajuste do modelo aos dados experimentais não foi significativa, o modelo pode ser considerado preditivo.

A Tabela 41 mostra que as seguintes variáveis independentes contribuíram para os valores de tendência à retrogradação: formulação na sua forma linear ( $p < 0,001$ ), umidade quadrática ( $p < 0,05$ ) e a interação entre formulação e umidade ( $p < 0,01$ ). Todas as variáveis apresentaram efeito negativo.

A análise de variância simplificada (Tabela 42) indica que o valor F calculado é superior ao F tabelado, o que possibilita a geração de equação que representa o modelo e a elaboração de superfície de resposta (Figura 55).

**Tabela 41.** Teste F da análise de variância, coeficiente de regressão, estimativa dos efeitos e respectivas probabilidades (P) do modelo de regressão quadrática aplicada ao setback (cP) das farinhas mistas extrudadas de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino, em função da formulação, umidade e temperatura.

Fator	Teste F	Coeficiente de Regressão	p	Estimativa dos Efeitos
Intercepto/ Média	--	568,846	2,76E-10***	568,846
X <sub>1</sub>	1,08E+02	-1,15E+02	1,41E-04***	-230,554
X <sub>1</sub> <sup>2</sup>	4,18E-01	6,97E+00	5,46E-01 <sup>n.s.</sup>	13,950
X <sub>2</sub>	5,23E+00	2,54E+01	7,09E-02 <sup>n.s.</sup>	50,701
X <sub>2</sub> <sup>2</sup>	1,11E+01	-3,59E+01	2,09E-02*	-71,766
X <sub>3</sub>	2,06E+00	1,59E+01	2,10E-01 <sup>n.s.</sup>	31,830
X <sub>3</sub> <sup>2</sup>	7,04E-01	-9,05E+00	4,40E-01 <sup>n.s.</sup>	-18,098
X <sub>1</sub> X <sub>2</sub>	3,31E+01	-8,33E+01	2,23E-03**	-166,625
X <sub>1</sub> X <sub>3</sub>	1,93E-01	6,35E+00	6,79E-01 <sup>n.s.</sup>	12,708
X <sub>2</sub> X <sub>3</sub>	2,50E+00	2,29E+01	1,75E-01 <sup>n.s.</sup>	45,792
Falta de ajuste	2,82E+00	--	1,40E-01 <sup>n.s.</sup>	--
<b>R<sup>2</sup></b>			<b>0,89554</b>	

X<sub>1</sub>: Formulação: (%) concentrado proteico de soro de leite bovino na mistura com arroz polido.

X<sub>2</sub>: Umidade da mistura no processamento (%).

X<sub>3</sub>: Temperatura (°C) da última zona de aquecimento da extrusora Brabender.

p: Valor estatístico da probabilidade.

-- Não determinado.

<sup>n.s.</sup>: Não significativo.

\*: Significativo ao nível de 5 % de probabilidade.

\*\* : Significativo ao nível de 1 % de probabilidade.

\*\*\*: Significativo ao nível de 0,1 % de probabilidade.

**Tabela 42.** Análise de variância simplificada para o *setback* (cP) das farinhas mistas extrudadas de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino.

Fonte de variação	SQ	GL	QM	Fcalculado	Ftabelado	p-valor
Regressão	255591,90	3	85197,3	26,7252	3,2389	1,81E-06
Resíduos	18979,90	6	3187,91			
Falta de ajuste	23639,30	5				
Erro puro	8387,30	5				
Total	306598,40	19				

SQ: Soma dos quadrados.

GL: Graus de liberdade.

QM: Quadrados médios.

p: Valor estatístico da probabilidade.

Considerando os resultados da análise de variância (Tabela 41) e utilizando os coeficientes estatisticamente significativos ao nível de 95 a 99,9 %, a equação do modelo matemático proposto para as variáveis independentes codificadas (Equação 26) fica restrita do seguinte modo:

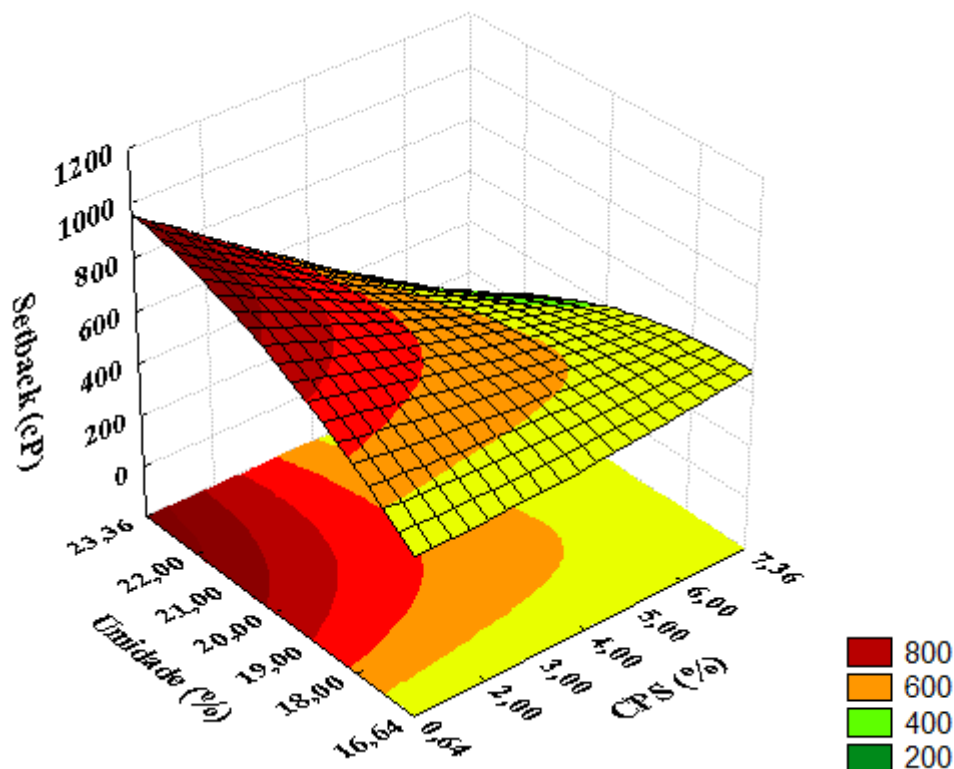
$$\text{Setback} = 568,85 - 115,28X_1 - 35,88X_2^2 - 83,31X_1X_2 \quad (26)$$

A Figura 55 representa o efeito da formulação e da umidade na tendência à retrogradação. Observa-se que o teor de concentrado proteico de soro de leite bovino atua de forma inversamente proporcional ao *setback*, sendo a variável que contribui com maior magnitude.

Os valores mais elevados para esta variável foram encontrados nas amostras com teor de concentrado proteico de até 2 % e umidade intermediária a alta, até 22 %.

Teba (2009) salienta que misturas submetidas a processos mais severos, tendem a apresentar valores de tendência à retrogradação menores, uma vez que ocorre maior degradação dos polímeros, com rompimento das estruturas moleculares e redução da capacidade de recristalização dos mesmos.

Assim, pode-se dizer que as condições operacionais utilizadas no processamento das farinhas mista de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino preservaram a estrutura amilácea.



**Figura 55.** Efeito das variáveis quantitativas umidade (%) e CPS (%) no *setback* (cP) das farinhas mistas extrudadas de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino.

#### 4.3.5 Teste de reconstituição de farinhas mistas pré-gelatinizadas de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino

A importância dos alimentos em pó deve-se principalmente a sua versatilidade no manuseio, armazenamento, processo de fabricação, estabilidade química e microbiológica. Fazem parte desta classe de alimentos os leites (integral e desnatado), alimentos destinados a crianças em fase de aleitamento, bebidas à base de cacau, café e malte, café solúvel, sopas desidratadas instantâneas, suplementos proteicos, pré-misturas para panificação, leveduras, enzimas e aromas, entre outros (VISSOTTO et al., 2006).

Em produtos que serão consumidos logo após a sua reconstituição em líquidos, a dispersão rápida do pó é fundamental. Assim, o teste de reconstituição, que caracteriza-se por mensurar o tempo em que o alimento em pó se dissolve por completo, foi realizado em todas as farinhas mistas extrudadas com a finalidade de determinar as amostras mais indicadas para o preparo de mingaus.

Na Tabela 43 estão expostos os coeficientes do modelo de regressão para o tempo de reconstituição. Analisando a tabela, nota-se que o coeficiente de determinação apresentou valor inferior a 0,70, sendo assim, o modelo não pode ser considerado preditivo.

Os resultados do teste de reconstituição para as farinhas mistas extrudadas de arroz e concentrado proteico de soro de leite estão nas Tabelas 44 e 45.

**Tabela 43.** Teste F da análise de variância, coeficiente de regressão, estimativa dos efeitos e respectivas probabilidades (P) do modelo de regressão quadrática aplicada ao tempo de reconstituição (s) das farinhas mistas extrudadas de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino, em função da formulação, umidade e temperatura.

Fator	Teste F	Coefficiente de Regressão	p	Estimativa dos Efeitos
Intercepto/ Média	--	40,06902	8,54E-07**	40,06902
X <sub>1</sub>	1,89E-01	-3,93E-01	6,82E-01 <sup>n.s.</sup>	-0,78546
X <sub>1</sub> <sup>2</sup>	2,96E+01	4,79E+00	2,85E-03*	9,57336
X <sub>2</sub>	9,18E-03	-8,67E-02	9,27E-01 <sup>n.s.</sup>	-0,17333
X <sub>2</sub> <sup>2</sup>	4,51E+00	-1,87E+00	8,71E-02 <sup>n.s.</sup>	-3,73818
X <sub>3</sub>	7,42E-02	-2,46E-01	7,96E-01 <sup>n.s.</sup>	-0,49260
X <sub>3</sub> <sup>2</sup>	2,02E+00	1,25E+00	2,14E-01 <sup>n.s.</sup>	2,50404
X <sub>1</sub> X <sub>2</sub>	4,03E-01	-7,50E-01	5,54E-01 <sup>n.s.</sup>	-1,50000
X <sub>1</sub> X <sub>3</sub>	4,48E-02	-2,50E-01	8,41E-01 <sup>n.s.</sup>	-0,50000
X <sub>2</sub> X <sub>3</sub>	0,00E+00	0,00E+00	1,00E+00 <sup>n.s.</sup>	0,00000
Falta de ajuste	4,26E+00	--	6,88E-02	--
<b>R<sup>2</sup></b>			<b>0,59563</b>	

X<sub>1</sub>: Formulação: (%) concentrado proteico de soro de leite bovino na mistura com arroz polido.

X<sub>2</sub>: Umidade da mistura no processamento (%).

X<sub>3</sub>: Temperatura (°C) da última zona de aquecimento da extrusora Brabender.

p: Valor estatístico da probabilidade.

-- Não determinado.

<sup>n.s.</sup>: Não significativo.

\*: Significativo ao nível de 1 % de probabilidade.

\*\* : Significativo ao nível de 0,1 % de probabilidade.



**Tabela 44.** Tempo (s) de dissolução de farinhas mistas extrudadas de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino.

Ensaio	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	Tempo de Dissolução (s)	CV (%)
1	2,0	18,0	120	46"00 ± 0,019 <sup>e</sup>	0,035
2	6,0	18,0	120	47"00 ± 0,016 <sup>d</sup>	0,034
3	2,0	22,0	120	49"00 ± 0,017 <sup>b</sup>	0,033
4	6,0	22,0	120	48"00 ± 0,016 <sup>c</sup>	0,034
5	2,0	18,0	160	46"00 ± 0,018 <sup>e</sup>	0,035
6	6,0	18,0	160	47"00 ± 0,016 <sup>d</sup>	0,034
7	2,0	22,0	160	50"00 ± 0,016 <sup>a</sup>	0,033
8	6,0	22,0	160	47"00 ± 0,019 <sup>d</sup>	0,035
9	0,64	20,0	140	50"00 ± 0,016 <sup>a</sup>	0,033
10	7,36	20,0	140	48"00 ± 0,015 <sup>c</sup>	0,034
11	4,0	16,64	140	32"90 ± 0,016 <sup>m</sup>	0,050
12	4,0	23,36	140	27"44 ± 0,017 <sup>n</sup>	0,060
13	4,0	20,0	106,36	40"00 ± 0,016 <sup>i</sup>	0,041
14	4,0	20,0	173,64	38"00 ± 0,016 <sup>j</sup>	0,043
15	4,0	20,0	140	45"00 ± 0,014 <sup>f</sup>	0,036
16	4,0	20,0	140	43"06 ± 0,013 <sup>g</sup>	0,038
17	4,0	20,0	140	36"76 ± 0,019 <sup>k</sup>	0,052
18	4,0	20,0	140	40"28 ± 0,016 <sup>h</sup>	0,041
19	4,0	20,0	140	36"62 ± 0,016 <sup>l</sup>	0,045
20	4,0	20,0	140	40"28 ± 0,018 <sup>h</sup>	0,041
<b>D.M.S.</b>				0,0086	

X<sub>1</sub>: Formulação: (%) concentrado proteico de soro de leite bovino na mistura com arroz polido.

X<sub>2</sub>: Umidade da mistura no processamento (%).

X<sub>3</sub>: Temperatura (°C) da última zona de aquecimento do extrusor Brabender.

CV(%): Coeficiente de variação.

D.M.S. = Diferença mínima significativa ao nível de erro de 5 % pelo teste de Tukey.

Médias com letras diferentes na mesma coluna diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey (p < 0,05).

Os resultados dispostos na Tabela 44 mostram que o tempo de dissolução das farinhas mistas pré-gelatinizadas de arroz e concentrado proteico de soro de leite (CPS) variou de 27s (ensaio 12) a 50s (ensaios 7 e 9), o que pode ser considerado um ótimo tempo para produtos de rápida dissolução.

As farinhas extrudadas de milho e feijão desenvolvidas por Silva (2010) para o preparo de sopas apresentaram tempo de dissolução que variou de 56 a 75s, já as farinhas pré-gelatinizadas de arroz, milho e feijão produzidas por Moura (2012) se reconstituíram entre 35 e 60s, valor similar ao encontrado no presente estudo.

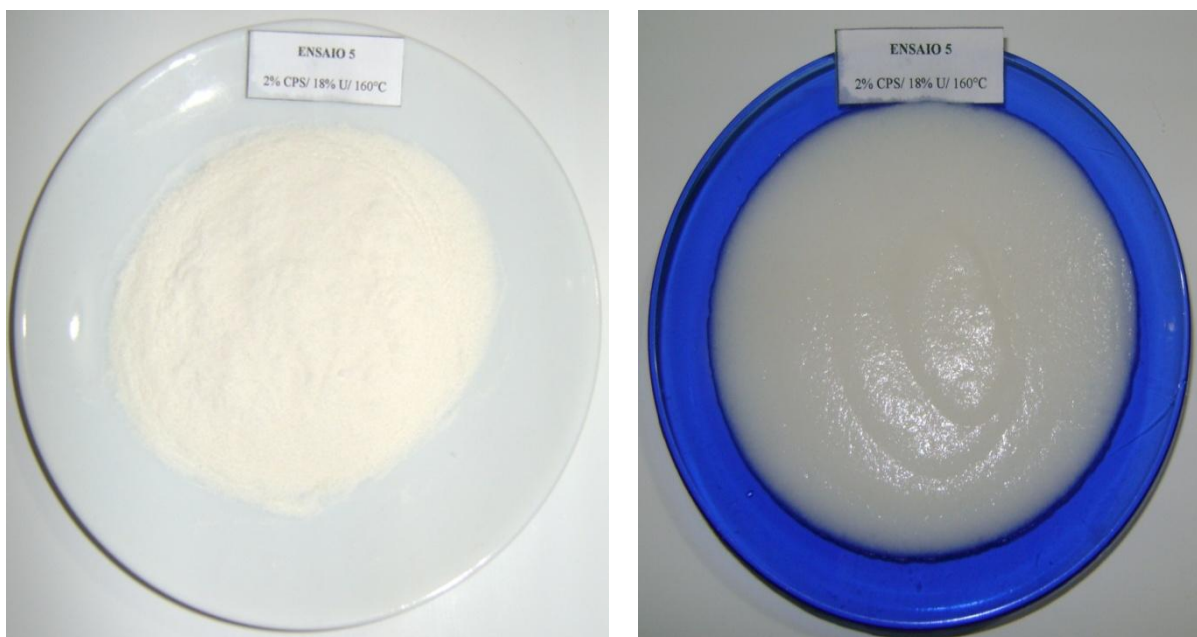
Avaliando resultados dispostos na Tabela 45, verifica-se se que as amostras com as melhores características para o teste de reconstituição foram as seguintes: 5 (46 s), 10 (48 s) e 19 (36'62" s), sendo estas as indicadas para a elaboração de mingaus. Tais amostras apresentaram melhor aspecto geral logo após a reconstituição e após 30 minutos de repouso; não houve formação de grumos e os géis ficaram uniformes e cremosos. Essas farinhas, em geral, também apresentaram boas características de viscosidade de pasta e absorção de água.

Vale ressaltar que não houve separação de fases em nenhuma das farinhas pré-gelatinizadas desenvolvidas.

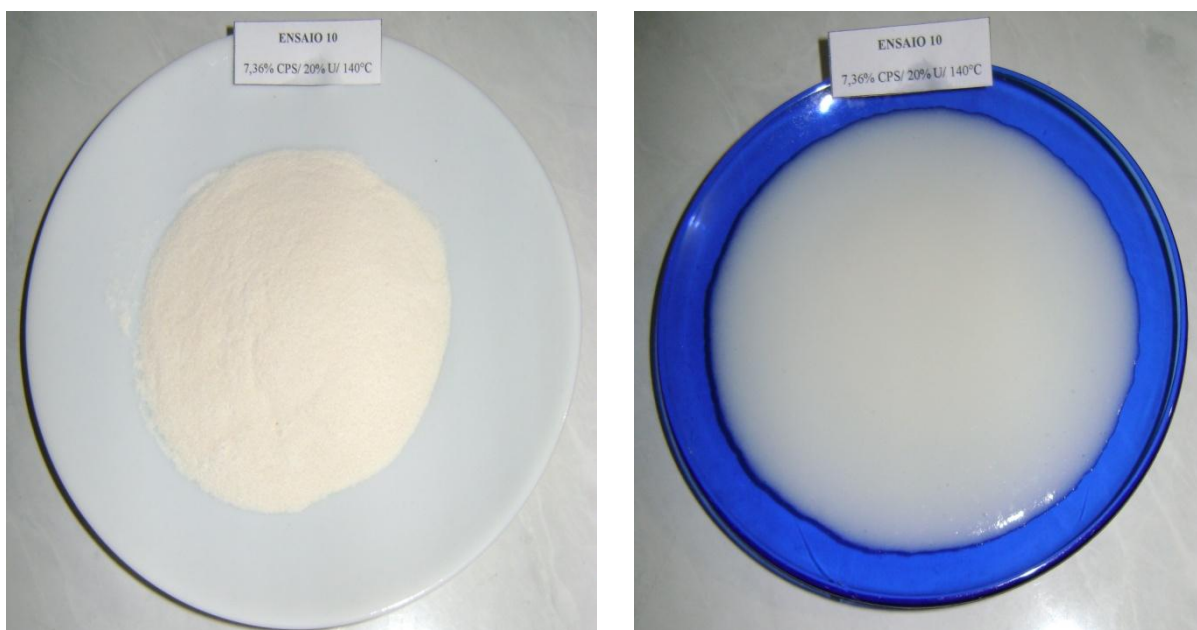
As melhores farinhas pré-gelatinizadas e as suas características após a dissolução podem ser observadas nas Figuras 56 a 58.

**Tabela 45.** Características das farinhas mistas pré-gelatinizadas de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino reconstituídas e após 30 min de repouso.

<b>Amostras</b>	<b>Características após dissolução</b>	<b>Características após 30 min de repouso</b>
1	Consistência similar a um creme grosso, odor muito forte e predominante de soro de leite. Presença de poucos grumos pequenos. Cor: branco.	Aspecto de gel espesso e com aspecto granular.
2	Consistência cremosa e uniforme, odor predominante de soro de leite. Ausência de grumos. Cor: branco.	Aspecto de gel brilhante, uniforme e com odor pronunciado.
3	Consistência de gel fluido, odor predominante de arroz. Ausência de grumos. Cor: branco.	Aspecto de gel brilhante e com poucos grumos.
4	Consistência pastosa, odor suave. Presença de pequenos grumos de difícil dissolução. Cor: amarelo claro.	Aspecto de gel brilhante e muito espesso.
5	Consistência cremosa e odor de arroz. Cor: branco.	Aspecto de gel brilhante, cremoso e com aparência uniforme.
6	Consistência cremosa e bem espessa, similar a um iogurte, odor de arroz. Ausência de grumos. Cor: branco.	Aspecto de gel fosco e com aparência uniforme.
7	Consistência cremosa e bem espessa, odor suave. Ausência de grumos. Cor: branco.	Formação de gel duro.
8	Consistência cremosa e bem uniforme, odor de arroz. Presença de pequenos grumos. Cor: branco.	Aspecto de gel cremoso e com aparência uniforme.
9	Consistência muito fluida, odor predominante de arroz. Presença de pequenos grumos. Cor: branco.	Aspecto de gel cremoso e com aparência uniforme.
10	Consistência cremosa. Ausência de grumos. Cor: amarelo.	Aspecto de gel cremoso.
11	Consistência pastosa, odor predominante de arroz. Presença de poucos e pequenos grumos. Cor: branco.	Aspecto de gel brilhante e muito espesso.
12	Consistência cremosa, odor suave e agradável. Cor: branco.	Aspecto de gel extremamente espesso.
13	Consistência de gel fluido, que "solta da colher", odor predominante de arroz. Presença de grumos. Cor: branco.	Aspecto de gel cremoso.
14	Consistência cremosa, odor de arroz. Presença de poucos grumos. Cor: branco.	Formação de gel duro.
15	Consistência pastosa, odor de arroz. Presença de pequenos grumos. Cor: branco.	Aspecto de gel cremoso uniforme.
16	Consistência de gel fluido, odor de arroz. Presença de pequenos grumos. Cor: branco.	Aspecto de gel cremoso uniforme.
17	Consistência de gel fluido, odor de arroz. Ausência de grumos. Cor: branco.	Aspecto de gel cremoso uniforme.
18	Consistência de gel fluido, odor de arroz. Presença de poucos e pequenos grumos. Cor: branco.	Aspecto de gel cremoso uniforme.
19	Consistência de gel fluido, odor de arroz. Cor: branco.	Aspecto de gel cremoso uniforme.
20	Consistência de gel fluido, odor de arroz. Ausência de grumos. Cor: branco.	Aspecto de gel cremoso uniforme.



**Figura 56.** Farinha mista pré-gelatinizada antes e após a reconstituição referente ao ensaio 05 (2 % concentrado proteico; 18 % umidade; 160 °C).



**Figura 57.** Farinha mista pré-gelatinizada antes e após a reconstituição referente ao ensaio 10 (7,36 % concentrado proteico; 20 % umidade; 140 °C).



**Figura 58.** Farinha mista pré-gelatinizada antes e após a reconstituição referente ao ensaio 19 (4 % concentrado proteico; 20 % umidade; 140 °C - Ponto central).

#### **4.4 Caracterização Química das Matérias-Primas e Farinhas Mistas Pré-Gelatinizadas**

##### **4.4.1 Composição centesimal**

Os resultados referentes à composição centesimal da farinha de arroz, concentrado proteico de soro de leite e dos melhores tratamentos de farinhas mistas à base de arroz polido e concentrado proteico, em base seca, estão apresentados na Tabela 46.

**Tabela 46.** Composição centesimal das matérias-primas e farinhas mistas pré-gelatinizadas.

Composição (%)	FAB	CPS	Amostras			
			5	8	10	16
Umidade	9,89	6,97	4,82 ± 0,03 <sup>c</sup>	6,10 ± 0,05 <sup>a</sup>	5,82 ± 0,04 <sup>a</sup>	5,48 ± 0,08 <sup>b</sup>
Proteínas*	6,84	88,09	8,74 ± 0,00 <sup>c</sup>	13,82 ± 0,14 <sup>a</sup>	13,62 ± 0,05 <sup>a</sup>	11,26 ± 0,05 <sup>b</sup>
Extrato Etéreo	0,75	1,89	0,32 ± 0,00 <sup>b</sup>	0,38 ± 0,01 <sup>a,b</sup>	0,45 ± 0,02 <sup>a</sup>	0,37 ± 0,01 <sup>b</sup>
Cinzas	0,48	2,95	0,40 ± 0,01 <sup>c</sup>	0,56 ± 0,02 <sup>a</sup>	0,51 ± 0,00 <sup>a,b</sup>	0,47 ± 0,01 <sup>b</sup>
Fibra Bruta	0,39	--	0,36 ± 0,01 <sup>a</sup>	0,32 ± 0,02 <sup>a,b</sup>	0,30 ± 0,01 <sup>b</sup>	0,34 ± 0,00 <sup>a,b</sup>
Carboidratos Totais**	81,65	0,10***	85,36 ± 0,06 <sup>a</sup>	78,82 ± 0,30 <sup>b</sup>	79,30 ± 0,17 <sup>b</sup>	82,08 ± 0,21 <sup>b</sup>
<b>Valor Calórico (Kcal.100g<sup>-1</sup>)</b>	359,07	369,77	379,28	373,98	375,73	376,69

\* Proteínas (Nitrogênio total x Fator de conversão). O fator de conversão de nitrogênio utilizado foi 5,95 para arroz e 6,38 para o concentrado proteico e farinhas mistas extrudadas.

\*\* Carboidratos totais não incluem a fração fibra bruta (100 – (umidade + proteínas + extrato etéreo + cinzas + fibra bruta)).

\*\*\*: Valor referente à lactose.

--: Não determinado.

FAB: Farinha de arroz branco.

CPS: Concentrado proteico de soro de leite bovino.

Amostra 5: 2 % de concentrado proteico de soro de leite bovino - 18 % umidade - 160 °C.

Amostra 8: 6 % de concentrado proteico de soro de leite bovino - 22 % umidade - 160 °C.

Amostra 10: 7,36 % de concentrado proteico de soro de leite bovino - 20 % umidade - 140 °C.

Amostra 16: 4 % de concentrado proteico de soro de leite bovino - 20% umidade - 140 °C.

Médias com letras diferentes na mesma linha diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey (p < 0,05).

As matérias-primas farinha de arroz branco polido e concentrado proteico apresentaram 9,89 % e 6,97 % de umidade, respectivamente. Para as farinhas mistas, o conteúdo de umidade variou de 4,82 % a 6,10 %. Este conteúdo de umidade associado à baixa atividade de água apresentada (item 4.4.5) garantem a qualidade microbiológica destas amostras, como mostra o item 4.5.

De modo geral, analisando a Tabela 46, como esperado, nota-se que o concentrado proteico se destacou nas frações de proteína, extrato etéreo e no teor de cinzas. Já a farinha de arroz polido, por ser constituída basicamente por endosperma amiláceo, apresentou em sua composição alto teor de carboidratos.

Para todos os componentes avaliados, as farinhas mistas extrudadas diferiram estatisticamente entre si. Vale destacar que as amostras 8 e 10 obtiveram teor de proteína significativamente mais elevado do que as demais, sendo superior a 13 %.

No que se refere à proteína, observou-se que a combinação entre a farinha de arroz polido e o concentrado proteico resultou em farinhas mistas com teor superior ao da farinha de arroz polido, o que mostra a importante contribuição da adição do concentrado proteico de soro de leite bovino na elaboração dos produtos.

De acordo com El-Dash (1982), geralmente o processo de extrusão aumenta a digestibilidade das proteínas, especialmente pela inativação de fatores antinutricionais e sua desnaturação. Desse modo, as proteínas extrudadas são mais susceptíveis ao ataque de enzimas proteolíticas (ASP e BJORCK, 1989).

O conteúdo de lipídeos do arroz polido é baixo, pois a maior parte deste componente se encontra nas camadas periféricas dos grãos, sendo, portanto, perdidas no processo de polimento. O concentrado proteico apresentou teor duas vezes superior ao do arroz.

A Tabela 46 mostra que a farinha de arroz apresentou 0,75 % de extrato etéreo, valor próximo àqueles reportados por Ilo, Liu e Berghofer (1999) e Murthy, Rey e Belon (2007), que foram 0,77 % e 0,80 %, respectivamente.

O teor de cinzas encontrado para farinha de arroz (Tabela 46) se aproxima dos valores observados por Ilo, Liu e Berghofer (1999), que obtiveram 0,47 % e Nabeshima, Hashimoto e El-Dash (2003), que encontraram teor de 0,49 %.

Observa-se que o valor encontrado para fibra bruta na farinha de arroz polido (Tabela 46) é semelhante ao valor verificado Ensminger et al., 1994 (0,36 %) e inferior ao valor relatado por Mendonça (2005), que fora de 0,74 %.

O teor de carboidrato das farinhas mistas variou de 78 a 85 %, aproximadamente, sendo inversamente proporcional ao conteúdo de concentrado proteico presente nas misturas; como esperado, o mesmo não foi observado para cinzas e lipídeos.

Analisando os resultados obtidos pelas farinhas mistas pré-gelatinizadas, observa-se que a extrusão termoplástica, nas condições de processamento utilizadas no presente estudo, não alterou de forma significativa os teores dos nutrientes e componentes alimentares analisados.

#### 4.4.2 Composição em minerais

A composição em minerais das matérias-primas utilizadas e das farinhas mistas extrudadas está apresentada na Tabela 47.

**Tabela 47.** Composição em minerais das farinhas cruas de arroz branco e concentrado proteico do soro de leite bovino (CPS) e farinhas mistas pré-gelatinizadas.

Minerais (mg.100g <sup>-1</sup> )	Farinha de Arroz Branco	CPS	Amostras			
			5	8	10	16
Sódio	5,44	180,80	5,99	14,88	14,55	9,71
Magnésio	25,05	63,80	20,96	26,20	22,57	23,29
Fósforo	81,40	239,40	98,94	113,35	106,45	104,60
Potássio	55,55	543,45	84,33	118,20	112,76	96,34
Cálcio	5,77	412,25	11,89	33,66	33,21	21,26
Manganês	1,12	NR	1,75	1,75	1,74	1,74
Ferro	0,55	0,41	0,38	1,75	1,92	1,84
Cobre	0,66	NR	0,33	0,33	0,31	0,33
Zinco	1,57	NR	1,46	1,49	1,38	1,41

NR: Não realizado.

Amostra 5: 2 % de concentrado proteico de soro de leite bovino - 18 % umidade - 160 °C.

Amostra 8: 6 % de concentrado proteico de soro de leite bovino - 22 % umidade - 160 °C.

Amostra 10: 7,36 % de concentrado proteico de soro de leite bovino - 20 % umidade - 140 °C.

Amostra 16: 4 % de concentrado proteico de soro de leite bovino - 20% umidade - 140 °C.

Por meio da análise da Tabela 47, verifica-se que o concentrado proteico apresenta alto valor nutricional quando comparado à farinha de arroz branco polido, tendo em vista que os teores de potássio, cálcio, magnésio e fósforo foram significativamente superiores.

No que se refere às farinhas mistas, as amostras com maior quantidade de concentrado proteico apresentaram composição mineral mais expressiva, exceto para manganês, cobre e zinco, cujos teores foram similares entre as mesmas.

O teor de fósforo presente nas matérias-primas está disposto na Tabela 47. Através da sua análise, observa-se que o concentrado proteico supera em aproximadamente três vezes o teor da farinha de arroz branco polido.

Denardin et al. (2004) estudo a composição mineral de grãos de arroz integral, parboilizado e branco e encontrou para o arroz branco polido teor de fósforo variando de 80,6 a 129,3 mg.100g<sup>-1</sup>, valor próximo aos 81,40 mg.100g<sup>-1</sup> encontrados no presente estudo.

O elevado teor de cálcio encontrado no concentrado proteico de soro de leite bovino contribuiu para o aumento deste mineral nas farinhas mistas.

O potássio presente no concentrado proteico de soro de leite bovino corresponde a aproximadamente dez vezes o teor encontrado na farinha de arroz branco polido. As amostras 8 e 10 contêm o dobro deste mineral quando comparadas ao arroz. De acordo com Franceschini, Priore e Euclides (2005), este mineral é o principal cátion do fluido intracelular e está intimamente envolvido na manutenção do equilíbrio hídrico normal e participa da síntese de proteínas, do metabolismo de carboidratos, da regulação da atividade neuromuscular e da função renal.

Com relação aos minerais ferro, cobre e zinco das matérias-primas, observa-se que o teor de ferro presente na farinha de arroz é um pouco superior ao encontrado no concentrado proteico, mas vale destacar que o CPS apresenta teor bastante significativo; cobre e zinco não foram determinados no concentrado proteico. Entretanto, analisando os resultados encontrados para as farinhas mistas e considerando que a recomendação diária de cobre e zinco para adultos é respectivamente 0,9 e 10 mg.100g<sup>-1</sup> (DRI, 1997), pode-se considerar que o uso das farinhas pré-gelatinizadas na elaboração de produtos alimentícios pode contribuir de modo significativo para que a mesma seja alcançada. As farinhas mistas com 4 a 7,36 % de concentrado proteico do soro de leite apresentaram teor de ferro altamente significativo.

O ferro participa no transporte de oxigênio e de gás carbônico do sangue, no processo de respiração celular e na síntese da hemoglobina, processo no qual é essencial a presença do cobre. O cobre atua no funcionamento adequado dos mecanismos de defesa imunológica, na maturação de leucócitos e hemácias, no transporte de ferro, entre outras importantes funções (ANDERSON, 2005). Já o zinco, de acordo com Franceschini, Priore e Euclides (2005), atua como componente essencial de enzimas responsáveis pela manutenção da integridade estrutural de proteínas e pela regulação e expressão da informação genética.

Com base nos resultados apresentados em relação à composição em minerais das matérias-primas, verificou-se que as farinhas mistas pré-gelatinizadas, principalmente as que têm em sua composição 6 e 7,36 % de concentrado proteico de soro de leite bovino, apresentam quantidades significativas de minerais, podendo contribuir à ingestão diária recomendada dos mesmos.

#### **4.4.3 Aminoácidos**

As fontes de proteína de origem vegetal têm sido amplamente utilizadas para a alimentação humana, em razão do baixo custo e ao menor teor de gordura, quando comparados aos alimentos de origem animal (PIRES et al., 2006). Entretanto, sabe-se que as



proteínas de origem animal são formadas por aminoácidos em proporções de ótima qualidade para a nutrição humana (BOBBIO e BOBBIO, 2003).

Na avaliação da adequação de consumo proteico, o conhecimento da qualidade da proteína é imprescindível. Embora o aproveitamento biológico de uma proteína esteja condicionado a uma série de fatores, a composição aminoacídica constitui, indiscutivelmente, fator relevante para sua utilização na síntese proteica. A ausência, ou mesmo a deficiência, de um aminoácido essencial interfere no processo de constituição da proteína de tal forma que pode levar a dieta carente a se comportar como aprotéica, embora a carência se refira a apenas um aminoácido essencial (SZARFARC et al., 1980).

Blanco e Bressani (1991) e Pires et al. (2006) caracterizam a proteína de boa qualidade ou dita de alto valor biológico como a que satisfaz os requerimentos nutricionais para fins de síntese proteica, fornece maior digestibilidade e quantidades adequadas de aminoácidos essenciais, e, para o ser humano, de acordo com Franco (2005) os aminoácidos isoleucina, leucina, lisina, metionina, fenilalanina, treonina, triptofano, histidina e valina são considerados essenciais (FRANCO, 2005).

A composição de aminoácidos de uma proteína, determinada por análise química, é comparada com a de um padrão de aminoácido referência obtendo-se o escore químico de aminoácidos. O escore químico é uma técnica química considerada rápida, consistente e barata. Ela mede o conteúdo de aminoácidos presentes em uma fonte de proteína e compara os valores com uma proteína tida como referência para diferentes grupos etários (FAO, 1985).

Para ser considerada uma proteína de alto valor nutricional é necessário possuir escore químico maior do que 1,0 para todos os aminoácidos essenciais; o aminoácido que apresentar escore inferior a 1,0 é denominado aminoácido limitante.

A Tabela 48 apresenta o perfil de aminoácidos da farinha de arroz branco e do concentrado proteico de soro de leite bovino utilizados na elaboração das farinhas mistas pré-gelatinizadas. Como esperado, o concentrado proteico maiores teores para a maior parte dos aminoácidos analisados, exceto metionina e glicina.

**Tabela 48.** Composição em aminoácidos (mg aminoácido / g de proteína) das farinhas cruas de arroz branco e concentrado proteico do soro de leite bovino (CPS).

Aminoácidos (mg.g <sup>-1</sup> )	Farinha de Arroz Branco	CPS	FAO/WHO* (2 a 5 anos)	FAO/WHO* (10 a 12 anos)	FAO/WHO* (Adultos)
Aspartato	34,36	94,07	--	--	--
Serina	29,24	49,72	--	--	--
Glutamato	115,50	159,84	--	--	--
Glicina	18,27	15,74	--	--	--
Histidina	12,43	15,93	19	19	16
Arginina	14,62	27,77	--	--	--
Treonina	19,01	70,27	34	28	9
Alanina	41,67	44,65	--	--	--
Prolina	46,05	54,79	--	--	--
Tirosina	19,74	32,04	--	--	--
Valina	25,58	52,94	35	25	13
Metionina	11,62	7,61	--	--	--
Lisina	13,89	82,64	58	44	16
Isoleucina	16,81	59,64	28	28	13
Leucina	67,98	106,56	66	44	19
Fenilalanina	24,85	33,59	--	--	--
Triptofano	16,08	22,08	11	9	5
Cisteína	14,25	14,51	--	--	--
Sulfurados (Metionina + cisteína)	25,87	22,12	25	25	17
Aromáticos (Fenilalanina + Tirosina)	44,59	65,63	63	22	19

\*Fonte: FAO, 1985.

Os valores obtidos para a composição dos aminoácidos essenciais das proteínas da farinha de arroz e do concentrado proteico de soro de leite bovino foram divididos pelos valores recomendados pela FAO (1985), e o resultado, denominado escore químico de aminoácido (Tabelas 49, 50 e 51), possibilitou a determinação dos aminoácidos limitantes em cada fonte proteica estudada.

Para crianças de 2 a 5 anos de idade, no concentrado proteico de soro de leite bovino apenas a histidina e os aminoácidos sulfurados são considerados limitantes, enquanto na farinha de arroz apenas a leucina, o triptofano e os sulfurados não são limitantes.

**Tabela 49.** Escore de aminoácidos da farinha de arroz branco polido e concentrado proteico de soro de leite bovino (CPS), segundo as recomendações da FAO/WHO (1985) para crianças de 2 a 5 anos de idade.

<b>Aminoácidos</b>	<b>Farinha de Arroz Branco</b>	<b>CPS</b>
Histidina	0,65	0,84
Treonina	0,56	2,07
Valina	0,73	1,51
Lisina	0,24	1,42
Isoleucina	0,60	2,13
Leucina	1,03	1,61
Triptofano	1,46	2,01
Sulfurados (Metionina + Cisteína)	1,03	0,88
Aromáticos (Fenilalanina + Tirosina)	0,71	1,04

Para crianças de 10 a 12 anos (Tabela 50), observa-se que a histidina é limitante tanto para o arroz quanto para o concentrado proteico de soro de leite bovino. Os aminoácidos treonina, lisina e isoleucina também são limitantes no arroz, e os sulfurados no concentrado proteico. Para adultos (Tabela 51), o concentrado proteico é considerado como de boa qualidade proteica, tendo em vista que nenhum aminoácido é limitante. Para o arroz, a histidina e a lisina continuam sendo limitantes.

**Tabela 50.** Escore de aminoácidos da farinha de arroz branco polido e concentrado proteico de soro de leite bovino (CPS), segundo as recomendações da FAO/WHO (1985) para crianças de 10 a 12 anos de idade.

<b>Aminoácidos</b>	<b>Farinha de Arroz Branco</b>	<b>CPS</b>
Histidina	0,65	0,84
Treonina	0,68	2,51
Valina	1,02	2,12
Lisina	0,32	1,88
Isoleucina	0,60	2,13
Leucina	1,03	2,42
Triptofano	1,79	2,45
Sulfurados (Metionina + Cisteína)	1,03	0,88
Aromáticos (Fenilalanina + Tirosina)	2,03	2,98

**Tabela 51.** Escore de aminoácidos da farinha de arroz branco polido e concentrado proteico de soro de leite bovino (CPS), segundo as recomendações da FAO/WHO (1985) para adultos.

<b>Aminoácidos</b>	<b>Farinha de Arroz Branco</b>	<b>CPS</b>
Histidina	0,78	1,00
Treonina	2,11	7,81
Valina	1,97	4,07
Lisina	0,87	5,17
Isoleucina	1,29	4,59
Leucina	3,58	5,61
Triptofano	3,22	4,42
Sulfurados (Metionina + Cisteína)	1,52	1,30
Aromáticos (Fenilalanina + Tirosina)	2,35	3,45

A mistura de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino na elaboração de produtos pode ser recomendada para ingestão por indivíduos adultos, uma vez que ocorre a complementação de aminoácidos gerará um alimento com boa qualidade proteica. Entretanto, para as demais faixas etárias explicitadas neste estudo, recomenda-se a complementação com outras fontes.

Sabe-se que em uma dieta diversas fontes proteicas são consumidas, assim, a produção de produtos a base de arroz e concentrado proteico pode contribuir para uma alimentação saudável.

Vale salientar que ao se fazer a recomendação de proteína para diferentes grupos populacionais, além da composição aminoacídica devem ser consideradas a quantidade total de nitrogênio e a digestibilidade da mistura proteica.

#### **4.4.4 Eletroforese**

Eletroforese é um método onde moléculas carregadas em solução, normalmente proteínas e ácidos nucleicos, migram sob influência de um campo elétrico. Sua razão de migração através do campo elétrico depende da força do campo, da carga da rede, do tamanho e forma das moléculas, da força iônica, viscosidade e temperatura do meio (PATEL, 1994).

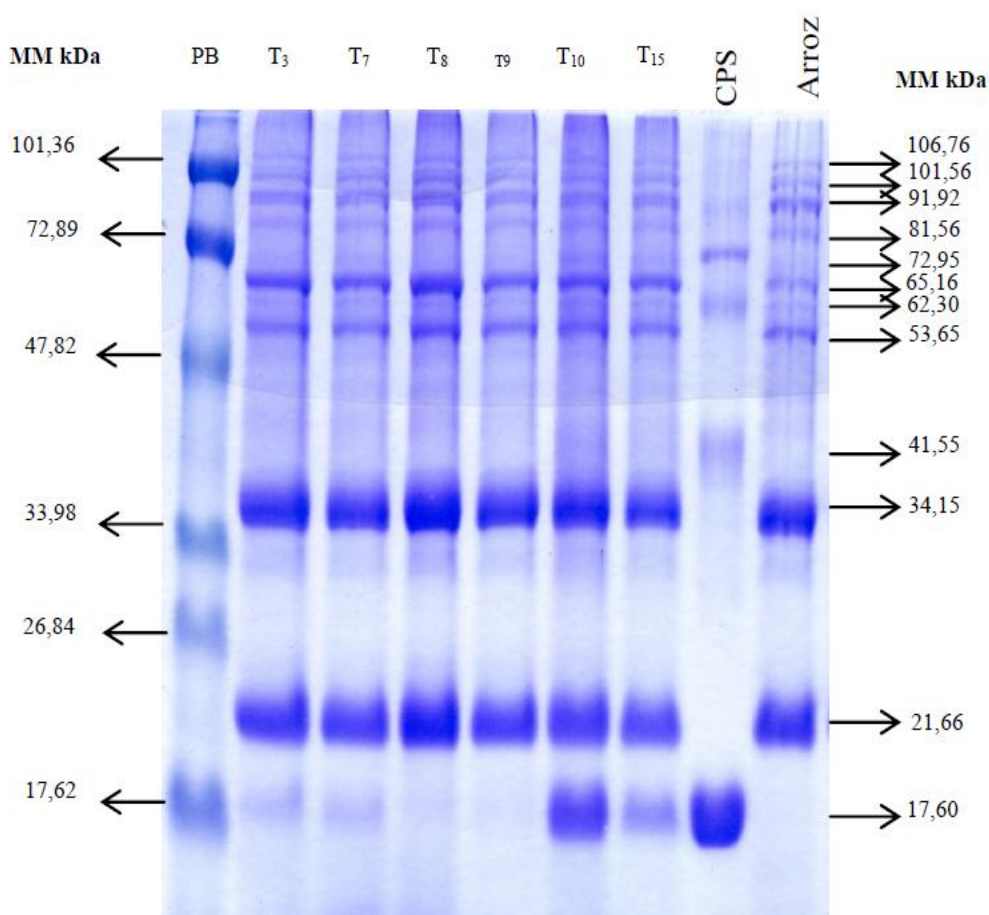
Para o desenvolvimento de novos alimentos derivados do soro de leite tem-se buscado seu aproveitamento através da utilização de processos industriais. Porém, ao submeter-se esse material às condições envolvendo alta temperatura e/ou pressão, devem ser consideradas as possíveis alterações sofridas por suas macromoléculas podendo resultar não somente em sua desnaturação, como também em sua hidrólise. Assim, a realização desta análise teve como objetivo avaliar se as condições de processamento das farinhas mistas leva a grandes perdas de proteína, principalmente a  $\beta$ -lactoglobulina, fração proteica que contém alto teor de aminoácidos essenciais (47 %).

O perfil eletroforético das amostras selecionadas como melhores tratamentos e das matérias-primas está representado na Figura 59.

Analisando a figura abaixo, observa-se que as amostras 3 e 7 apresentaram redução do tamanho da banda proteica referente a  $\beta$ -lactoglobulina; para as amostras 8 e 9 não foi possível identificá-la. As farinhas mistas 10 e 15 apresentaram marcação mais intensa desta banda proteica.

A amostra 8 foi submetida a elevada temperatura (160 °C), o que indica que a condição de processamento pode ter afetado negativamente a qualidade proteica do produto final. Já a amostra 9 é a que possui a menor concentração de proteína (0,64 %) em sua composição. Enquanto as amostras 10 e 15 foram submetidas a condições intermediárias de processamento (20 % de umidade e 140 °C) e continham teor de soro igual ou superior a 4 %.

Cabe ressaltar que em relação às proteínas presentes no arroz, observa-se que todas as frações presentes na farinha de arroz branco crua foram identificadas nas farinhas mistas extrudadas, indicando que, em relação a elas, o processo de extrusão não promoveu perdas nutricionais significativas.



**Figura 59.** Perfil eletroforético das matérias-primas (farinha de arroz branco polido e concentrado proteico de soro de leite bovino - CPS) e farinhas pré-gelatinizadas de arroz e concentrado proteico do soro de leite (T<sub>3</sub>: 22 % U; 120 °C; 2 % CPS / T<sub>7</sub>: 22 % U; 160 °C; 2 % CPS/ T<sub>8</sub>: 22 % U; 160 °C; 6 % CPS/ T<sub>9</sub>: 20 % U; 140 °C; 0,64 % CPS/ T<sub>10</sub>: 20 % U; 140 °C; 7,36 % CPS/ T<sub>15</sub>: 20 % U; 140 °C; 4 % CPS).

#### 4.4.5 Atividade de água das matérias-primas e farinhas mistas extrudadas

A atividade de água, o pH e a composição química do alimento são fatores que determinam o tipo de deterioração microbiana que pode ocorrer em um produto. O limite máximo de água disponível para o desenvolvimento microbiano é condicionado pela atividade de água do alimento (RAHMAN, GUIZANI e AL-RUZEIKI, 2004). Rahman, Guizani e Al-Ruzeiki (2004) e Chisté et al. (2006) consideram a atividade de água de 0,60 como o limite mínimo capaz de permitir o desenvolvimento de microrganismo. Atividade de água entre 0,6 e 1,0 é favorável ao crescimento da maioria dos microrganismos, dentre eles alguns patogênicos (RAHMAN, GUIZANI e AL-RUZEIKI, 2004).

Os dados do Teste F da análise de variância, o coeficiente de regressão, a estimativa dos efeitos e as respectivas probabilidades para a atividade de água estão descritos na Tabela 52.

**Tabela 52.** Teste F da análise de variância, coeficiente de regressão, estimativa dos efeitos e respectivas probabilidades (P) do modelo de regressão quadrática aplicada à atividade de água (Aw) das farinhas mistas extrudadas de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino, em função da formulação, umidade e temperatura.

Fator	Teste F	Coeficiente de Regressão	p	Estimativa dos Efeitos
Intercepto/ Média	--	0,360883	4,20E-15*	0,360883
X <sub>1</sub>	1,93E-02	5,84E-04	8,95E-01 <sup>n.s.</sup>	0,001167
X <sub>1</sub> <sup>2</sup>	3,35E-01	-2,37E-03	5,88E-01 <sup>n.s.</sup>	-0,004736
X <sub>2</sub>	1,00E-01	1,33E-03	7,64E-01 <sup>n.s.</sup>	0,002663
X <sub>2</sub> <sup>2</sup>	7,97E-03	-3,65E-04	9,32E-01 <sup>n.s.</sup>	-0,000730
X <sub>3</sub>	4,56E-01	2,84E-03	5,29E-01 <sup>n.s.</sup>	0,005680
X <sub>3</sub> <sup>2</sup>	7,97E-03	-3,65E-04	9,32E-01 <sup>n.s.</sup>	-0,000730
X <sub>1</sub> X <sub>2</sub>	3,60E-02	1,04E-03	8,57E-01 <sup>n.s.</sup>	0,002083
X <sub>1</sub> X <sub>3</sub>	3,07E-01	3,04E-03	6,04E-01 <sup>n.s.</sup>	0,006083
X <sub>2</sub> X <sub>3</sub>	3,60E-02	-1,04E-03	8,57E-01 <sup>n.s.</sup>	-0,002083
Falta de ajuste	1,46E-01	--	9,73E-01 <sup>n.s.</sup>	--
<b>R<sup>2</sup></b>			<b>0,18390</b>	

X<sub>1</sub>: Formulação: (%) concentrado proteico de soro de leite bovino na mistura com arroz polido.

X<sub>2</sub>: Umidade da mistura no processamento (%).

X<sub>3</sub>: Temperatura (°C) da última zona de aquecimento da extrusora Brabender.

p: Valor estatístico da probabilidade.

-- Não determinado.

<sup>n.s.</sup>: Não significativo.

\*: Significativo ao nível de 0,1 % de probabilidade.

Observando a Tabela 52 verifica-se que o modelo aplicado não é preditivo para esta variável resposta, tendo em vista o baixo valor do coeficiente de regressão (0,18390). Assim, não foi gerado o modelo de equação, nem os gráficos de superfície de resposta.

Através da aplicação do teste de Tukey (Tabela 53), nota-se que houve diferença estatística significativa entre as amostras. A atividade de água das farinhas mistas extrudadas variou de 0,381 a 0,340 sendo estes valores apresentados por ensaios referentes ao ponto central (4 % concentrado proteico / 20 % umidade / 140 °C). A farinha de arroz e p concentrado proteico de soro de leite bovino apresentaram atividade de água de 0,437 e 0,385, respectivamente. Valores próximos foram encontrados por Silva et al. (2011), os quais estudaram cereal matinal extrudado de mandioca enriquecido com concentrado proteico e relataram atividade de água de 0,47, e por Carvalho et al. (2012a) que desenvolveram extrudado de arroz e feijão, que apresentou 0,34 de atividade de água.

A atividade de água tem sido considerada como uma propriedade fundamental no controle de qualidade de alimentos, por representar melhor a água disponível ou o estado da água disponível que melhor se correlaciona com a conservação dos alimentos (CHIRIFE e BUERA, 1995).

Considerando que a atividade de água de 0,60 representa o limite mínimo capaz de permitir o desenvolvimento de microrganismos e os resultados apresentados na análise microbiológica, pode-se afirmar que as farinhas mistas elaboradas no presente estudo apresentam boa estabilidade frente às possíveis alterações provocadas por microrganismos e outras alterações químicas, desde que não haja absorção de umidade durante a estocagem, como enfatizam Morita et al. (2005).

Os resultados encontrados reforçam o conceito de que a extrusão termoplástica reduz a contaminação microbiana e inativa enzimas, sendo que o principal método de conservação de alimentos extrudados, é a combinação do baixo teor de umidade e a baixa atividade de água do produto final.

**Tabela 53.** Resultados da atividade de água (Aw) de farinhas mistas extrudadas de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino e das matérias-primas.

Ensaio	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	Aw	CV (%)
1	2,0	18,0	120	0,353 ± 0,002 <sup>i,j,k,l</sup>	0,4323
2	6,0	18,0	120	0,350 ± 0,002 <sup>l</sup>	0,4360
3	2,0	22,0	120	0,361 ± 0,001 <sup>e,f</sup>	0,3196
4	6,0	22,0	120	0,352 ± 0,001 <sup>j,k,l</sup>	0,1642
5	2,0	18,0	160	0,358 ± 0,001 <sup>g,h</sup>	0,2793
6	6,0	18,0	160	0,356 ± 0,002 <sup>h,i</sup>	0,4287
7	2,0	22,0	160	0,351 ± 0,000 <sup>k,l</sup>	0,0000
8	6,0	22,0	160	0,364 ± 0,002 <sup>d,e</sup>	0,4193
9	0,64	20,0	140	0,354 ± 0,001 <sup>i,j</sup>	0,3259
10	7,36	20,0	140	0,360 ± 0,002 <sup>f,g</sup>	0,4247
11	4,0	16,64	140	0,360 ± 0,001 <sup>f,g</sup>	0,3205
12	4,0	23,36	140	0,365 ± 0,001 <sup>d</sup>	0,2740
13	4,0	20,0	106,36	0,355 ± 0,002 <sup>h,i</sup>	0,4879
14	4,0	20,0	173,64	0,370 ± 0,001 <sup>c</sup>	0,1559
15	4,0	20,0	140	0,375 ± 0,000 <sup>b</sup>	0,0000
16	4,0	20,0	140	0,381 ± 0,000 <sup>a</sup>	0,0000
17	4,0	20,0	140	0,364 ± 0,001 <sup>d,e</sup>	0,1588
18	4,0	20,0	140	0,351 ± 0,000 <sup>k,l</sup>	0,0000
19	4,0	20,0	140	0,340 ± 0,001 <sup>m</sup>	0,3400
20	4,0	20,0	140	0,354 ± 0,000 <sup>i,j,k</sup>	0,0000
<b>Farinha de Arroz</b>	--	--	--	0,437 ± 0,001	0,2290
<b>CPS</b>	--	--	--	0,385 ± 0,002	0,3964
<b>D.M.S.</b>	<b>0,00057</b>				

X<sub>1</sub>: Formulação: (%) concentrado proteico de soro de leite bovino na mistura com arroz polido.

X<sub>2</sub>: Umidade da mistura no processamento (%).

X<sub>3</sub>: Temperatura (°C) da última zona de aquecimento do extrusor Brabender.

CPS: Concentrado proteico de soro de leite bovino.

D.M.S.: Diferença mínima significativa.

CV: Coeficiente de variação.

Médias com letras diferentes na mesma coluna diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey (p < 0,05).



#### 4.5 Caracterização Microbiológica das Matérias-Primas e Farinhas Mistas Pré-Gelatinizadas

De acordo com Guerreiro (2006) a segurança alimentar refere-se à ausência de riscos ao consumo de alimentos, garantindo que estes estejam livres de qualquer substância que possa causar danos à saúde do consumidor.

Os microrganismos estão associados à disponibilidade, abundância e qualidade do alimento para consumo humano. Se esses microrganismos tiverem condições de se multiplicar, podem levar a alterações nas características físicas, químicas e organolépticas dos alimentos, e a uma conseqüente deterioração. Além disso, podem ser responsáveis pela ocorrência de intoxicações e infecções transmitidas por alimentos (CHAN, KRIEG e PELCZAR, 1996).

Assim, com o objetivo de avaliar a qualidade microbiológica das matérias-primas utilizadas no processamento e das farinhas mistas extrudadas que foram selecionadas para compor os ingredientes dos produtos elaborados, foram realizadas análises para coliformes a 35 °C, coliformes a 45 °C, bolores e leveduras, *Bacillus Cereus*, *Salmonella* spp. e *Estafilococos* coagulase positiva.

Os resultados dos testes microbiológicos para as matérias-primas e farinhas mistas extrudadas estão dispostos nas Tabelas 54 e 55, respectivamente.

**Tabela 54.** Resultados das análises microbiológicas para coliformes a 35 °C e a 45 °C, bolores, leveduras, *Bacillus cereus* e *Salmonella* sp. das matérias-primas.

Análises	Concentrado Proteico de Soro de Leite Bovino	Farinha de Arroz Polido	Legislação*
Coliformes a 35 °C (NMP.mL <sup>-1</sup> )	<2,0	3,0	Não referenciado
Coliformes a 45 °C (NMP.mL <sup>-1</sup> )	Ausente	Ausente	1,0 x 10 <sup>2</sup>
Bolores e Leveduras (UFC.mL <sup>-1</sup> )	<1,0 x 10 <sup>2</sup>	<1,0 x 10 <sup>2</sup>	1,0 x 10 <sup>3**</sup>
<i>Bacillus cereus</i> (UFC.mL <sup>-1</sup> )	<1,0 x 10 <sup>2</sup>	<1,0 x 10 <sup>2</sup>	3,0 x 10 <sup>3</sup>
<i>Salmonella</i> sp. Presença / ausência	Ausente	Ausente	Ausência

\* Padrões Microbiológicos para Alimentos – RDC n° 12 de 2001 da ANVISA.

\*\* Resolução CNNPA n° 12 de 1978.

NMP.mL<sup>-1</sup>: Número mais provável por mL.

UFC.mL<sup>-1</sup>: Unidades formadoras de colônia por mL.

**Tabela 55.** Resultados das análises microbiológicas para coliformes a 35 °C e a 45 °C, bolores, leveduras, *Bacillus cereus*, Estafilococos coagulase positiva e Salmonella sp. das farinhas mistas pré-gelatinizadas.

Análises	Amostras				Legislação*
	8	10	16	19	
Coliformes a 35 °C (NMP.mL <sup>-1</sup> )	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	Não referenciado
Coliformes a 45 °C (NMP.mL <sup>-1</sup> )	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	1,0 x 10 <sup>2</sup>
Bolores e Leveduras (UFC.mL <sup>-1</sup> )	<5,0 x 10 <sup>1</sup>	<5,0 x 10 <sup>1</sup>	<5,0 x 10 <sup>1</sup>	<5,0 x 10 <sup>2</sup>	Não referenciado
<i>Bacillus cereus</i> (UFC.mL <sup>-1</sup> )	<1,0 x 10 <sup>2</sup>	<1,0 x 10 <sup>2</sup>	<1,0 x 10 <sup>2</sup>	<1,0 x 10 <sup>2</sup>	5,0 x 10 <sup>3</sup>
Estafilococos coagulase positiva (UFC.mL <sup>-1</sup> )	<1,0 x 10 <sup>2</sup>	<1,0 x 10 <sup>2</sup>	<1,0 x 10 <sup>2</sup>	<1,0 x 10 <sup>2</sup>	5,0 x 10 <sup>3</sup>
Salmonella sp Presença / ausência	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausência em 25g

\* Padrões Microbiológicos para Alimentos – RDC nº 12 de 2001 da ANVISA.

Amostra 8: 6 % concentrado proteico de soro de leite bovino / 22 % umidade / 160 °C.

Amostra 10: 7,36 % concentrado proteico de soro de leite bovino / 20 % umidade / 140 °C.

Amostras 16 e 19: 4 % concentrado proteico de soro de leite bovino / 20 % umidade / 140 °C.

NMP.mL<sup>-1</sup>: Número mais provável por mL.

UFC.mL<sup>-1</sup>: Unidades formadoras de colônia por mL.

O grupo dos coliformes totais (a 35 °C) é composto por bactérias da família *Enterobacteriaceae*, capazes de fermentar a lactose com produção de gás, quando incubados a 35-37°C, por 48 horas. A sua contagem é utilizada para avaliar as condições higiênicas, e a sua presença em alimentos, em alguns casos, pode não ser indicativa de contaminação fecal, porque participam deste grupo bactérias cuja origem direta não é exclusivamente entérica. Sendo assim, a presença de coliformes a 35 °C pode, também, significar contaminação pós-processamento, limpezas e sanificações deficientes, tratamentos térmicos ineficientes ou multiplicação durante o processamento ou estocagem (LANDGRAF, 1996).

As bactérias pertencentes ao grupo dos coliformes fecais (a 45 °C) correspondem aos coliformes totais que apresentam a capacidade de continuar fermentando lactose com produção de gás, quando incubadas a temperaturas de 44-45 °C (LANDGRAF, 1996). Assim, levando-se em conta que a população deste grupo é constituída de uma alta população de *Escherichia coli*, os critérios microbiológicos que envolvem os coliformes a 45 °C são utilizados para determinar se houve contaminação fecal, ou seja, se as condições higiênico-sanitárias são deficientes (PARDI et al., 1995; DOYLE, BEUCHAT e MONTIVILLE, 1997).

A falta de referência para coliformes a 35 °C não permitiu saber se a quantidade apresentada encontrava-se nos limites permitidos, entretanto, não foram detectados coliformes fecais nas amostras estudadas (Tabelas 54 e 55), o que indica boas práticas de higiene no preparo e manipulação das farinhas, indicando que as mesmas podem ser utilizadas no desenvolvimento de produtos alimentícios com segurança, assim como torna viável a realização de testes sensoriais.

As bactérias do gênero *Salmonella* sp. podem estar presentes no solo e contaminar cereais e grãos, e a pesquisa das mesmas é utilizada no controle da qualidade microbiológica dos alimentos, verificando as condições higiênico-sanitárias de diferentes produtos. Já o *Bacillus cereus* é um bastonete aeróbico, normalmente encontrado no solo, na poeira e na água, que pode estar presente também em alimentos *in natura*, frescos e processados, inclusive em arroz e derivados (RHODEHAMEL e HARMON, 2001). Em geral, não são patogênicos, no entanto, podem causar toxinfecção alimentar (síndrome emética e síndrome diarreica), como mencionam McElroy, Jaykus e Foegeding (2000). Em relação aos estafilococos, algumas espécies são capazes de produzir uma enzima extracelular denominada coagulase, que muitas vezes é associada à capacidade de produção de toxinas, sendo desta forma um indicador indireto do potencial patogênico do microrganismo (LANCETTE e TANINI, 1992).

Analisando as Tabelas 54 e 55, observa-se que o concentrado proteico de soro de leite bovino, a farinhas de arroz e as farinhas mistas extrudadas analisadas apresentaram esterilidade com relação a espécies de *Salmonella*, enquanto *Bacillus cereus* e Estafilococos coagulase positiva encontraram-se dentro dos padrões estabelecidos pela legislação. Dessa forma, estes alimentos podem ser considerados seguros sob o ponto de vista da ocorrência de toxinfecções alimentares.

De acordo com Franco e Landgraf (1996) o ar também mantém uma grande variedade de microrganismos em suspensão através de poeiras e partículas líquidas, podendo ser fonte de contaminação de alimentos, e os fungos são os que melhor vivem nesses ambientes, através dos esporos produzidos. E, segundo Silva Jr. (2002), a temperatura ideal para estocagem de alimentos secos é de 26 °C, e esta é a temperatura ótima para o desenvolvimentos de fungos.

É possível que os bolores causem doenças alimentares, pois determinadas espécies podem produzir micotoxinas na superfície dos alimentos, principalmente quando as condições de armazenamento e conservação são deficientes (SCHINTU et al. 1996).

Assim, considerando a baixa população de bolores e leveduras encontrada, tanto para as matérias-primas (Tabela 54) quanto para as farinhas extrudadas (Tabela 55), pode-se afirmar que o armazenamento das amostras foi realizado adequadamente.

Camire, Camire e Khumar (1990) afirmam que o calor produzido durante o processo de extrusão termoplástica destrói os microrganismos presentes no material cru. A extrusão é muito efetiva na redução da contagem total em placa especialmente no número de *Escherichia coli* por 100 g. Os autores ainda mencionam que os testes de sobrevivência de esporos de *Bacillus stearothermophilus*, que são usado como um indicador da habilidade de um processo térmico para destruir bactéria, comprovaram o efeito esterilizante da extrusão.

#### 4.6 Avaliação Sensorial de Biscoitos Tipo *Cookie* Elaborados com Farinha Mista Extrudada de Arroz e Concentrado Proteico de Soro de Leite Bovino

Foram elaborados 3 tipos de biscoito para a aplicação dos testes sensoriais. Os critérios de escolha das melhores farinhas mistas extrudadas para a produção dos *cookies* foram os seguintes: altos índices de solubilidade em água e de absorção de água, associados ao elevado teor de concentrado proteico na formulação.

Foram selecionadas as farinhas mistas pré-gelatinizadas 8 (6 % CPS; 22 % umidade; 160 °C), 10 (7,36 % CPS; 20 % umidade; 140 °C) e um ponto central (4 % CPS; 20 % umidade; 140 °C).

Os julgadores que participaram da avaliação sensorial dos biscoitos foram previamente orientados sobre o preenchimento das fichas e informados que, caso quisessem, poderiam definir de forma livre o que mais gostaram e/ou desgostaram em cada um dos três produtos elaborados. Seguem abaixo imagens das amostras testadas.



**Figura 60.** Biscoito tipo *cookie* elaborado com a farinha mista pré-gelatinizada de arroz e concentrado proteico referente ao ensaio 8 (Créditos: Carla da Silva Teba).



**Figura 61.** Biscoito tipo *cookie* elaborado com a farinha mista pré-gelatinizada de arroz e concentrado proteico referente ao ensaio 10 (Créditos: Carla da Silva Teba).



**Figura 62.** Biscoito tipo *cookie* elaborado com a farinha mista pré-gelatinizada de arroz e concentrado proteico referente ao ensaio 16 (Créditos: Carla da Silva Teba).

Dos 100 participantes, todos afirmaram consumir periodicamente biscoitos tipo *cookie*. A faixa etária média dos julgadores foi de 18 a 25 anos, correspondendo a 60 % dos participantes; apenas 10 % encontravam-se na faixa acima de 40 anos. Observou-se que 85 % dos participantes estão cursando nível superior. Indagados sobre a intenção de experimentar novos produtos, 79 % relataram que gostariam de provar novos produtos. Todos os participantes foram informados sobre a composição dos biscoitos.

As médias do aspecto global e dos atributos sabor, aroma, cor e textura, e da intenção de compra estão apresentadas abaixo.

**Tabela 56.** Médias\* de aspecto global, sabor, aroma, cor, textura e intenção de compra de biscoitos tipo *cookie* à base de farinha mista extrudada de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino.

Amostras	Aspecto Global**	Sabor***	Aroma**	Cor**	Textura***	Intenção de Compra****
8	6,33 <sup>b</sup>	6,17 <sup>b</sup>	6,69 <sup>a</sup>	6,43 <sup>a</sup>	3,66 <sup>b</sup>	3,21 <sup>b</sup>
10	6,80 <sup>a</sup>	7,01 <sup>a</sup>	6,57 <sup>a</sup>	6,46 <sup>a</sup>	4,38 <sup>a</sup>	3,86 <sup>a</sup>
16	6,20 <sup>b</sup>	6,05 <sup>b</sup>	6,05 <sup>b</sup>	6,25 <sup>a</sup>	4,62 <sup>a</sup>	3,12 <sup>b</sup>
<b>D.M.S.</b>	0,42	0,47	0,47	0,38	0,61	0,32

D.M.S. = Diferença mínima significativa ao nível de erro de 5 % pelo teste de Tukey.

Amostra 8: 6 % de concentrado proteico de soro de leite bovino - 22 % umidade - 160 °C.

Amostra 10: 7,36 % de concentrado proteico de soro de leite bovino - 20 % umidade - 140 °C.

Amostra 16: 4 % de concentrado proteico de soro de leite bovino - 20% umidade - 140 °C.

\*Médias com letras diferentes na mesma coluna diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

\*\*1 = desgostei extremamente até 9 = gostei extremamente.

\*\*\*1 = muito duro / 4 = ideal / 9 = muito mole.

\*\*\*\*1 = certamente não compraria / 3 = talvez comprasse, talvez não comprasse / 5 = certamente compraria.

Analisando o aspecto global, o sabor e a intenção de compra dos biscoitos elaborados, observa-se que a amostra 10 (com 7,36 % de concentrado proteico) apresentou a maior média, diferindo estatisticamente das demais, ao nível de 5% de significância. Para o aspecto global e sabor as médias da amostra com maior aceitabilidade ficaram entre "gostei ligeiramente" e gostei "moderadamente".

Para o atributo aroma, as médias obtidas para as amostras 8 e 10 (com 6 % e 10 % de concentrado proteico, respectivamente) não apresentaram diferença estatística ( $p > 0,05$ ). Analisando os resultados obtidos para a cor, verifica-se que não houve variação significativa ( $p > 0,05$ ). As médias ficaram entre 6,25 e 6,46, consideradas na escala hedônica de 9 pontos como "gostei ligeiramente".

Já para a textura, as médias foram de 4,38 para a amostra 8 e 4,62 para a 16, valores que são classificados como ideais na escala adotada. Não houve diferença estatística significativa ao nível de 5% entre estas duas amostras.

Com relação a intenção de compra, os biscoitos elaborados com a farinha mista extrudada de arroz e concentrado proteico referente a amostra 10 apresentou a maior média, diferindo estatisticamente dos outros biscoitos elaborados ( $p < 0,05$ ). Entretanto, os valores das médias obtidos estão na escala próximos do termo "talvez comprasse, talvez não comprasse". No trabalho desenvolvido por Ruffi (2011), os biscoitos tipo *craker* elaborados com adição de derivados de soja, visando incremento no teor de proteínas e fibras, apresentaram resultado semelhante ao do presente estudo.

Nas Tabelas 57, 58, 59 e 60 são apresentadas as porcentagens de aceitação, indiferença e rejeição relacionadas aos biscoitos por meio das escalas hedônicas empregadas. Na Tabela 61 estão expressos os percentuais de intenção de compra.

**Tabela 57.** Índices de aceitabilidade dos biscoitos tipo *cookie* à base de farinha mista extrudada de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino para aspecto global.

Amostras	% Aceitação (Notas > 5)	% Indiferença (Notas = 5)	% Rejeição (Notas < 5)
8	77,00	15,00	8,00
10	91,00	5,00	4,00
16	72,00	19,00	9,00

Amostra 8: 6 % de concentrado proteico de soro de leite bovino - 22 % umidade - 160 °C.

Amostra 10: 7,36 % de concentrado proteico de soro de leite bovino - 20 % umidade - 140 °C.

Amostra 16: 4 % de concentrado proteico de soro de leite bovino - 20% umidade - 140 °C.

**Tabela 58.** Índices de aceitabilidade dos biscoitos tipo *cookie* à base de farinha mista extrudada de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino para o atributo sabor.

Amostras	% Aceitação (Notas > 5)	% Indiferença (Notas = 5)	% Rejeição (Notas < 5)
8	76,00	12,00	12,00
10	92,00	3,00	5,00
16	64,00	21,00	15,00

Amostra 8: 6 % de concentrado proteico de soro de leite bovino - 22 % umidade - 160 °C.

Amostra 10: 7,36 % de concentrado proteico de soro de leite bovino - 20 % umidade - 140 °C.

Amostra 16: 4 % de concentrado proteico de soro de leite bovino - 20% umidade - 140 °C.

**Tabela 59.** Índices de aceitabilidade dos biscoitos tipo *cookie* à base de farinha mista extrudada de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino para o atributo aroma.

Amostras	% Aceitação (Notas > 5)	% Indiferença (Notas = 5)	% Rejeição (Notas < 5)
8	77,00	20,00	3,00
10	76,00	17,00	7,00
16	62,00	26,00	12,00

Amostra 8: 6 % de concentrado proteico de soro de leite bovino - 22 % umidade - 160 °C.

Amostra 10: 7,36 % de concentrado proteico de soro de leite bovino - 20 % umidade - 140 °C.

Amostra 16: 4 % de concentrado proteico de soro de leite bovino - 20% umidade - 140 °C.

**Tabela 60.** Índices de aceitabilidade dos biscoitos tipo *cookie* à base de farinha mista extrudada de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino para o atributo cor.

Amostras	% Aceitação (Notas > 5)	% Indiferença (Notas = 5)	% Rejeição (Notas < 5)
8	70,00	17,00	13,00
10	74,00	17,00	9,00
16	66,00	22,00	12,00

Amostra 8: 6 % de concentrado proteico de soro de leite bovino - 22 % umidade - 160 °C.

Amostra 10: 7,36 % de concentrado proteico de soro de leite bovino - 20 % umidade - 140 °C.

Amostra 16: 4 % de concentrado proteico de soro de leite bovino - 20% umidade - 140 °C.

**Tabela 61.** Índices de intenção de compra dos biscoitos tipo *cookie* à base de farinha mista extrudada de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino.

Amostras	Intenção de Compra (%)		
	Positiva (Notas > 3)	Indiferente (Notas = 3)	Negativa (Notas < 3)
8	36,00	46,00	18,00
10	63,00	33,00	4,00
16	37,00	31,00	32,00

Amostra 8: 6 % de concentrado proteico de soro de leite bovino - 22 % umidade - 160 °C.

Amostra 10: 7,36 % de concentrado proteico de soro de leite bovino - 20 % umidade - 140 °C.

Amostra 16: 4 % de concentrado proteico de soro de leite bovino - 20% umidade - 140 °C.

Observando as Tabelas 57 e 58, verifica-se que o biscoito elaborado com a farinha mista que contém 7,36 % de concentrado proteico apresentou índice de aceitação superior a 90 % para a avaliação global e sabor. Cabe ressaltar que os biscoitos elaborados com as farinhas mistas dos ensaios 8 e 16 apresentaram aceitação satisfatória, superior a 70 %, e rejeição similar entre si, para o aspecto global.

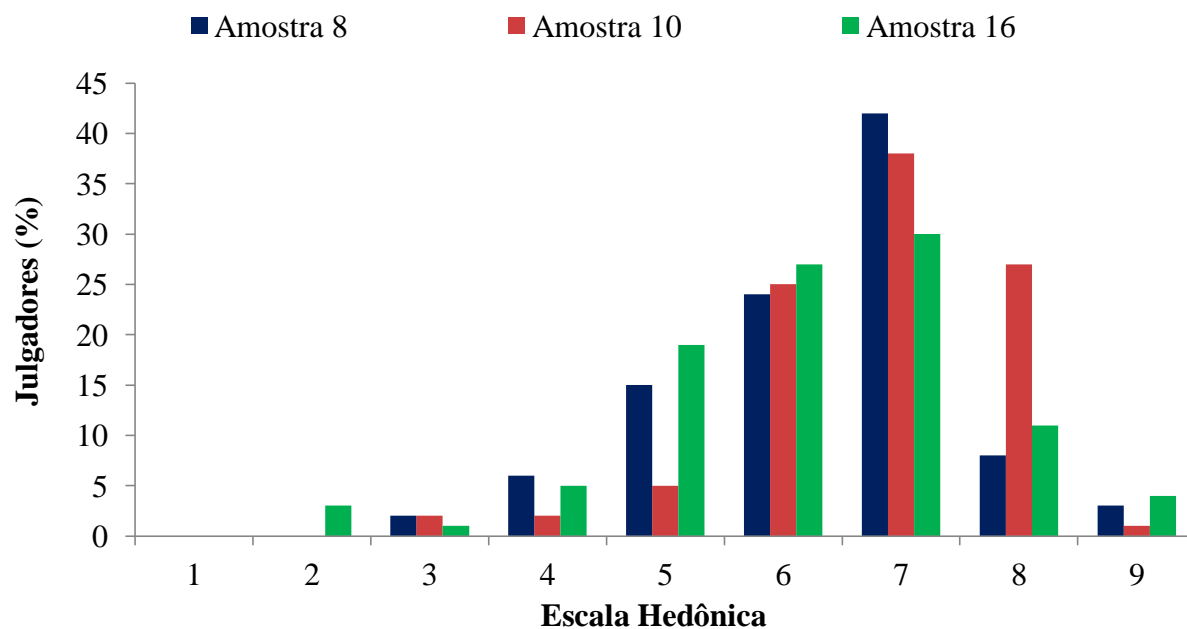
Para o atributo aroma (Tabela 59), os biscoitos produzidos com farinha mista extrudada com 6 e 7,36 % de concentrado proteico apresentaram aceitação maior que 75 %.

No que se refere a cor, apesar da análise de variância indicar que não houve diferença estatística entre os biscoitos (Tabela 56), analisando a Tabela 60 é possível observar que as amostras 8 e 10 apresentam aceitação superior ou igual a 70 % e o menor índice de rejeição é da amostra 10 (9 %). Os biscoitos referentes a amostra 16 apresentaram baixa aceitação (inferior a 70 %), mas o percentual de rejeição é semelhante a 8.

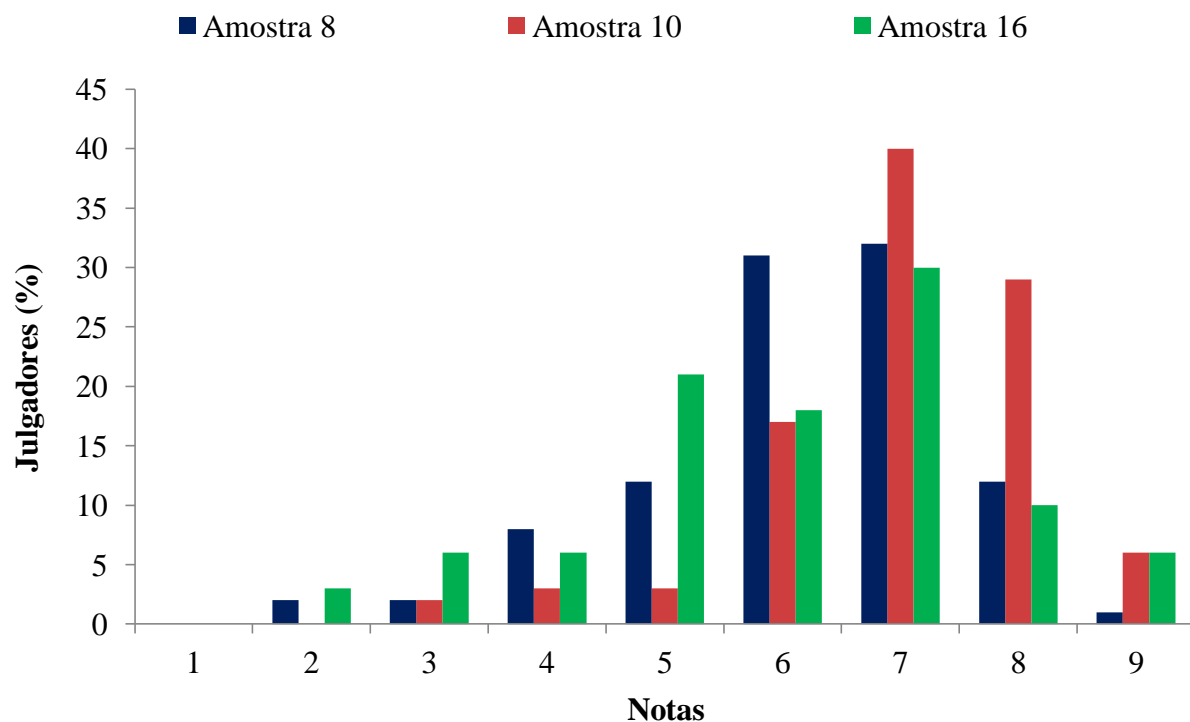
A análise de variância aplicada para o estudo da intenção de compra também revelou não haver diferença significativa entre os biscoitos ( $p > 0,05$ ), como mostra a Tabela 56. Entretanto, os biscoitos elaborados com a farinha mista extrudada com 7,36 % de concentrado proteico apresentou o maior percentual de aceitação, com 63 % das notas atribuídas entre os termos "provavelmente compraria" e "certamente compraria" (Tabela 61).



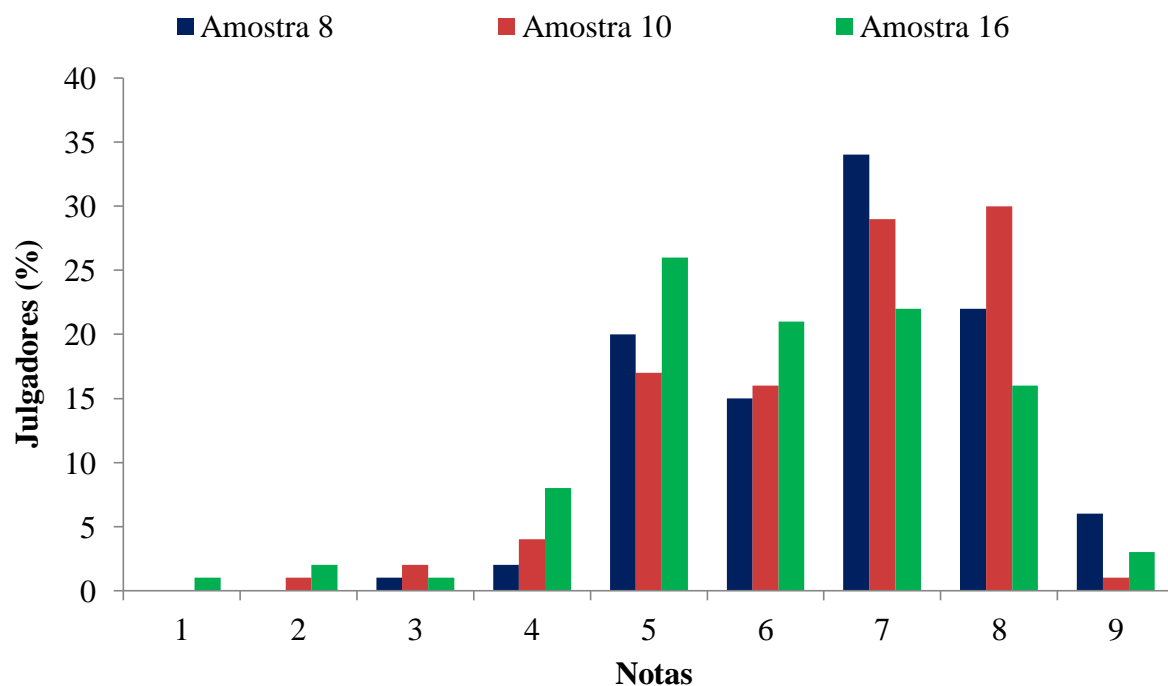
Os histogramas de distribuição de porcentagem de preferência dos julgadores para aspectos globais, sabor, aroma e cor (Figuras 63, 64, 65 e 66) viabilizam a segmentação dos valores hedônicos obtidos por cada biscoito submetido à avaliação sensorial, além de possibilitar a comparação do desempenho das amostras entre si.



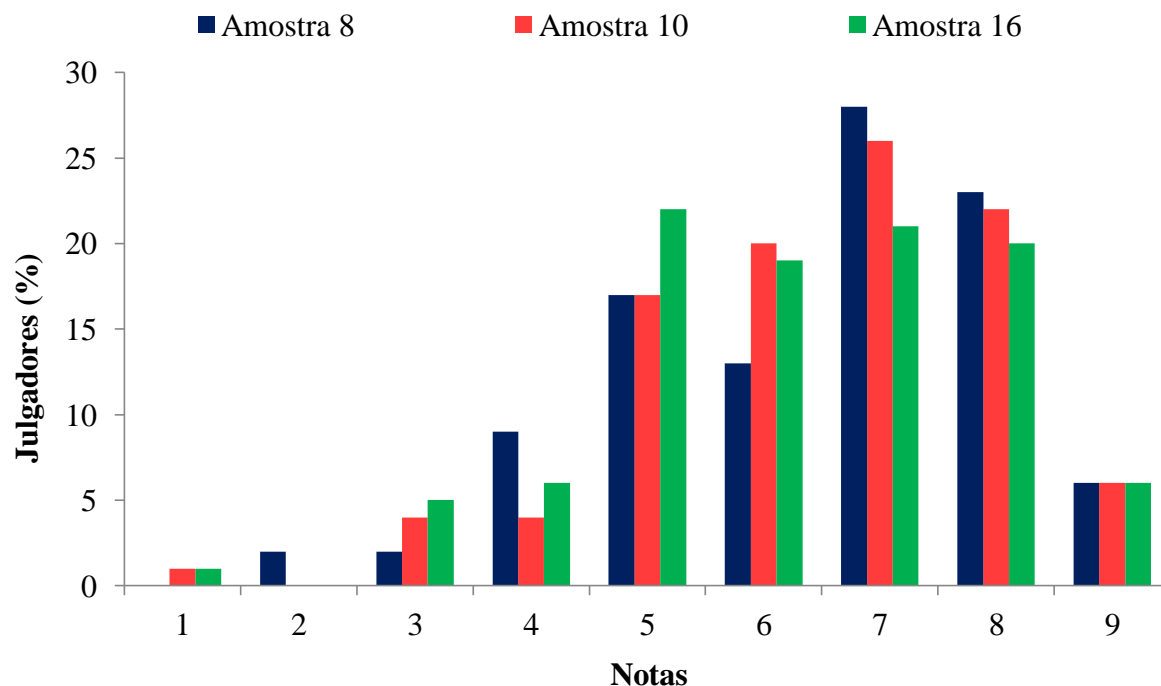
**Figura 63.** Distribuição de notas segundo a preferência dos julgadores para o atributo aspecto global de biscoitos tipo *cookie* à base de farinha mista extrudada de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino (1 = desgostei extremamente, 5 = não gostei nem desgostei, 9 = gostei extremamente).



**Figura 64.** Distribuição de notas segundo a preferência dos julgadores para o atributo sabor de biscoitos tipo *cookie* à base de farinha mista extrudada de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino (1 = desgostei extremamente, 5 = não gostei nem desgostei, 9 = gostei extremamente).



**Figura 65.** Distribuição de notas segundo a preferência dos julgadores para o atributo aroma de biscoitos tipo *cookie* à base de farinha mista extrudada de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino (1 = desgostei extremamente, 5 = não gostei nem desgostei, 9 = gostei extremamente).



**Figura 66.** Distribuição de notas segundo a preferência dos julgadores para o atributo cor de biscoitos tipo *cookie* à base de farinha mista extrudada de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino (1 = desgostei extremamente, 5 = não gostei nem desgostei, 9 = gostei extremamente).

A análise das Figuras 63 e 64, obtidas a partir da resposta individual dos julgadores para os aspectos globais e sabor, permite verificar que a maior concentração de notas foi atribuída ao termo "gostei moderadamente". É válido ressaltar que para estes parâmetros nenhuma amostra foi classificada no termo "desgostei extremamente". E, no que se refere aos demais atributos, para todos os biscoitos, menos de 7 % dos consumidores distribuíram suas impressões nos termos "desgostei extremamente", "desgostei muito" e "desgostei moderadamente".

Para os atributos aroma e cor, a distribuição das notas dos biscoitos elaborados a partir das farinhas mistas das amostras 8 e 10 (Figuras 65 e 66), se concentraram nos termos "gostei moderadamente" (34 % e 29 %, respectivamente) e "gostei muito" (22 % e 30 %, respectivamente).

As impressões positivas e negativas citadas de forma livre pelos julgadores que participaram do teste sensorial foram agrupadas e estão descritas nas Tabelas 62 e 63.

As maiores frequências de menções positivas relacionaram-se ao sabor e à crocância, para todas as amostras (Tabela 62); a amostra 10 de biscoito foi a que obteve maior frequência de características positivas apontadas pelos consumidores.

Avaliando a Tabela 63, verifica-se que o biscoito referente à amostra 16 obteve frequência de menções negativas superior às demais, principalmente, no que se refere ao sabor.

**Tabela 62.** Frequência de impressões positivas citadas pelos julgadores em relação às amostras de biscoitos elaborados com farinha mista extrudada de arroz e concentrado proteico.

Impressões positivas	Amostras		
	8	10	16
Menções sobre aparência	13	17	8
Menções sobre sabor	38	46	17
Menções sobre crocância	15	20	25
Menções sobre aroma	12	8	6
Menções sobre leveza	7	1	0
<b>Total</b>	<b>85</b>	<b>92</b>	<b>56</b>

Amostra 8: 6 % de concentrado proteico de soro de leite bovino - 22 % umidade - 160 °C.

Amostra 10: 7,36 % de concentrado proteico de soro de leite bovino - 20 % umidade - 140 °C.

Amostra 16: 4 % de concentrado proteico de soro de leite bovino - 20% umidade - 140 °C.

**Tabela 63.** Frequência de impressões negativas citadas pelos julgadores em relação às amostras de biscoitos elaborados com farinha mista extrudada de arroz e concentrado proteico.

Impressões negativas	Amostras		
	8	10	16
Menções sobre aparência*	8	5	14
Menções sobre sabor**	12	7	21
Menções sobre textura***	19	11	18
Menções sobre aroma	12	8	14
<b>Total</b>	<b>51</b>	<b>31</b>	<b>67</b>

Amostra 8: 6 % de concentrado proteico de soro de leite bovino - 22 % umidade - 160 °C.

Amostra 10: 7,36 % de concentrado proteico de soro de leite bovino - 20 % umidade - 140 °C.

Amostra 16: 4 % de concentrado proteico de soro de leite bovino - 20% umidade - 140 °C.

\*Com menções específicas quanto à presença de amido de milho na parte inferior dos biscoitos.

\*\* Com menções específicas quanto à presença de "sabor residual" e à ausência de sabor característico.

\*\*\*Com menções específicas quanto à dureza das amostras.

#### 4.7 Avaliação Tecnológica dos Biscoitos Tipo *Cookie*

Os resultados das análises dos parâmetros tecnológicos dos biscoitos doces tipo *cookie* à base de farinha mista de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino estão apresentados na Tabela 64.

**Tabela 64.** Características físicas dos biscoitos doces contendo farinha mista extrudada.

Amostras	MAF (g)	MDF (g)	E (mm)	DAF (cm)	DDF (cm)	FE	Aw
8	3,79 <sup>a</sup> ± 0,13	3,48 <sup>a</sup> ± 0,14	1,08 <sup>b</sup> ± 0,05	2,85 <sup>a</sup> ± 0,05	3,07 <sup>a</sup> ± 0,09	2,84 <sup>a</sup> ± 0,18	0,577 <sup>a</sup> ± 0,002
10	3,85 <sup>a</sup> ± 0,15	3,55 <sup>a</sup> ± 0,10	1,13 <sup>a</sup> ± 0,04	2,83 <sup>a</sup> ± 0,04	3,02 <sup>b</sup> ± 0,11	2,67 <sup>b</sup> ± 0,12	0,546 <sup>b</sup> ± 0,002
16	3,80 <sup>a</sup> ± 0,12	3,57 <sup>a</sup> ± 0,15	1,15 <sup>a</sup> ± 0,05	2,77 <sup>b</sup> ± 0,05	3,09 <sup>a</sup> ± 0,09	2,69 <sup>b</sup> ± 0,14	0,538 <sup>c</sup> ± 0,001

MAF: Massa antes do forneamento.

MDF: Massa depois do forneamento.

E: Espessura.

DAF: Diâmetro antes do forneamento.

DDF: Diâmetro depois do forneamento.

FE: Fator de expansão.

Aw: Atividade de água.

Amostra 8: 6 % concentrado proteico de soro de leite bovino / 22 % umidade / 160 °C.

Amostra 10: 7,36 % concentrado proteico de soro de leite bovino / 20 % umidade / 140 °C.

Amostra 16: 4 % concentrado proteico de soro de leite bovino / 20 % umidade / 140 °C.

Para os valores de massa antes e após o forneamento, observa-se que os ensaios não diferiram estatisticamente entre si ( $p > 0,05$ ). A perda de água evaporada durante o assamento foi similar entre as amostras, e correspondeu a aproximadamente 8 % do peso inicial.

Com relação à espessura, os biscoitos elaborados com farinha mista contendo 4 % de concentrado proteico apresentaram valores mais elevados.

Assis et al. (2009) elaboraram biscoitos substituindo parcialmente a farinha de trigo pela farinha de aveia e verificaram que a adição de farinha de aveia na formulação dos biscoitos não afetou a perda de peso dos biscoitos em relação à formulação com 100 % farinha de trigo.

O diâmetro e o fator de expansão são utilizados para descrever a qualidade dos produtos, e de acordo com Gaines, Kassuba e Finney (1982) os biscoitos com fator de expansão muito alto ou muito baixo causam problemas na indústria, resultando em produtos com tamanho pequeno ou peso muito elevado. Os valores encontrados no presente estudo indicam que os produtos têm boa qualidade.

Cabe ressaltar que a formulação contendo 6 % de concentrado proteico apresentou maior fator de expansão. Com relação ao diâmetro após o forneamento, não houve diferença estatística entre esta e a amostra com 4 %.

Para Perez e Germani (2007), o fenômeno de expansão de biscoitos é primariamente físico e controlado pela capacidade dos componentes de absorver água. Assim, o acréscimo de componentes que possuem maior capacidade para reter água resulta em uma competição pela água livre presente na massa do biscoito, limitando a taxa de expansão.

Na análise de atividade de água, todos os resultados diferiram significativamente entre si, mas os valores estão próximos e abaixo de 0,60 (limite considerado microbiologicamente estável).

#### 4.8 Composição Centesimal dos Biscoitos Tipo *Cookie*

Os resultados das análises físico-químicas dos biscoitos tipo *cookie* produzidos com farinhas mistas extrudadas estão apresentados na tabela abaixo.

**Tabela 65.** Composição centesimal de biscoitos tipo *cookie* elaborados com farinha mista extrudada de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino.

Composição (%)	Biscoitos tipo <i>cookie</i> (g.100g <sup>-1</sup> de amostra)		
	8	10	16
Umidade	4,92 ± 0,13 <sup>b</sup>	3,93 ± 0,03 <sup>c</sup>	5,62 ± 0,02 <sup>a</sup>
Proteínas*	2,74 ± 0,00 <sup>b</sup>	2,90 ± 0,05 <sup>a</sup>	2,46 ± 0,05 <sup>c</sup>
Extrato Etéreo	11,03 ± 0,21 <sup>a</sup>	10,98 ± 0,13 <sup>a</sup>	10,89 ± 0,02 <sup>a</sup>
Cinzas	0,54 ± 0,01 <sup>a</sup>	0,55 ± 0,00 <sup>a</sup>	0,54 ± 0,01 <sup>a</sup>
Carboidratos Totais**	80,77 ± 0,33 <sup>b</sup>	81,64 ± 0,13 <sup>a</sup>	80,49 ± 0,06 <sup>b</sup>
<b>Valor Calórico (Kcal.100g<sup>-1</sup>)</b>	433,31	436,98	429,81

\* Proteínas (Nitrogênio total x Fator de conversão). O fator de conversão de nitrogênio utilizado foi 6,38.

\*\* Carboidratos totais (100 – (umidade + proteínas + extrato etéreo + cinzas)).

Médias com letras diferentes na mesma linha diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey (p < 0,05).

Amostra 8: 6 % de concentrado proteico de soro de leite bovino - 22 % umidade - 160 °C.

Amostra 10: 7,36 % de concentrado proteico de soro de leite bovino - 20 % umidade - 140 °C.

Amostra 16: 4 % de concentrado proteico de soro de leite bovino - 20% umidade - 140 °C.

Os resultados descritos na Tabela 65 demonstraram que os biscoitos apresentaram umidade de 3,93 a 5,62 g.100g<sup>-1</sup>; houve diferença estatística significativa ( $p < 0,05$ ) entre as amostras. Entretanto, cabe ressaltar que os valores obtidos se situam abaixo de 14 %, conforme preconiza a legislação vigente (BRASIL, 1978). Considerando estes resultados e a atividade de água (Tabela 64), pode-se dizer que os produtos, se adequadamente embalados e armazenados, tendem a apresentar boa estabilidade em relação a possíveis alterações microbiológicas e químicas.

O teor médio de proteína dos biscoitos variou de 2,46 a 2,74 g.100g<sup>-1</sup>, com maior conteúdo encontrado na amostra confeccionada com a farinha mista extrudada que continha o maior teor proteico. Os resultados apresentados mostram que o aumento de proteína dos biscoitos foi diretamente proporcional ao teor de concentrado proteico de soro de leite presente nas farinhas mistas utilizadas.

Para o teor de lipídeos, verifica-se que não houve diferença estatística significativa, ao nível de 5 %, entre as amostras estudadas. Sabe-se que biscoitos tipo *cookie* apresentam maior teor de gordura na formulação, assim, a utilização de farinha mista extrudada com baixo teor graxo é benéfica, uma vez que a mesma não colabora com o incremento no conteúdo lipídico final. Os resultados encontrados no presente estudo foram similares aos reportados por Krüger et al. (2003) para biscoito tipo *cookie* enriquecido com caseína obtida por coagulação enzimática, cujo teor de lipídeo foi 10,29 %.

Analisando a Tabela 65, verifica-se que o teor médio de cinzas foi de 0,55 g.100g<sup>-1</sup>, e não houve diferença estatística significativa ( $p > 0,05$ ) entre os biscoitos.

Já em relação ao teor de carboidratos, observa-se que a amostra 10 apresentou valor superior as demais. Como os carboidratos foram calculados por diferença, o resultado obtido pela referida amostra é devido ao menor conteúdo de umidade apresentado pela mesma.

O valor calórico para 100 g de biscoitos, o que equivale a aproximadamente 28 unidades, variou de 429,81 a 436,98 Kcal. Considerando o consumo de 30 g do produto (8 unidades), o valor calórico médio é de 130 Kcal; similar ao informado em tabelas nutricionais de biscoitos atualmente comercializados.

#### **4.9 Avaliação Sensorial de Mingaus Elaborados com Farinha Mista Extrudada de Arroz e Concentrado Proteico de Soro de Leite Bovino**

Considerando os resultados da caracterização tecnológica e funcional das farinhas mistas pré-gelatinizadas, os seguintes ensaios foram selecionados para a elaboração dos mingaus de rápido preparo: 5 (2 % CPS; 18 % umidade; 160 °C), 10 (7,36 % CPS; 20 % umidade; 140 °C) e um ponto central (4 % CPS; 20 % umidade; 140 °C).

Participaram do teste sensorial de mingaus 100 provadores, que assim como os participantes dos testes com os *cookies*, foram orientados sobre o preenchimento do termo de consentimento (ANEXO 3) e demais fichas (ANEXOS 5 e 8).

Como principais características, pode-se citar que os julgadores, em sua maior parte, foram do sexo feminino (65 %), com faixa etária predominante de 18 a 25 anos (71 %), cursando ensino superior (73 %).

Com relação ao consumo de mingaus, 62 % relataram que os consomem esporadicamente, entretanto, quando as temperaturas estão mais amenas, 72 % afirmaram que este tipo alimento compõe a sua alimentação. Na avaliação da intenção em experimentar novos produtos, 83 % se mostraram abertos a provar alimentos diferenciados.

Os resultados dos testes de aceitação estão apresentados na Tabela 66. As porcentagens de aceitabilidade relacionadas aos mingaus de rápido preparo por meio das escalas hedônicas empregadas estão descritas nas Tabelas 67, 68 e 69.

A análise de variância aplicada para os resultados obtidos através da análise sensorial das 3 amostras testadas possibilitou observar que houve variação significativa ( $p < 0,05$ ) dentro de cada grupo avaliado.

**Tabela 66.** Médias\* dos atributos aparência, sabor, consistência e da intenção de compra de mingaus à base de farinha mista extrudada de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino.

Amostras	Aparência**	Sabor**	Consistência**	Intenção de Compra***
5	6,76 <sup>b</sup>	6,60 <sup>c</sup>	7,33 <sup>a</sup>	3,80 <sup>a,b</sup>
10	7,29 <sup>a</sup>	7,93 <sup>a</sup>	6,89 <sup>b</sup>	4,03 <sup>a</sup>
19	6,82 <sup>b</sup>	7,19 <sup>b</sup>	7,18 <sup>a,b</sup>	3,64 <sup>b</sup>
<b>D.M.S.</b>	0,40	0,38	0,35	0,32

D.M.S. = Diferença mínima significativa ao nível de erro de 5 % pelo teste de Tukey.

Amostra 5: 2 % de concentrado proteico de soro de leite bovino - 18 % umidade - 160 °C.

Amostra 10: 7,36 % de concentrado proteico de soro de leite bovino - 20 % umidade - 140 °C.

Amostra 19: 4 % de concentrado proteico de soro de leite bovino - 20% umidade - 140 °C.

\*Médias com letras diferentes na mesma coluna diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

\*\*1 = desgostei extremamente até 9 = gostei extremamente.

\*\*\*1 = certamente não compraria / 3 = talvez comprasse, talvez não comprasse / 5 = certamente compraria.

**Tabela 67.** Índices de aceitabilidade de mingaus à base de farinha mista extrudada de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino para o atributo aparência.

Amostras	% Aceitação (Notas > 5)	% Indiferença (Notas = 5)	% Rejeição (Notas < 5)
5	88,00	10,00	2,00
10	94,00	2,00	4,00
19	81,00	17,00	2,00

Amostra 5: 2 % de concentrado proteico de soro de leite bovino - 18 % umidade - 160 °C.

Amostra 10: 7,36 % de concentrado proteico de soro de leite bovino - 20 % umidade - 140 °C.

Amostra 19: 4 % de concentrado proteico de soro de leite bovino - 20% umidade - 140 °C.



**Tabela 68.** Índices de aceitabilidade de mingaus à base de farinha mista extrudada de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino para o atributo sabor.

Amostras	% Aceitação (Notas > 5)	% Indiferença (Notas = 5)	% Rejeição (Notas < 5)
5	83,00	12,00	5,00
10	100,00	0,00	0,00
19	87,00	12,00	1,00

Amostra 5: 2 % de concentrado proteico de soro de leite bovino - 18 % umidade - 160 °C.

Amostra 10: 7,36 % de concentrado proteico de soro de leite bovino - 20 % umidade - 140 °C.

Amostra 19: 4 % de concentrado proteico de soro de leite bovino - 20% umidade - 140 °C.

**Tabela 69.** Índices de aceitabilidade de mingaus à base de farinha mista extrudada de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino em relação à consistência.

Amostras	% Aceitação	% Indiferença	% Rejeição
	Notas > 5	Nota = 5	Notas < 5
5	95,00	4,00	1,00
10	90,00	9,00	1,00
19	93,00	7,00	0,00

Amostra 5: 2 % de concentrado proteico de soro de leite bovino - 18 % umidade - 160 °C.

Amostra 10: 7,36 % de concentrado proteico de soro de leite bovino - 20 % umidade - 140 °C.

Amostra 19: 4 % de concentrado proteico de soro de leite bovino - 20% umidade - 140 °C.

Para o atributo aparência, observa-se na Tabela 66 que a amostra 10 obteve a maior média, e as amostras 5 e 16 não diferiram estatisticamente entre si ( $p > 0,05$ ). O maior índice de aceitação (94 %) também foi observado para o mingau preparado com a farinha mista extrudada referente à amostra 10, que possui em sua composição 7,36 % de concentrado proteico. O maior índice de indiferença foi observado para a amostra 19 (17 %); a rejeição foi inferior a 5 % para todas as amostras de mingau.

Com relação ao sabor (Tabela 66), verifica-se que houve diferença significativa ao nível de 5 % entre as amostras, sendo a maior média (7,93) obtida pela amostra 10. O menor valor foi apresentado pela amostra com menor percentual de concentrado proteico de soro de leite bovino em sua composição. A amostra 10 não apresentou índice de rejeição e indiferença para o sabor, ou seja, todas as respostas concentraram-se nas notas de 6 (gostei ligeiramente) a 9 (gostei extremamente).

No que se refere à consistência, a amostra 5 apresentou o maior valor médio, entretanto, não houve diferença estatística significativa ( $p > 0,05$ ) com a amostra 19; também não foi verificada diferença estatística ( $p > 0,05$ ) entre as amostras 10 e 19. Cabe ressaltar que para todos os mingaus estudados, os índices de aceitação foram iguais ou superiores a 90 % (Tabela 69).

A intenção de compra também foi avaliada, e os resultados indicaram que as amostras 10 e 5 foram as melhores avaliadas e não apresentaram entre si diferença estatística ao nível de 5 % (Tabela 66). E, analisando a Tabela 70, verifica-se que a amostra 10 obteve 72 % de intenção de compra positiva, sendo assim, a maior parte das avaliações foi de notas 4 e 5 (provavelmente compraria e certamente compraria, respectivamente).

**Tabela 70.** Índices de intenção de compra de mingaus à base de farinha mista extrudada de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino.

Amostras	Intenção de Compra (%)		
	Positiva (Notas > 3)	Indiferente (Notas = 3)	Negativa (Notas < 3)
5	64,00	31,00	5,00
10	72,00	26,00	2,00
19	57,00	32,00	11,00

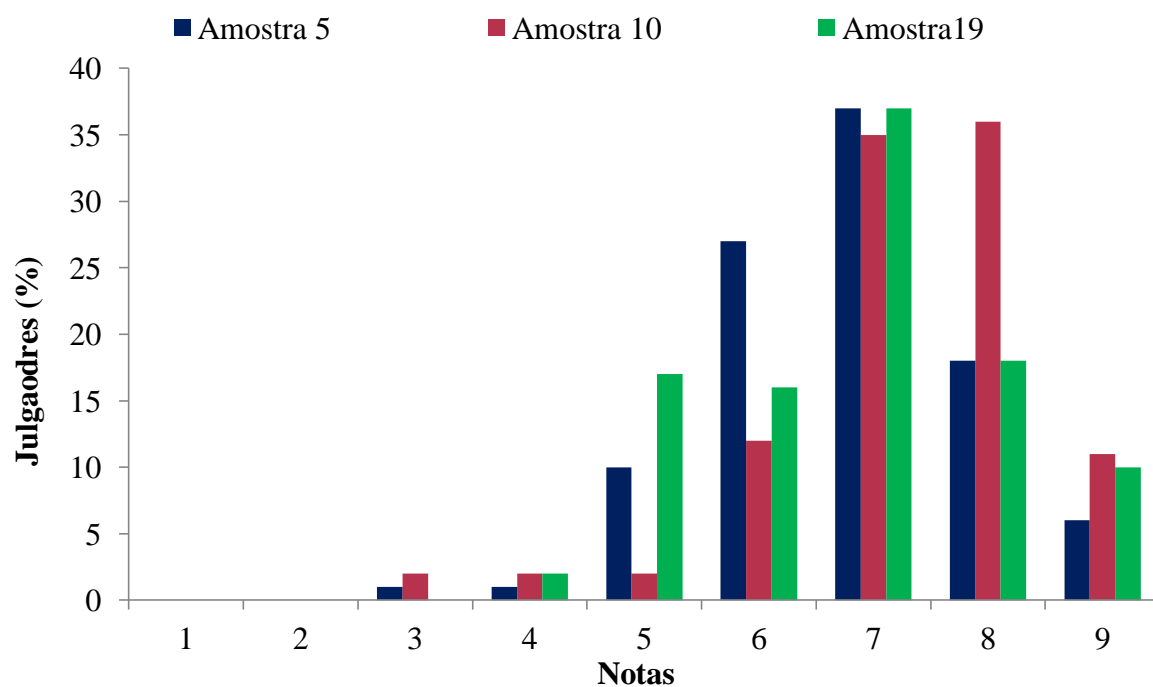
Amostra 5: 2 % de concentrado proteico de soro de leite bovino - 18 % umidade - 160 °C.

Amostra 10: 7,36 % de concentrado proteico de soro de leite bovino - 20 % umidade - 140 °C.

Amostra 19: 4 % de concentrado proteico de soro de leite bovino - 20% umidade - 140 °C.

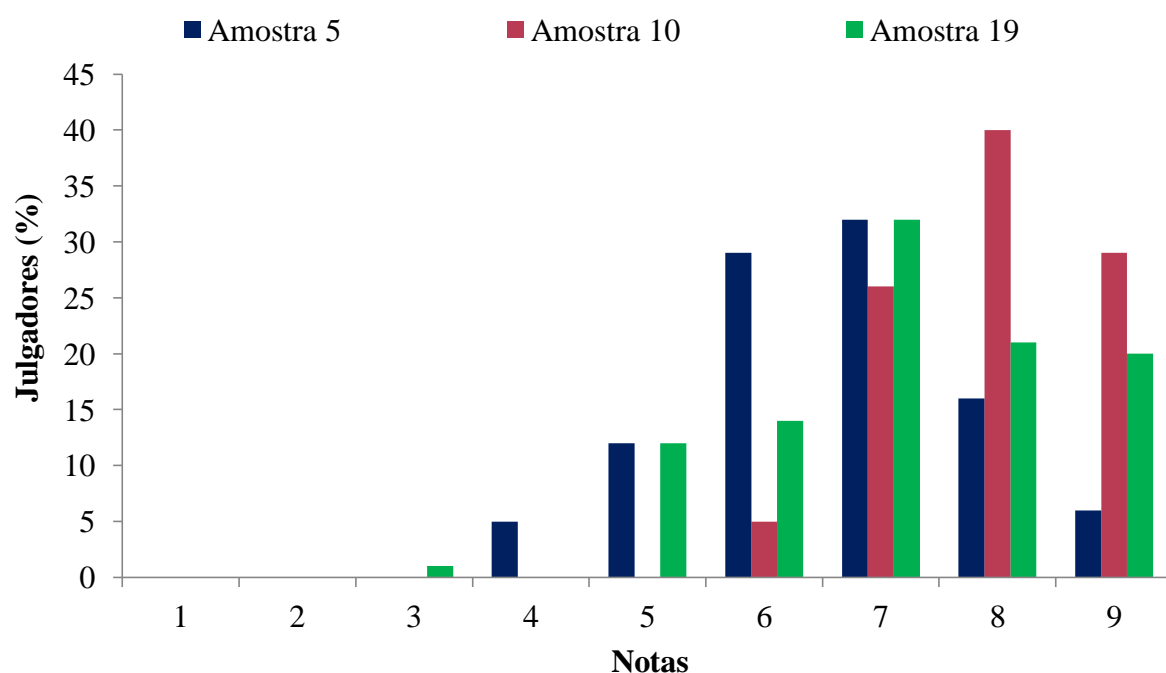
Os histogramas de distribuição de porcentagem de preferência dos participantes (Figuras 67, 68 e 69) para os atributos aparência, sabor e consistência dos mingaus de rápido preparo estão apresentados abaixo.

Analisando os histogramas, que representam a segmentação hedônica, é possível observar que não houve resposta com notas 1 e 2 (desgostei extremamente e desgostei muito, respectivamente) para os atributos estudados. No que se refere à aparência (Figura 67), nota-se que o percentual de notas 7 (gostei moderadamente) foi similar entre as amostras 5 (37 %), 10 (35 %) e 19 (37 %); os maiores índices de notas 8 (gostei muito) e 9 (gostei extremamente) foram alcançados pelo mingau com 7,36 % de concentrado proteico.



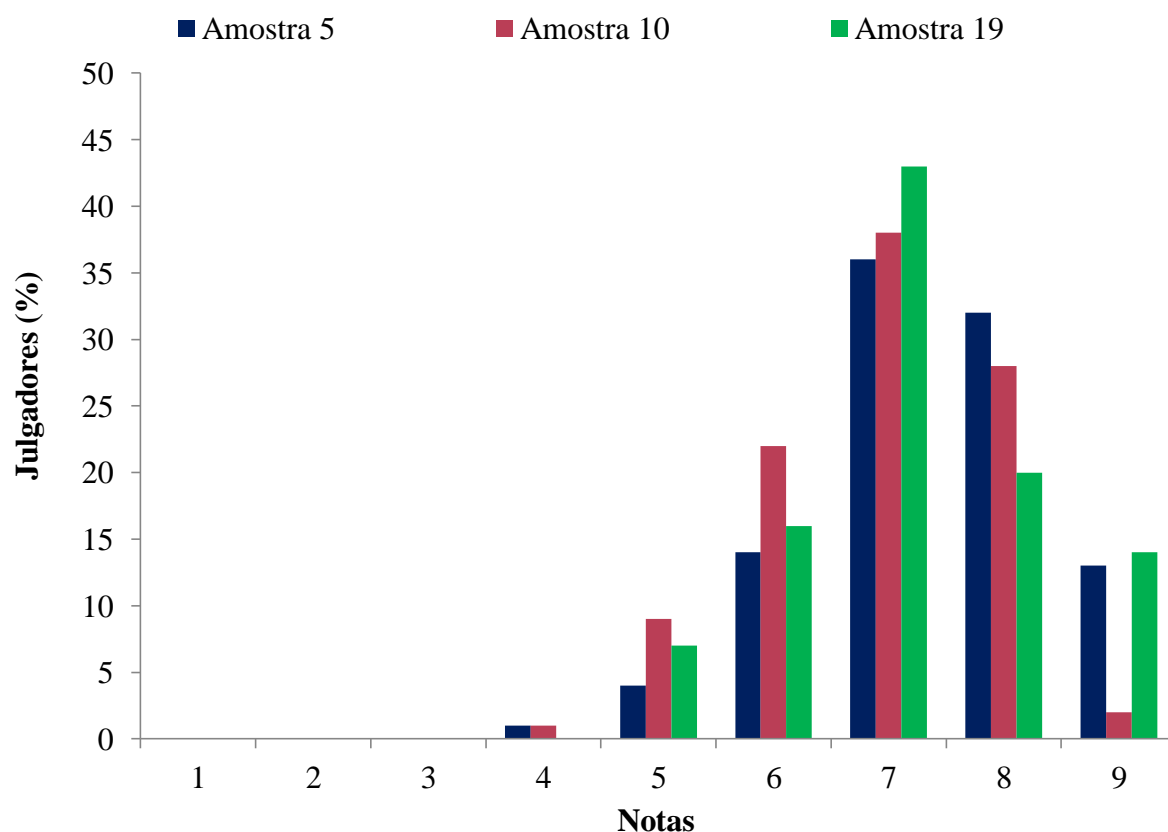
**Figura 67.** Distribuição de notas segundo a preferência dos julgadores para o atributo aparência dos mingaus à base de farinha mista extrudada de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino (1 = desgostei extremamente, 5 = não gostei nem desgostei, 9 = gostei extremamente).

Para o atributo sabor (Figura 68), observa-se que os maiores índices para as notas 8 e 9 foram alcançados pela amostra 10, sendo 40 % e 29 %, respectivamente; a amostra 19 apresentou, aproximadamente, 20 % para cada uma destas notas, e 32 % para a nota 7 (gostei moderadamente).



**Figura 68.** Distribuição de notas segundo a preferência dos julgadores para o atributo sabor dos mingaus à base de farinha mista extrudada de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino (1 = desgostei extremamente, 5 = não gostei nem desgostei, 9 = gostei extremamente).

A análise da Figura 69 permite verificar que a concentração mais elevada de notas para os mingaus produzidos localiza-se nas seguintes escalas: "gostei moderadamente" e "gostei muito", com destaque para o primeiro citado. É válido salientar que, para a nota 7, a amostra 19 (4 % concentrado proteico) apresentou 43 % de resposta, sendo superior as demais. Para a nota 9 (gostei extremamente), as respostas apresentaram similaridade entre os mingaus preparados com as farinhas mistas 5 e 19.



**Figura 69.** Distribuição de notas segundo a preferência dos julgadores para o atributo consistência de mingaus à base de farinha mista extrudada de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino (1 = desgostei extremamente, 5 = não gostei nem desgostei, 9 = gostei extremamente).

De modo geral, a amostra com maior percentual de concentrado proteico na formulação apresentou as maiores médias para os atributos avaliados. Acredita-se que os componentes proteicos combinados com os demais ingredientes completaram o sabor dos mingaus, assim como observado por Wang, Clerici e Sgarbieri (1994) no estudo com mingaus de arroz, soja desengordurada e leite em pó.

As impressões positivas citadas pelos provadores (Tabela 71), em relação ao sabor, mostraram que os mingaus com 4 e 7,36 % de concentrado proteico apresentaram "sabor agradável de leite", e isso pode ter influenciado os resultados obtidos pelas amostras 19 e 10 em relação a este atributo.

Não foram registradas anotações negativas sobre aparência dos mingaus com 2 % e 7,36 % de concentrado proteico; para a amostra 19, alguns provadores relataram a presença de pequenos grumos, provavelmente, devido a homogeneização inadequada.

**Tabela 71.** Frequência de impressões positivas citadas pelos julgadores em relação aos mingaus elaborados com farinha mista extrudada de arroz e concentrado proteico.

Impressões positivas	Amostras		
	5	10	19
Menções sobre aparência*	15	12	10
Menções sobre sabor**	--	38	22
Menções sobre consistência***	28	17	23
Total	43	67	55

Amostra 5: 2 % de concentrado proteico de soro de leite bovino - 18 % umidade - 160 °C.

Amostra 10: 7,36 % de concentrado proteico de soro de leite bovino - 20 % umidade - 140 °C.

Amostra 19: 4 % de concentrado proteico de soro de leite bovino - 20% umidade - 140 °C.

\*Com menções específicas quanto ao brilho e uniformidade.

\*\* Com menções específicas quanto ao sabor "de leite".

\*\*\*Com menções específicas quanto à consistência cremosa ou menos consistente.

**Tabela 72.** Frequência de impressões negativas citadas pelos julgadores em relação aos mingaus elaborados com farinha mista extrudada de arroz e concentrado proteico.

Impressões negativas	Amostras		
	5	10	19
Menções sobre aparência*	--	--	08
Menções sobre sabor**	12	--	02
Menções sobre consistência***	19	11	18
Total	27	11	28

Amostra 5: 2 % de concentrado proteico de soro de leite bovino - 18 % umidade - 160 °C.

Amostra 10: 7,36 % de concentrado proteico de soro de leite bovino - 20 % umidade - 140 °C.

Amostra 19: 4 % de concentrado proteico de soro de leite bovino - 20% umidade - 140 °C.

\*Com menções específicas quanto à presença de pequenos grumos.

\*\* Com menções específicas quanto ao sabor predominante de arroz.

\*\*\*Com menções específicas quanto à consistência cremosa ou menos consistente.

Para o atributo consistência não houve unanimidade, uma vez que parte dos provadores indicou preferir mingaus mais cremosos (amostras 5 e 19) enquanto outros afirmaram ter predileção por mingaus menos espessos (amostra 10), sendo assim, foram registradas impressões positivas e negativas com as mesmas justificativas (Tabelas 71 e 72).

Silva (2010) produziu sopas com consistência similar a uma "sopa-creme" com farinhas mistas extrudadas de milho e feijão carioca biofortificados e relatou que alguns julgadores expressaram suas preferências em relação a concentração e viscosidade das sopas. Alguns sinalizaram predileção por preparações mais líquidas e outros por mais viscosas, corroborando com o resultado encontrado no presente estudo para mingaus de rápido preparo.

## 5 CONCLUSÕES

Considerando os experimentos realizados e os resultados obtidos, pode-se afirmar que é possível produzir farinhas mistas pré-gelatinizadas de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino com boas características tecnológicas, nutricionais e microbiológicas tanto para a elaboração de biscoitos e demais produtos panificáveis quanto para a produção de mingaus ou bebidas de rápida dissolução saudáveis e que atendam a demanda do consumidor dos dias atuais.

Dentre as variáveis independentes avaliadas no presente estudo, a umidade e a formulação (% de concentrado proteico nas misturas) foram as que mais influenciaram e promoveram modificações nas características físicas e tecnológicas das farinhas mistas extrudadas. Cabe ressaltar que as condições de processamento utilizadas não afetaram de forma significativa o valor nutricional da maior parte das farinhas mistas produzidas.

Sob o ponto de vista nutricional, a incorporação de concentrado proteico na farinha de arroz promoveu incremento no teor de minerais e proteínas, indicando que a composição mineral e de aminoácidos das farinhas mistas apresenta melhoria nutricional.

A qualidade tecnológica das farinhas de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino foi avaliada pelas propriedades viscoamilográficas. Houve correlação destas propriedades com as características de fácil reconstituição e boa solubilização em meio aquoso sem a necessidade de cozimento. De modo geral, as farinhas mistas extrudadas se destacaram por possuir uma elevada viscosidade a frio, baixa viscosidade a quente (95°C) e baixo poder de retrogradação.

As amostras referentes aos pontos centrais e aos ensaios 5 e 10 apresentaram os melhores perfis viscoamilográficos, índice de solubilidade e absorção de água e tempo de reconstituição, sendo, portanto, as mais indicadas para utilização na produção de mingaus.

Dentre os parâmetros físicos, a cor foi influenciada pelo processo de extrusão e os extrudados desenvolvidos apresentaram uma coloração voltada para o amarelo mais claro.

Os melhores índices de expansão foram observados para os ensaios com até 4 % de concentrado proteico em suas formulações e que foram processados com baixa umidade, em geral, menor do que 20 %, e temperaturas mais brandas, em geral, igual ou inferior a 140°C. Assim, caso haja interesse na produção de *snacks* de arroz e concentrado proteico, essas são as melhores condições de processamento por extrusão termoplástica.

O teste de aceitação realizado com os biscoitos elaborados com as farinhas mistas referentes às amostras 8 (6 % de concentrado proteico de soro de leite bovino - 22 % umidade - 160 °C), 10 (7,36 % de concentrado proteico de soro de leite bovino - 20 % umidade - 140 °C) e 16 (4 % de concentrado proteico de soro de leite bovino - 20 % umidade - 140 °C) indicaram que não houve diferença estatística significativa para a cor entre as amostras estudadas. O biscoito com 7,36 % de concentrado proteico apresentou melhor avaliação global, sabor e intenção de compra. Na avaliação do atributo aroma os biscoitos com 6 % e 7,36 % foram superiores e não diferiram estatisticamente.

Os mingaus produzidos com farinhas pré-gelatinizadas contendo 2, 4 e 7,36 % de concentrado proteico em sua formulação foram avaliados com relação à aparência, sabor, consistência e intenção de compra, e, para a maior parte dos atributos avaliados e para a intenção de compra, a amostra com maior teor de concentrado proteico foi a preferida pelos julgadores que participaram dos testes.



É viável a utilização de farinhas extrudadas de arroz e concentrado proteico do soro de leite na elaboração de biscoitos tipo *cookie* e mingaus de rápido preparo, ambos isentos de glúten, constituindo, portanto um alternativa diferenciada de consumo para a população em geral, assim como por portadores de doença celíaca.

## 6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Sugere-se para os próximos estudos a realização de avaliações da qualidade proteica de extrudados de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino, tais como a digestibilidade de proteínas e a sua respectiva avaliação biológica.

A determinação da vida útil dos produtos elaborados também deve ser realizada, incluindo análises de atividade de água, transição vítrea e determinação de grupos sulfidrila livres.

A realização de testes sensoriais dos *cookies* e mingaus pode ser interessante comparando com formulações existentes no mercado.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AKESON, W.R.; STAHMANN, M.A.A. A pepsin pancreatin digest index of protein quality evaluation. **Journal of Nutrition**, v. 83, p. 257-261, 1964.

ALI, Y.; HANNA, M.A.; CHINNASWAMY, R. Expansion characteristics of extruded corn grits. **Food Science and Technology Lebensmittel-Wissenschaft and Technology**, v. 29, n. 8, p. 702-707, 1996.

ALVAREZ-MARTINEZ, L.; KOUNDURY, K. P.; HARPER, J. M. A general model for expansion of extruded products. **Journal of Food Science**, v. 53, n. 2, p. 609-615, 1988.

AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS (AACC). **Approved methods of the AACC**. 9ª edição, Saint Paul, 1995. v. 1-2.

ANDERSON, J.J.B. “Minerais”. In: MAHAN, L.K.; ESCOTT-STUMP, S. **Krause: Alimentos, Nutrição & Dietoterapia**. 11ª edição. São Paulo: Roca, 2005. p. 115-155.

ANDERSON, R.A.; CONWAY, H.F.; PFEIFER, V.F.; GRIFFIN JR., L. Gelatinization of Corn Grits by Roll- and Extrusion-Cooking. **Cereal Science Today**, v. 14, n. 1, p. 4-11, 1969.

ANTUNES, A.E.C. **Influência do concentrado proteico do soro de leite e de culturas probióticas nas propriedades de iogurtes naturais desnatados**. 2004. 240f. Tese (Doutorado em Alimentos e Nutrição), Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, São Paulo. 2004.

ANTUNES, A.E.C.; MOTTA, E.M.P.; ANTUNES, A.J. Perfil de textura e capacidade de retenção de água de géis ácidos de concentrado proteico de soro de leite. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 23, p. 183-189 (Suppl.), 2003.

AOCS. American Oil Chemists' Society. **Official Method Am 5-04, Rapid determination of oil/fat utilizing high temperature solvent extraction**. Urbana: Official Methods and Recommended Practices of the American Oil Chemists' Society, 2005.

ARRAGE, J.M.; BARBEAU, W.E.; JOHNSON, J.M. Protein quality of whole wheat as affected by drum-drying and single-screw extrusion. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 40, n. 10, p. 1943-1947, 1992.

ASCHERI, J. L. R. **Efeito das variáveis de extrusão nas características físicas e químicas de produtos intermediários (half-products)**. 1994. 128f. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos), Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, São Paulo. 1994.

ASCHERI, J.L.R. **Extrusão termoplástica de amidos e produtos amiláceos**. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CTAA, 1997. 43p. (EMBRAPA-CTAA, Documentos, n. 19).

ASCHERI, J.L.R. **Processo de extrusão de alimentos: aspectos tecnológicos para o desenvolvimento e produção de alimentos para consumo humano e animal**. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CTAA, 2011. 107p. (EMBRAPA-CTAA, Documentos).

ASCHERI, J.L.R. Elaboración de *snacks*, farinha pré-gelatinizada e instantânea de subprodutos de engenhos de arroz por extrusão termoplástica. **Relatório de Projeto**. 2000. 19p.

ASCHERI, D.P.R.; ANDRADE, C.T.; CARVALHO, C.W.P.; ASCHERI, J.L.R. Obtenção de farinhas mistas pré-gelatinizadas a partir de arroz e bagaço de jabuticaba: efeito das variáveis de extrusão nas propriedades de pasta. **Boletim do CEPPA**, v. 24, n. 1, p. 115-144, 2006.

ASCHERI, D.P.R.; ASCHERI, J.L.R.; CARVALHO, C.W.P. Caracterização da farinha de bagaço de jabuticaba e propriedades funcionais dos extrusados. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 26, n. 4, p. 897-905, 2006.

ASP, N.G.; BJORCK, I. Nutritional properties of extruded. In: MERCIER, C.; LINKO, P.; HARPER, J.M. (Eds). **Extrusion Cooking**. Saint Paul: AACC, 1989. p. 399-434.

ASSIS, L.M.; ZAVAREZE, E.R.; RADÜNZ, A.L.; DIAS, A.R.G.; GUTKOSKI, L.C.; ELIAS, M.C. Propriedades nutricionais, tecnológicas e sensoriais de biscoitos com substituição de farinha de trigo por farinha de aveia ou farinha de arroz parboilizado. **Revista Alimentos e Nutrição**, v. 20, n. 1, p.15-24, 2009.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTRY (AOAC). **Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemistry**. 16ª edição. Arlington: Washington, 2005.

AZEVEDO, F.L.A.A. **Elaboração de pão de forma com adição de soro de leite em pó**. 2007. 71f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos), Centro de Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, Paraíba. 2007.

BADRIE, N.; MELLOWES, W.A. Effect of extrusion variables on cassava extrudates. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 56, n. 5, p. 1334-1337, 1991.

BARBOSA, L.N.; GARCIA, L.V.; TOLOTTI, K.D.; GOELLNER, T.; AUGUSTO-RUIZ, W.; SANTO, M.E. Elaboração de embutido tipo mortadela com farinha de arroz. **Vetor**, v. 16, n. 1-2, p. 11-20, 2006.

BECKER, A.; HILL, S.E.; MITCHELL, J.R. Milling – a further parameter affecting the rapid visco analyzer (rva) profile. **Cereal Chemistry**, n. 78, p. 199-172, 2001.

BEHRENS, J.H.; DA SILVA, M.A.A.P. Atitude do consumidor em relação à soja e produtos derivados. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 24, n. 3, p. 431-39, 2004.

BLANCO, A.; BRESSANI, R. Biodisponibilidad de aminoácidos in el frijol (*Phaseolus vulgaris*). **Archivos Latinoamericano de Nutrición**, v. 41, n. 1, p. 38-51, 1991.

BOBBIO, F.O.; BOBBIO, P. **Introdução à química de alimentos**. 3ª edição. São Paulo: Varela, 2003. 238p.

BORGES, J.T.S. **Elaboração de macarrão pré-cozido à base de farinha integral de quinoa (*Chenopodium quinoa*, Willd) e farinha de arroz (*Oryza sativa*, L) utilizando o processo de extrusão termoplástica**. 2002. 115f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos), Instituto de Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, Rio de Janeiro. 2002.

BORGES, M.A. **Extrudados não expandidos diretos de arroz e de milho adicionados de gergelim**. 2012. 258f. Tese (Doutorado em Ciência dos Alimentos), Universidade Federal de Lavras, Lavras, Minas Gerais. 2012.

BOUNOUS, G. The fascinating story behind a health-promoting product-patented milk serum (whey) protein concentrate. **Immunotec Clinical Foundations**, Canadá, 1997. 16p.

BOUNOUS, G.; GOLD, P. The biological activity of undenatured dietary whey proteins: role of glutathione. **Clinical and Investigative Medicine**, v. 14, n.4, p. 296-309, 1991.

BOUNOUS, G.; BARUCHEL, S.; FALUTZ, J.; GOLD, P. Whey proteins as a food supplement in HIV-seropositive individuals. **Clinical and Investigative Medicine**, v. 3, p. 204-209, 1993.

BOX, G.E.P.; DRAPER, N.R. **Empirical model-building with response surface**. A book published, 1967.

BOX, G.E.P.; HUNTER, W.G.; HUNTER, J.S. **Statistics for experimenters: an introduction to design, data analysis and model building**. New York: John Wiley & Sons, 1978.

BOX, G.E.P.; WETZ, J. Criteria for judging adequacy of estimation by approximate response function. University of Wisconsin. **Technical Report**, n. 9, 1973.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa 62, de 26 de agosto de 2003 - Métodos de Analíticos Oficiais para Análises Microbiológicas para o Controle de Produtos de Origem Animal e Água, **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 2003.

BRASIL. Comissão Nacional de Normas e Padrões para Alimentos – CNNPA. Resolução - CNNPA nº 12, de 1978 de 24 de julho de 1978. Aprova as normas técnicas especiais. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 1978. Disponível em: <[http://www.anvisa.gov.br/legis/resol/12\\_78.pdf](http://www.anvisa.gov.br/legis/resol/12_78.pdf)>. Acesso em: 15 de julho de 2014.

BRNČIĆ, M.; BOSILJKOV, T.; UKRAINCZYK, M.; TRIPALO, B.; BRNČIĆ, S.R.; KARLOVIĆ, S.; KARLOVIĆ, D.; JEŽEK, D.; TOPIĆ, D.V. Influence of Whey Protein Addition and Feed Moisture Content on Chosen Physicochemical Properties of Directly Expanded Corn Extrudates. **Food and Bioprocess Technology**, v. 4, n. 7, p. 1296-1306, 2011.

BRYANT, R.J.; KADAN, R.S.; CHAMPAGNE, E.T.; VINYARD, B.T.; BOYKIN, D. Functional and digestive characteristics of extruded rice flour. **Cereal Chemistry**, v. 78, n. 2, p. 131-137, 2001.

CAI, L.; SHI, Y-G.; RONG, L.; HSIAO, B.S. Debranching and crystallization of waxy maize starch in relation to enzyme digestibility. **Carbohydrate Polymers**, v. 81, n. 2, p. 385-393, 2010.

CALDAS, M.C.S. **Aproveitamento de soro de leite na elaboração de pão de forma**. 2007. 67f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, Paraíba. 2007.

CAMIRE, M.E.; CAMIRE, A.; KHRUMAR, K. Chemical and nutritional changes in foods during extrusion. **Critical Reviews Food Science Nutrition**, v. 19, n. 1, p. 35-57, 1990.

CAMPOS, H. Estatística experimental não-paramétrica. 2ª edição. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 1976, 332 p. apud SHIROSI, I.; MORI, E.E.M. **Estatística aplicada à análise sensorial**. Campinas: Núcleo Especializado de Informação Tecnológica em Alimentos, 1994. mód. 1, 73 p. (Manual técnico, 13).

CAPRILES, V.D.; ARÊAS, J.A.G. Avaliação da Qualidade Tecnológica de *snacks* obtidos por extrusão de grão integral de amaranto ou de farinha de amaranto desengordurada e suas misturas com fubá de milho. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 15, n. 1, p. 21-29, 2012.

CARVALHO, A.V.; BASSINELLO, P.Z.; MATTIETTO, R.A.; CARVALHO, R.N.; RIOS, A.O.; SECCADIO, L.L. Processamento e caracterização de *snack* extrudado a partir de farinhas de quirera de arroz e de bandinha de feijão. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 15, n. 1, p. 72-83, 2012a.

CARVALHO, A.V.; RIOS, A. O.; BASSINELLO, P. Z.; SECCADIO, L. L. Otimização de *snack* extrudado de arroz e feijão. **Alimentos e Nutrição**, v. 23, n. 3, p. 443-452, 2012b.

CARVALHO, R.V.; ASCHERI, J.L.R.; CAL-VIDAL, J. Efeito dos parâmetros de extrusão nas propriedades físicas de extrusados (3G) de misturas de farinhas de trigo, arroz e banana. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 26, n. 5, p. 1006-1018, 2002.

CARVALHO, C.W.P.; TAKEITI, C.Y.; ONWULATA, C.I.; PORDESIMO, L. O. Relative effect of particle size on the physical properties of corn meal extrudates: Effect of particle size on the extrusion of corn meal. **Journal of Food Engineering**, v. 98, n. 1, p.103-109, 2010.

CASTRO, L.P.; PINHEIRO, M.V.S.; HOFFMANN, F.L.; PENNA, A.L.B. Influência de substitutos de gordura nas características do iogurte probiótico. **Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes**, v. 57, n. 327, p. 133-136, 2002.

CHAN, E.C.S.; KRIEG, N.R.; PELCZAR JR. M.J. **Microbiologia: Conceitos e Aplicações**. 2ª edição - São Paulo: Makron books, 1996.

CHANG, Y.K.; HASHIMOTO, J.M.; ACIOLI-MOURA, R.; MARTÍNÉZ-FLORES, H.E.; MARTÍNÉZ-BUSTOS, F. Influence of extrusion condition on cassava starch and soybean protein concentrate blends. **Acta Alimentaria**, v. 30, n. 2, p. 189-203, 2001.

CHANG, Y.K.; EL-DASH, A.A. Effects of acid concentration and extrusion variables on some physical characteristics and energy requirements of cassava starch. **Brazilian Journal of Chemical Engineering**, v. 20, n. 2, p. 129-137, 2003.

CHEANG, B.; ZYDNEY, A. L. Separation of alpha-lactalbumin and beta-lactoglobulin using membrane ultrafiltration. **Biotechnology and Bioengineering**, v. 83, n. 2, p. 201-209, 2003.

CHEFTEL, J.C.; CUQ, J.L.; LORIENT, D. **Proteínas Alimentarias: Bioquímica. Propriedades funcionales. Valor nutritivo. Modificaciones químicas**. Editorial Acribia. Zaragoza, Espanha, p. 179-220, 1989.

CHEN, H. Functional properties and applications of edible films made of milk proteins. **Journal of Dairy Science**, v. 78, n. 11, p. 2563-2583, 1995.

CHIRIFE, J.; BUERA, M.P. A critical review of some non-equilibrium situations and glass transitions on water activity values of foods in the microbiological growth range. **Journal of Food Engineering**, v. 25, p. 531-552, 1995.

CHISTÉ, R.C.; COHEN, K.O.; MATHIAS, E.A.; RAMOS JÚNIOR, A.G.A. Qualidade da farinha de mandioca do grupo seca. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 26, n. 4, p. 861-864, 2006.

COLONNA, P.; GARCIA, V.; BOUCHET, B.; GALLANT, D.J. Structural changes of cassava starch granules after heating at intermediate water contents. **Starch/Stärke**, v. 49, n. 5, p. 171-179, 1987.

CONFORTI, P.A.; LUPANO, C.E. Functional properties of biscuits with whey protein concentrate and honey international. **Journal of Food Science & Technology**, v. 39, p. 745-753, 2004.

COSTA, D.L.M.G. **Produção por extrusão de filmes de alto teor de amido termoplástico de mandioca com poli(butileno adipato co-tereftalato) (PBAT)**. 2008. 355f. Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos), Centro de Ciências Agrárias, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, Paraná. 2008.

DAVIS, L. Fortifying grain-based products with whey protein. **Cereal Foods World**, v. 49, n. 1. 2004.

DENARDIN, C.C.; SILVA, L.P.; STORCK, C.R.; NÖRNBERG, J.L. Composição mineral de cultivares de arroz integral, parboilizado e branco. **Alimentos e Nutrição**, v. 15, n. 2, p. 125-130, 2004.

DING, Q.; AINSWORTH, P.; PLUNKETT, A.; TUCKER, G.; MARSON, H. The effect of extrusion conditions on the physicochemical properties and sensory characteristics of rice-base expanded snacks. **Journal of Food Engineering**, v. 66, n. 3, p. 283-289, 2005.

DOYLE, M.P.; BEUCHAT, L.R.; MONTVILLE, T.J. **Food Microbiology: Fundamentals and Frontiers**. 2ª edição. Washington: Editora, 1997.

DORS, G.C.; CASTIGLIONI, G.L.; AUGUSTO-RUIZ, W. Utilização da farinha de arroz na elaboração de sobremesa. **Vetor**, Rio Grande, v. 16, n. 1-2, p. 63-67, 2006.

DOWNES, F.P.; ITO, K. **Compendium of Methods for the Microbiological Examination of Foods**. 4ª edição. Washington, D.C.: American Public Health Association (APHA), 2001.



DZIEZAK, J.D. Romancing the kernel: a salute to rice varieties. **Food Technology**, Chicago, v. 45, n. 6, p. 74-60, 1991.

EL-DASH, A.A. Application and control of thermoplastic extrusion of cereals for food and industrial uses. In: POMERANZ, Y.; MUNICH, L. **Cereals: a renewable resource, theory and practice**. American Association of Cereal Chemists. Saint Paul: 1981, cap. 10, p.165-216.

EL-DASH, A. A. Application and control of thermoplastic extrusion of cereals for food and industrial uses. In: POMERANZ, Y.; MUNCH, L. **Cereal a renewable resource: theory and practice**. Wageningen: American Association of Cereal Chemists, 1982. p. 165-216.

EL-DASH, A.A; CAMARGO, C.O.; DIAZ, N.M. **Fundamentos da tecnologia de panificação**. Série Tecnologia Agroindustrial. São Paulo: Fundação Tropical de Pesquisas e Tecnologia Agroindustrial, 1982. 349p.

EL-DASH, A.A.; GONZALES, R; CIOL, M. Response surface methodology in the control of thermoplastic extrusion of starch. In: JOWITT, R. ed. **Extrusion cooking technology**. London: Elsevier Applied Science, 1984. p. 51-74.

EL-GAZAR, F.E.; MARTH, E.H. Ultrafiltration and reverse osmosis in dairy technology: a review. **Food Protection**, Cacak, v. 54, n. 10, p. 801-809, 1991.

EL-SAIED, H.M.; AHMED, E.A.; ROUSHDI, M.; EL-ATTAR, W. Gelatinization, pasting characteristics and cooking behaviour of Egyptian rice varieties in relation to amylose and protein contents. **Starch/Stärke**, New York, v. 31, n. 8, p. 270-274, 1979.

ENSMINGER, AH.; ENSMINGER, M.E.; KONLANDE, J.E.; ROBSON, J.R.K. **Foods & Nutrition Encyclopedia**. 2ª edição. Boca Raton: CRC Press, v. 1. 2090p. 1994.

FAO/WHO. Food Agriculture Organization of the United Nation/ World Health Organization. **Report on a joint FAO/WHO Expert Consultation on Protein Quality Evaluation**, Bethesda, 1990.

FAUBION, J.M.; HOSENEY, R.C; E SEIB, P.A. Functionability of graincomponents in extrusion. **Cereal Foods World**, v. 27, n. 5, p. 212-216, 1982.

FELLOWS, P.J. **Food processing technology: principles and practice**. 2ª edição. Cambridge: Midway Technology Limited, 2000. 608p.

FELLOWS, P. Extrusão. In: FELLOWS, P. **Tecnologia do Processamento de Alimentos: princípios e prática**. Porto Alegre: [s.n.], 2006. cap. 14, p. 305-319.

FERNANDES, M.S.; WANG, S.H.; ASCHERI, J.L.R.; OLIVEIRA, M.F.; COSTA, S.A.J. Efeito da temperatura de extrusão na absorção de água, solubilidade e dispersibilidade da farinha pré-cozida de milho-soja (70:30). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 23, n. 2, p. 234-239, 2003.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). **Statistical Databases**. Disponível em: <<http://www.fao.org.br>>. Acesso em: 3 mai. 2007.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION/WORLD HEALTH ORGANIZATION (FAO). INFORME DE UNA REUNIÓN CONSULTIVA CONJUNTA FAO/WHO/UNU DE EXPERTOS. **Necessidades de energia y de proteínas**. Ginebra, 220 p. 1985.

FOX, P.F. Milk protein as food ingredients. **International Journal of Dairy Technology**, n. 54, p. 41-55, 2001.

FRANCO, G. **Tabela de composição química dos alimentos**. 9.ed. Rio de Janeiro: Atheneu, 2005. 307p.

FRANCO, B. D. G. M.; LANDGRAF, M. **Microbiologia dos Alimentos**. Atheneu, São Paulo, 1996, 182p.

FRANCESCHINI, S.C.C.; PRIORE, S.E.; EUCLYDES, M.P. “Necessidades e recomendações de nutrientes”. In: CUPPARI, L. **Nutrição Clínica no Adulto**. 2ª edição. Barueri, São Paulo: Manole, 2005. (Guias de Medicina Ambulatorial e Hospitalar). p. 3-32.

FRANCO, C.M.L.; DAIUTO, E.R.; DEMIATE, I.M.; CARVALHO, L.J.C.; LEONEL, M.; CEREDA, M.P.; VILPOUX, O.F.; SARMENTO, S.B.S. **Série Culturas De Tuberosas Amiláceas Latino Americanas**. São Paulo: Fundação Cargill, 2002.

FREI, M.; SIDDHURAJU, P.; BECKER, K. Studies on in vitro starch digestibility and the glycemic index of six different indigenous rice cultivars from the Philippines. **Food Chemistry**, v. 83, p. 395-402, 2003.

GERMANI, R.; BENASSI, V.T.; CARVALHO, J.L.V. **Métodos de avaliação de grão e farinha de trigo**. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CTAA, 1997. 84p. (EMBRAPA-CTAA, Documentos, n. 28).

GIRALDO-ZUÑICA, A.D.; COIMBRA, J.S.R.; GOMES, J.C.; MINIM, L.A.; ROJAS, E.E.G. Propriedades funcionais e nutricionais das proteínas do soro de leite. **Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes**, v. 325, n. 57, p. 35-46, 2002.

GOMES, F.P. **Curso de Estatística Experimental**. 2ª edição, São Paulo: ESALQ/USP, 2000.

GÓMEZ, M. E. B. **Produção de Snacks de segunda geração, a partir de misturas de farinhas de arroz e batata doce, por extrusão termoplástica**. 1997. 125f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos), Instituto de Tecnologia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, Rio de Janeiro. 1997.

GONZÁLES, J. R.; TORRES, R. L.; DE GREEF, D. M. Extrusión-cocción de cereales. **Boletim do SBCTA**, Campinas, v. 36, n. 2, p. 104-115, 2002.

GUERREIRO, L. **Dossiê Técnico: Boas Práticas de Fabricação em Serviços de Alimentação**. Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas, REDETEC - Rede de Tecnologia do Rio de Janeiro. Dossiê técnico. 2006. Disponível em: <<http://sbrtv1.ibict.br/upload/dossies/sbrt-dossie22.pdf>>. Acesso em: 05 mai 2014.

GUY, R. **Extrusion cooking: technologies and applications**. Cambridge: Woodhead, 2001. 288p.

GUY, R.C.E. **Extrusión de los alimentos Tecnología y aplicaciones**. Zaragoza: Acribia, 2002, 218p.

GUTKOSKI, L.C. Extrusão de produtos de aveia. In: GUTKOSKI, L. C.; PEDÓ, I. **Aveia: composição química, valor nutricional e processamento**. São Paulo: Varela, 2000. p. 103-169.

HAYAKAWA, K.; TANAKA, K.; NAKAMURA, T.; ENDO, S.; HOSHINO, T. Quality characteristics of hexaploid wheat (*Triticum aestivum* L.): properties of starch gelatinization and retrogradation. **Cereal Chemistry**, v. 74, n. 5, p. 576-580, 1997.

HARPER, J.M. **Extrusion of Food**. Boca Raton: CRC Press, 1981. v. 2, 174p.

HOOVER, R. Composition, molecular structure, and physicochemical properties of tuber and root starches: a review. **Carbohydrate Polymers**, v. 45, n. 3, p. 253-267, 2001.

HONG, Y.; CREAMER, L.K. Changed protein structures of bovine  $\beta$ -lactoglobulin B and  $\alpha$ -lactoalbumin as a consequence of heat treatment. **International Dairy Journal**, n. 12, p. 345-359, 2002.

HUFFMAN, L.M. Processing whey protein for use as a food ingredient. **Food Technology**, Chicago, v. 50, n. 2, p. 49-52, 1996.

ILO, S.; LIU, Y.; BERGHOFER, E. Extrusion cooking of rice flour and amaranth blends. **Lebensmittel Wissenschaft und Technologie**, London, v. 32, n. 2, p. 79-88, 1999.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz**. 3ª edição. São Paulo, 1985, v. 1, 533p.

JULIANO, B.O.; HICKS, P.A. Rice functional properties and rice food products. **Food Review International**, New York, v. 12, n. 1, p. 71-103, 1996.

KENNEDY, G.; BURLINGAME, B.; NGUYEN, V.N. **Nutritional contribution of rice: impact of biotechnology and biodiversity in rice-consuming countries**. Bangkok: The International Rice Commission – Twentieth Session, 2002. v. 51.

KRÜGER, C.C.H.; COMASSETTO, M.C.G.; CÂNDIDO, L.M.B.; BALDINI, V.L.S.; SANTTUCCI, M.C.; SGARBIERI, V.C. Biscoitos tipo “cookie” e “snack” enriquecidos, respectivamente com caseína obtida por coagulação enzimática e caseinato de sódio. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 23, n. 1, p. 81-86, 2003.

KUAKPETOON, D.; WANG, Y-J. Structural characteristics and physicochemical properties of oxidized corn starches varying in amylose content. **Carbohydrate Research**, n. 34, p. 1896-1915, 2006.

LACERDA, L.G. **Uso de técnicas termoplásticas na caracterização da hidrólise enzimática parcial de amidos de matérias-primas tropicais**. 2006. 79f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos), Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, Paraná. 2006.

LANCETTE, G.A.; TANINI, S.R. *Staphylococcus aureus*. In: VANDERZANT, C.; SPLITTSTOESSER, D.F. (Ed.) **Compendium of methods for the microbiological examination of foods**. 3 ed. Washington D.C.: AMERICAN PUBLIC HEALTH PRESS. 1992. p.533-550.

LANDGRAF, M. Microrganismos indicadores. In: FRANCO, B.D.G.M; LADGRAF, M. **Microbiologia dos alimentos**. São Paulo: Atheneu, 1996. cap. 3, p. 27-31.

LAZOU, A.; KROKIDA, M. Functional properties of corn and corn-lentil extrudates. **Food Research International**, n.43, p. 609-616, 2010.

LIMA, G.J.M.M.; MARTINS, R.R.; ZENOTTO, D.L.; DE BRUM, P.A.R. Composição química e valores de energia de subprodutos do beneficiamento de arroz. **Comunicado Técnico**, Embrapa Suínos e Aves, n. 244, p. 1-2, 2000.

LINKO, P.; COLONNA, P.; MERCIER, C. HTST extrusion of cereal based materials. In: POMERANZ, Y. **Advances in cereal sciences and technology**. American Association of Cereal Chemists. Saint Paul, v. 4, p. 145-235, 1981.

LINKO, Y.Y.; VUORIEEN, H.; OLKKU, J.; LINKO, P. The effect of HTST on retention of cereal alfa-amylase activity and enzymatic hydrolysis of barley starch. In: LINKO, P.; LARINKARI, J. (Ed.). **Food processing engineering**. London: Elsevier Applied Science Publishers, 1980. v. 2, p. 210-223.

LOBO, A.R.; SILVA, G.M.L. Amido resistente e suas propriedades físico-químicas. **Revista de Nutrição**, v. 16, n. 2, p. 219-226, 2003.

LÜBECK, G.M. **Estudo da fabricação de requeijão cremoso com diferentes concentrações de gordura no extrato seco, sal emulsificante e concentrado proteico de soro obtido por ultrafiltração**. 2005. 325f. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos), Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, São Paulo. 2005.

LUH, B.S. **Rice: Production and Utilization**. Westport, Conn: AVI, 1980. 925p.

LUNDUBWONG, N.; SEIB, P.A. Rice isolation by alkaline protease digestion of wet-millet rice flour. **Journal of Cereal Science**, v. 31, p. 63-74, 2000.

LUSTOSA, B.H.B.; LEONEL, M. Desenvolvimento de misturas instantâneas de mandioca e caseína: efeito do teor de proteína e parâmetros de extrusão sobre a viscosidade. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 30, n. 3, p. 693-699, 2010.

MACCRAE, C.H.; LAW, A.J.R.; LEAVER, J. Emulsification properties of whey proteins in their natural environment: effect of whey protein concentration at 4 % and 18 % milk fat. **Food Hydrocolloids**, n. 13, p. 389-399, 1999.

MADUREIRA, A.R.; PERIERA, C.I.; TRUSZKOWAKA, K.; GOMES, A.M.; PINTADO, M.E.; MALCATA, A.M. Survival of probiotic bacteria in a whey cheese vector submitted to environmental conditions prevailing in the gastrointestinal tract. **International Dairy Journal**, v. 15, p. 921-927, 2005.

MAIA, L.H.; WANG, S.H.; ASCHERI, J.L.R.; CABRAL, L.C.; FERNANDES, M.S. Viscosidade de pasta, absorção de água e índice de solubilidade em água dos mingaus desidratados de arroz e soja. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 19, n.3, p. 391-396, 1999.

MATA, M.E.R.M.C.; DUARTE, M.E.M. Porosidade intergranular de produtos agrícolas. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 4, p. 79-93, 2002.

McELROY, D.M.; JAYKUS, L.A.; FOEGEDING, P.M. Validation and Analysis of Modeled Predictions of Growth of *Bacillus cereus* Spores in Boiled Rice. **Journal of Food Protection**, v. 63, n. 2, p. 268-272, 2000.

McINTOSH, G.H.; ROYLE, P.J.; LEU, R.K.; REGESTER, G.O.; JONSON, M.A.; GRINSTED, R.L.; KENWARD, R.S.; SMITHERS, G.W. Whey proteins as functional food ingredients? **International Dairy Journal**, v. 8, p. 425-434, 1998.

MENDONÇA, X.M.F.D. **A extrusão termoplástica no desenvolvimento de produtos derivados de amaranto e arroz**. 2005. 182f. Tese (Doutorado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos) – Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2005.

MERCIER, C.; FEILLET, P. Modification of carbohydrate components by extrusion-cooking of cereal products. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 52, n. 3, p. 283-297, 1975.

MERCIER, C.; LINKO, P.; HARPER, J. M. **Extrusion Cooking**. 2ª edição. St. Paul: American Association of Cereal Chemists, 1998. 471 p.

MORENO, Y.M.F. **Influência das proteínas de soro de leite bovino no estado nutricional, composição corporal e sistema imune em coorte de crianças com Síndrome da Imunodeficiência Adquirida (AIDS)**. 2002. 105f. Dissertação (Mestrado em Ciências da Nutrição), Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, São Paulo. 2002.

MORENO-INDIAS, I.; CASTRO, N.; MORALES-DELANUEZ, A.; SÁNCHEZ-MACÍAS, D.; ASSUNÇÃO, P.; CAPOTE, J.; ARGÜELLO, A. Farm and factory production of goat cheese whey results in distinct chemical composition. **Journal of Dairy Science**, v. 92, n. 10, p. 4792-4796, 2009.

MORITA, A.S.; GOIS, V.A.; PRAÇA, E.F.; TAVARES, J.C.; ANDRADE, J.C.; COSTA, F.B.; BARROS JÚNIOR, A.P.; SOUSA, A.H. Cristalização de melão pelo processo lento de açucaramento. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 3, p. 705-708, 2005.

MORR, C.V.; FOEGEDING, E.A. Composition and functionality of commercial whey and milk protein concentrates and isolates: a status report. **Food Technology**, v. 44, n. 4, p. 100-112, 1990.

MORR, C.; HÁ, E.W. Whey protein concentrates and isolates processing and functional properties critical reviews. **Food Science and Nutrition**, v. 33, n. 6, 431-746, 1993.

MOURA, L.S.M. **Caracterização físico-química e reológica de farinhas mistas pré-gelatinizadas de arroz, milho e feijão por extrusão termoplástica**. 2012. 123f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos), Instituto de Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, Rio de Janeiro. 2012.

MOURA, M.J.; FIGUEIREDO, M.M. Aplicação das Técnicas de Picnometria de Gás e de Porosimetria de Mercúrio à Caracterização da Madeira de *E. globulus*. **Silva Lusitana**, v. 10, n. 2, p. 207-216, 2002.

MULVIHILL, D.M.; DONOVAN, M. Whey proteins and their thermal denaturation - a review. **Journal of Food Science and Technology**, v. 11, p. 43-75, 1987.

MURTHY, K.V.R.; REY, L.; BELON, P. Photoluminescence and thermally stimulated luminescence characteristics of rice flour. **Journal of Luminescence**, v. 122-123, n. 1, p. 279-283, 2007.

NABESHIMA, E.H.; EL-DASH, A.A. Modificação química da farinha de arroz como alternativa para o aproveitamento dos subprodutos do beneficiamento do arroz. **Boletim do CEPPA**, v. 22, n. 1, p. 107-120, 2004.

NABESHIMA, E.H.; HASHIMOTO, J.M.; EL-DASH, A.A. Efeito da adição de emulsificantes em massa alimentícia sem glúten produzidas com extrusora termoplástica. **Boletim do CEPPA**, v. 21, n. 2, p. 223-238, 2003.

NASCIMENTO, E.M.G.C. **Elaboração de produtos de milho enriquecidos com grãos e torta semi-desengordurada de gergelim por extrusão termoplástica**. 2010. 125f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos), Instituto de Tecnologia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, Rio de Janeiro. 2010.

NIKAEDO, P.H.L.; AMARAL, F.F.; PENNA, A.L.B. Caracterização tecnológica de sobremesas lácteas achocolatadas cremosas elaboradas com concentrado protéico de soro e misturas de gomas carragena e guar. **Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences**, v. 40, n. 3, p. 397-404, 2004.

OMOBUWAJO, T.O.; BUSARI, O.T.; OSEMWEGIE, A.A. Thermal agglomeration of chocolate drink powder. **Journal of Food Engineering**, n. 46, p. 73-81, 2000.

ONWULATA, C.I.; SMITH, P.W.; KONSTANCE, R.P.; HOLSINGER, V.H. Incorporation of whey products in extruded corn, potato or rice snacks. **Food Research International**, v. 34, n. 8, p. 679-687, 2001.

ORTIZ, J.A.R. **Desenvolvimento e caracterização de bioplásticos de amidos por extrusão termoplástica e termoprensagem**. 2013. 198f. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos), Instituto de Tecnologia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, Rio de Janeiro. 2013.

PACHECO, M.T.B.; DIAS, N.F.G.; BALDINI, V.L.S.; TANIKAWA, C.; SGARBIERI, V.C. Propriedades funcionais de hidrolisados obtidos a partir de concentrado proteico de soro de leite. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 25, n. 2, p. 333-338, 2005.

PARDI, M.C.; SANTOS, I.F.; SOUZA, E.R.; PARDI, H.S. **Ciência, higiene e tecnologia da carne: Riscos microbiológicos da carne**. Goiânia: UFG, 1995. v. 1, p. 294-308.

PATEL, D. **Gel electrophoresis: essential data**. New York: John Wiley, 1994.

PEREA, A.; UGALDE, U. Continuous hydrolysis of whey proteins in a membrane recycle reactor. **Enzyme and Microbial Technology**, n. 18, p. 29-34, 1996.

PEREZ, P.M.P.; GERMANI, R. Elaboração de biscoitos tipo salgado, com alto teor de fibra alimentar, utilizando farinha de berinjela (*Solanum melongena*, L.). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 27, n. 1, p. 186-192, 2007.

PINTADO, M.E.; MACEDO, A.C.; MALCATA, F.X.; Review: Technology, Chemistry and Microbiology of Whey Cheeses. **Food Science and Technology International**, v. 7, n. 2, p. 105-116, 2001.

PIRES, C.V.; OLIVEIRA, M.G.A.; ROSA, J.C.; COSTA, N.M.B. Qualidade nutricional e escore químico de aminoácidos de diferentes fontes protéicas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 26, n. 1, p. 179-187, 2006.

RAHMAN, M.S.; GUIZANI, N.G.; AL-RUZEIKI, M.H. D- and Z- values of microflora in tuna mince during moist and dry heating. **Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie**, v. 37, p. 93-98, 2004.

REGESTER, G.O.; McINTOSH, G.H.; LEE, V.W.K.; SMITHERS, G.W. Whey protein as nutritional and functional food ingredients. **Food Australia**, Waterloo, v. 48, n. 3, p. 123-127, 1996.

RENNER, E.; ABEL-SALAM, M.H. **Application of ultrafiltration in the dairy industry**. Elsevier Appl. Science, 1991. 371p.

RENNER, E.; RENZ-SCHAVEN. **Nährwerttabellen für milch und milchprodukte**. Verlag B. Renner. Köhner K. G. Gieben, Germany, 1986.



RIBAS, A.I.; CÁNOVAS, G.V.B.; GARZA, S.G.; AÑÓ, V.G. **Métodos Experimentales en la Ingeniería de los Alimentos**. 1ª edição. Zaragoza: Acribia, 2000. 292 p.

RICHARDS, N.S.P.S. Uso racional de soro lácteo. **Revista da Indústria de Laticínios**, v. 2, n. 9, p. 67-69, 1997.

RICHARDS, N.S.P.S. Soro Lácteo: perspectivas industriais e proteção ao meio ambiente. **Food Ingredients**, v. 3, n. 17, p. 20-27, 2002.

RHODEHAMEL, E.J.; HARMON, S.M. *Bacillus cereus*. In: JACKSON, G. J.; MERKER, R. I.; BANDLER, R. **Bacteriological Analytical Manual Online**, 2001. Food and Drugs Administration Center for Food Safety and Applied Nutrition. Disponível em: <<http://www.cfsan.fda.gov/>>. Acesso em: 23 mai. 2014.

ROMAN, J.A.; SGARBIERI, V.C. Caracterização físico-química do isolado proteico de soro de leite e gelatina de origem bovina. **Journal of Food Technology**, v. 10, n. 2, p. 137-143, 2007.

ROSANELI, C.F. **Atividade antiulcerogênica de um concentrado de soro de leite bovino em modelos experimentais com ratos**. 2002. 81f. Dissertação (Mestrado em Planejamento Alimentar e Nutrição), Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, São Paulo. 2002.

ROSENBERG, M. Current and future applications for membrane process in the dairy industry. **Trends in Food Science and Technology**, v. 6, p. 12-19, 1995.

ROSSEN, J. L.; MILLER, R. C. Food extrusion. **Food Technology**, v. 27, n. 8, p. 46-53, 1973.

RUFFI, C.R.G. **Desenvolvimento e avaliação tecnológica de biscoito tipo craker com incremento do teor de proteínas e fibras pela incorporação de derivados de soja**. 2011. 179f. Dissertação (Mestrado em Alimentos e Nutrição), Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, São Paulo. 2011.

SANTANA, M.F.S.; GASPARETTO, C.A. Microestrutura da fibra alimentar do albedo de laranja: um estudo por técnicas físicas e análise de imagens. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, n. 229, v. 1, p. 124-134, 2009.

SANTOS, C.T.; MARQUES, G.M.R.; FONTAN, G.C.R.; FONTAN, R.C.I.; BONOMO, R.C.F.; BONOMO, P. Elaboração e caracterização de uma bebida láctea fermentada com polpa de umbu (*Spondias tuberosa* sp.). **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 8, n. 2, p. 11-116, 2006.

SANTOS, C.T.; COSTA, A.R.; FONTAN, G.C.R.; FONTAN, R.C.I.; BONOMO, R.C.F. Influência da concentração de soro na aceitação sensorial de bebida láctea fermentada com polpa de manga. **Alimentos e Nutrição**, v. 19, n. 1, p. 55-60, 2008.

SCHINTU, M.; MELONI, P.; SAL, M.; CONTU, A. Esperienze sul controllo microbiologico di paste fresche di produzione artigianale. **L'Igiene Moderna**, v. 105, p. 55-62, 1996.

SCOTT, K.J. **Micronutrients in milks products**. In: Micronutrients in milk and milk-based food products. USA. Elsevier Science Publisher, 1989, p. 71-124.

SCOTT, R. **Fabricación de queso**. Zaragoza (Espanha): Editora Acribia, S.A., 1991. 520p.

SEBIO, L. **Efeito de alguns parâmetros operacionais de extrusão nas propriedades físico-químicas da farinha de inhame (*Dioscorea rotundata*)**. 1996. 100f. Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, São Paulo. 1996.

SGARBIERI, V.C. **Proteínas em alimentos proteicos: propriedades, degradações, modificações**. São Paulo: Varela, 1996. p. 184-229.

SGARBIERI, V. C. Revisão: Propriedades fisiológicas-funcionais das proteínas do soro de leite. **Revista de Nutrição**, v. 17, n. 4, p. 397-409, 2004.

SILVA, D.J.; QUEIROZ, A.C. **Análise de alimentos: métodos químicos e biológicos**. 3ª edição. Editora UFV: Universidade Federal de Viçosa, 2006. 235p.

SILVA, E.M.M. **Produção de macarrão pré-cozido à base de farinha mista de arroz integral e milho para celíacos utilizando o processo de extrusão**. 2007. 102f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos), Instituto de Tecnologia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2007.

SILVA, E.M.M. **Desenvolvimento e caracterização físico-química de extrudados de milho e feijão**. 2010. 231f. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos), Instituto de Tecnologia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, Rio de Janeiro. 2010.

SILVA JR, E.O. **Manual de controle higiênico-sanitário em alimentos**. 5ª edição. São Paulo: Livraria Varela, 2002.

SILVA, K. **Sorvetes com diferentes produtos de soro de leite bovino: avaliações sensoriais, físico-químicas e ultra-estruturais**. 2004. 125f. Dissertação (Mestrado em Alimentos e Nutrição), Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, São Paulo. 2004.

SILVA, P.A.; ASSIS, G.T.; CARVALHO, A.V.; SIMÕES, M.G. Desenvolvimento e caracterização de cereal matinal extrudado de mandioca enriquecido com concentrado proteico de soro de leite. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 14, n. 4, p. 260-266, 2011.

SILVA, R.F. **Extrusão termoplástica de farinha de arroz com café torrado e moído e sua utilização em produtos de panificação**. 2006. 166f. Tese (Doutorado em Ciência dos Alimentos), Universidade Federal de Lavras, Lavras, Minas Gerais. 2006.

SILVA, V.L.M. **Efeito das variáveis de extrusão nas características físicas, químicas, sensoriais e nutricionais da farinha instantânea de misturas de quinoa (*Chenopodium quinoa*, Willd.) e arroz (*Oryza sativa*, L.)**. 2002. 175f. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos), Instituto de Tecnologia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, Rio de Janeiro. 2002.

SILVEIRA, E.T.F.; TRAVAGLINI, D.A.; VITTI, P.; CAMPOS, S.D.S.; AGUIRRE, J.M.; FIGUEIREDO, I.B.; SHIROSE, I. Farinha composta de resíduo do extrato de soja e de arroz em mistura com trigo para uso em panificação. **Boletim do Instituto de Tecnologia de Alimentos**, v. 18, n. 4, p. 543-561, 1981.

SINGH, N.; SINGH, J.; KAUR, L.; SODHI, N.S.; GILL, B.S.; Morphological, thermal and rheological properties of starches from different botanical sources. **Food Chemistry**, v. 81, p. 219-231, 2003.

SISO, M.I.G. The biotechnological utilization of cheese whey: a review. **Bioresource Technology**, v.57, n.1, p.1-11, 1996.

SIVIERI, K.; OLIVEIRA, M.N. Avaliação da vida-de-prateleira de bebidas lácteas preparadas com “fat replacers” (Litesse e Dairy-Lo). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 22, n. 1, p. 24-31, 2002.

SMITHERS, G.W.; BALLARD, F.J.; COPELAND, A.D.; KIRTHER, J.A.; DIONYSIUS, D.A.; FRANCIS, G.L.; GODDARD, C.; GRIEVE, P.A.; McINTOSH, G.H.; MITCHELL, I.R.; PEARCE, R.J.; REGESTER, G.O. Symposium: advances in dairy foods processing and engineering. New opportunities from the isolation and utilization of whey proteins. **Journal of Dairy Science**, v. 79, n. 8, p. 1454-1459, 1996.

SRIBURI, P.; HILL, S.E. Extrusion of cassava starch with either variations in ascorbic acid concentration or pH. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 35, n. 2, p. 141-154, 2000.

STATSOFT, INC. (2001). STATISTICA (Data analysis software system), version 7.

STOJCESKA, V.; AINSWORTH, P.; PLUNKETT, A.; İBANOĞLU, E.; İBANOĞLU, Ş. Cauliflower byproducts as a new source of dietary fibre, antioxidants and proteins in cereal based ready-to-eat expanded snacks. **Journal of Food Engineering**, v. 87, n. 4, p.554-563. 2008.

STONE, H.; SIDEL, J. L. **Sensory Evaluation Practices**. London: Academic Press, 1985.

SWAISGOOD, H.E. Characteristics of milk. In: FENNEMA, O.R. (Ed) **Food Chemistry**, 1996. New York: Marcel Dekker, p. 841-878, 1996.

SZARFARC, S.C.; MARTINS, I.S.; MAZZILLI, R.N.; CAVALCANTI, M.L.F.; GANDRA, Y.R. Qualidade proteica de dietas avaliadas segundo os padrões FAO, 1968 e FAO, 1973. **Revista de Saúde Pública**, v.14, p.151-160, 1980.

TAIRA, H. Grain quality: physicochemical properties and quality of rice grains. In: MATSUO, T.; KUMAZAWA, K.; ISHII, R.; ISHIHARA, K.; HIRATA, H. **Science of the rice plant**. Tokyo: Food and Agriculture Police Research Center, 1995. V. 2 (Physiology). Cap. 6.1. p. 1063-1089.

TAN, J.; GAO, X.; HSIEH, F. Extrudate characterization by image processing. **Journal of Food Science**, v. 59, n. 6, p. 1247-1250, 1994.

TAKO, M.; HIZUKURI, S. Gelatinization mechanism of potato starch. **Carbohydrate Polymers**, v. 48, n. 4, p. 397-401, 2002.

TEBA, C.S. **Elaboração de massas alimentícias pré-cozidas à base de farinha mista de arroz polido e feijão preto sem casca pelo processo de extrusão termoplástica**. 2009. 177f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos), Instituto de Tecnologia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, Rio de Janeiro. 2009.

TEBA, C.S.; ASCHERI, J.L.R.; CARVALHO, C.W.P. Efeito dos parâmetros de extrusão sobre as propriedades de pasta de massas alimentícias pré-cozidas de arroz e feijão. **Alimentos e Nutrição**, v. 20, n. 3, p. 411-426, 2009.

TORRES, L.L.G.; EL-DASH, A.A.; CARVALHO, C.W.P.; ASCHERI, J.L.R.; GERMANI, R.; MIGUEZ, M. Efeito da umidade e da temperatura no processamento de farinha de banana verde (*Musa acuminata*, grupo AAA) por extrusão termoplástica. **Boletim CEPPA**, v. 23, n. 2, p. 273-290, 2005.

TSUDA, H.; KAZUNORI, S. Milk components as cancer chemopreventive agents. **Asian Pacific Journal of Cancer Prevention**, v. 1, p. 277-282, 2000.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE (USDA). **National Nutrient Database for Standard Reference**, Release 14, (2001). Disponível em: <<http://www.unifesp.br/dis/servicos/nutri/nutri.php?id=5916>>. Acesso em: 3 mai. 2011.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE (USDA). **National Nutrient Database for Standard Reference**, Release 19 (2006). Disponível em: <[http://www.nal.usda.gov/fnic/foodcomp/cgi-bin/list\\_nt\\_edit.pl](http://www.nal.usda.gov/fnic/foodcomp/cgi-bin/list_nt_edit.pl)>. Acesso em: 18 jun. 2010.

USDEC NEWS. O uso de produtos de soro em iogurtes e produtos lácteos fermentados. **The United States Dairy Export Council**, v. 2, n. 2. p. 1-2, 1999.

USDEC NEWS. Ingredientes lácteos para uma alimentação saudável. **The United States Dairy Export Council**, v. 2, n. 4. p. 1-3, 2000.

USDEC NEWS. Soro de leite em aplicações de produtos de consumo. **The United States Dairy Export Council**, v. 6, n. 1. p. 1-4, 2003.

VASBINDER, A.J.; ALTING, A.C.; KRUIF, K.G. Quantification of heat-induced casein-whey protein interactions in milk and its relation to gelation kinetics. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**, n. 31, p. 115-123 2003.

VIJAYAGOPAL, K.; BALAGOPALAN, C.; MOORTHY, S.N. Gelatinization and liquefaction of Cassava flour; effect of temperature, substrate and enzyme concentrations. **Starch/Stärke**, New York, v. 40, n. 8, p. 300-302, 1988.

VISSOTTO, F.Z.; MONTENEGRO, F.M.; 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, n. 3, p. 666-671, 2006.

WANG, S.H.; CABRAL, L.C.; MAIA, L.H.; ARAUJO, F.B. Mingau de arroz e soja pronto para consumo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 5, p. 855-860, 1999.

WANG, S.H.; CLERICI, M.T.P.S; SGARBIERI, V.C. Características sensoriais e nutricionais de mingau de preparo rápido a base de farinhas de arroz e soja desengordurada e leite em pó. **Alimentos e Nutrição**, v. 5, p. 77-86, 1993/94.

WHALEN, P.J.; BASON, M.L.; BOOTH, R.I.; WALKER, C.E.; WILLIAMS, P.J. Measurement of extrusion effects by viscosity profile using rapid viscoanalyser. **Cereal Foods World**, v. 42, n. 6, p. 469-475, 1997.

WEBB, P.A.; ORR, C. Analytical Methods in Fine Particle Technology. **Micromeritics Instrument Corporation**, USA, 1997. 301 p.

WEBB, P.A. Volume and Density Determinations for Particle Technologists. **Micromeritics Instrument Corp.** 16p. 2001.

WONG, D.W.S.; CAMIRANT, W.M.; PAVLATH, A.E. Structures and functionalities of milk proteins. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, Florida, v. 36, n. 8, p. 807-844, 1996.

YONEMOTO, P.G. **Efeito do tamanho dos grânulos nas características estruturais e físico-químicas do amido de trigo.** 2006. 101f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência de Alimentos), Universidade Estadual Paulista, São José do Rio Preto, São Paulo. 2006.

ZIEGLER, F.L.F. **Avaliação do efeito da suplementação com proteínas lácteas sobre pacientes com leucemia mielóide aguda, na mucosite induzida por quimioterápicos e em células leucêmicas.** 2010. 355f. Tese (Doutorado em Alimentos e Nutrição), Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, São Paulo. 2010.

ZHOU, Z.; ROBARDS, K.; HELLIWELL, S.; BLANCHARD, C. Composition and functional properties of rice. **International Journal of Food Science and Technology**, v.37, p.849-868, 2002.

## **ANEXOS**

**ANEXO 1. Parecer do Comitê de Ética na Pesquisa da UFRRJ/ COMEP.**



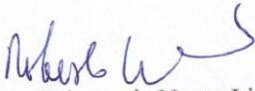
SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL  
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
COMISSÃO DE ÉTICA NA PESQUISA DA UFRRJ / COMEP

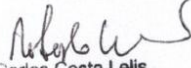
Protocolo N° 252/2012

**PARECER**

O Projeto de Pesquisa intitulado “Desenvolvimento de biscoitos e mingaus à base de farinha mista de arroz polido e concentrado protéico de soro de leite bovino pelo processo de extrusão termoplástica”, sob a responsabilidade do Prof. Dr. José Luís Ramírez Ascheri, da Embrapa Agroindústria de Alimentos – Laboratório de Cereais, processo 23083.005232/2012-29, atende os princípios éticos e está de acordo com a Resolução 196/96 que regulamenta os procedimentos de pesquisa envolvendo seres humanos.

UFRRJ, 08/03/2013

  
Prof. Dra. Aurea Echevarria Neves Lima  
Pró-reitora de Pesquisa e Pós-graduação

  
Roberto Carlos Costa Leles  
Pró-reitor de Pesquisa e  
Pós-graduação  
SIAPE n° 1219274

UFRRJ, 07/01/2014.



## ANEXO 2. Termo de Consentimento Livre e Esclarecido - Biscoitos tipo *cookie*.

### 1 – Identificação do Responsável pela execução da pesquisa:

Projeto: **Desenvolvimento de Biscoitos e Mingaus à Base de Farinha Mista de Arroz Polido e Concentrado Proteico de Soro de Leite Bovino pelo Processo de Extrusão Termoplástica**

Pesquisador Responsável: **Dr. José Luis Ramírez Ascheri**. Embrapa Agroindústria de Alimentos - CTAA. Av. das Américas, n° 29.501, Guaratiba, Rio de Janeiro – RJ. CEP: 23020-470. Tel.: (21) 3622-9796. E-mail: ascheri@ctaa.embrapa.br

Pesquisadora responsável: **MSc. Carla da Silva Teba**. Email: carla.teba@gmail.com

### 2 – Informações ao participante ou responsável:

Você está sendo convidado a participar de uma pesquisa intitulada: **Desenvolvimento de biscoitos e mingaus a base de farinha mista de arroz polido e concentrado proteico de soro de leite bovino pelo processo de extrusão termoplástica.**

2) A pesquisa terá como objetivo geral a avaliação sensorial (degustação) de biscoitos doces tipo *cookie*, produzidos com a mistura de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino. Os produtos não contêm glúten.

3) Antes de aceitar participar da pesquisa, leia atentamente as explicações que informam sobre o procedimento.

3.1) No momento da análise sensorial você receberá amostras de biscoitos juntamente com água mineral e uma ficha de identificação e outra para avaliação e opinião dos produtos degustados.

4) Durante sua participação, você poderá recusar responder a qualquer pergunta ou participar de procedimento(s) que por ventura lhe causar (em) algum constrangimento.

5) Você poderá se recusar a participar da pesquisa ou poderá abandonar o procedimento em qualquer momento, sem nenhuma penalização ou prejuízo.

6) A sua participação na pesquisa será como voluntário, não recebendo nenhum privilégio, seja ele de caráter financeiro ou de qualquer natureza. Entretanto, lhe serão garantidos todos os cuidados necessários a sua participação de acordo com seus direitos individuais e respeito ao seu bem-estar físico e psicológico.

7) Não tem-se em vista que a sua participação poderá envolver riscos ou desconfortos.

8) Salientamos que os biscoitos foram produzidos com alto rigor de controle de qualidade, por profissionais habilitados, utilizando matérias-primas confiáveis de empresas renomadas no mercado.

9) Garantimos que as matérias-primas utilizadas não oferecem nenhum risco de alergia ou toxicidade ao serem consumidos. Além das farinhas mistas, os produtos contêm amido de milho, baunilha, sal, açúcar refinado, gordura vegetal hidrogenada, ácido cítrico e fermentos.

Caso apresente alguma intolerância/alergia aos ingredientes dos produtos, por favor, procure o pesquisador responsável antes de começar o teste.

11) Serão garantidos o sigilo e privacidade aos participantes, assegurando-lhes o direito de omissão de sua identificação ou de dados que possam comprometê-lo. Na apresentação dos resultados não serão citados os nomes dos participantes.

12) Os resultados obtidos com a pesquisa serão apresentados em eventos ou publicações científicas.

Acredito ter sido suficientemente informado a respeito do estudo. Ficaram claros quais são os propósitos do estudo, os procedimentos a serem realizados, as garantias de confidencialidade e de esclarecimentos permanentes.

Ficou claro, também, que a minha participação é isenta de despesas e que tenho garantia do acesso aos resultados e de esclarecer minhas dúvidas a qualquer tempo.

Concordo voluntariamente em participar deste estudo e poderei retirar o meu consentimento a qualquer momento, antes ou durante o mesmo, sem penalidade ou prejuízo.

A minha assinatura abaixo indica que concordo em participar desta pesquisa e por isso dou meu livre consentimento.

\_\_\_\_\_  
Assinatura do informante

Data: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

Nome:.

Endereço:.

RG:.

Fone: ( )

\_\_\_\_\_  
Assinatura do(a) pesquisador(a)

Data: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

### **ANEXO 3. Termo de Consentimento Livre e Esclarecido - Mingaus de rápido preparo.**

#### **1 – Identificação do Responsável pela execução da pesquisa:**

**Projeto: Desenvolvimento de Biscoitos e Mingaus à Base de Farinha Mista de Arroz Polido e Concentrado Proteico de Soro de Leite Bovino pelo Processo de Extrusão Termoplástica**

Pesquisador Responsável: **Dr. José Luis Ramírez Ascheri**. Embrapa Agroindústria de Alimentos - CTAA. Av. das Américas, n° 29.501, Guaratiba, Rio de Janeiro – RJ. CEP: 23020-470. Tel.: (21) 3622-9796. E-mail: ascheri@ctaa.embrapa.br

Pesquisadora responsável: **MSc. Carla da Silva Teba**. Email: carla.teba@gmail.com

#### **2 – Informações ao participante ou responsável:**

Você está sendo convidado a participar de uma pesquisa intitulada: **Desenvolvimento de biscoitos e mingaus a base de farinha mista de arroz polido e concentrado proteico de soro de leite bovino pelo processo de extrusão termoplástica.**

2) A pesquisa terá como objetivo geral a avaliação sensorial (degustação) de mingaus, produzidos com a mistura de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino. Os produtos não contêm glúten.

3) Antes de aceitar participar da pesquisa, leia atentamente as explicações que informam sobre o procedimento.

3.1) No momento da análise sensorial você receberá amostras de mingaus juntamente com água mineral e uma ficha de identificação e outra para avaliação e opinião dos produtos degustados.

4) Durante sua participação, você poderá recusar responder a qualquer pergunta ou participar de procedimento(s) que por ventura lhe causar (em) algum constrangimento.

5) Você poderá se recusar a participar da pesquisa ou poderá abandonar o procedimento em qualquer momento, sem nenhuma penalização ou prejuízo.

6) A sua participação na pesquisa será como voluntário, não recebendo nenhum privilégio, seja ele de caráter financeiro ou de qualquer natureza. Entretanto, lhe serão garantidos todos os cuidados necessários a sua participação de acordo com seus direitos individuais e respeito ao seu bem-estar físico e psicológico.

7) Não tem-se em vista que a sua participação poderá envolver riscos ou desconfortos.

8) Salientamos que os mingaus foram produzidos com alto rigor de controle de qualidade, por profissionais habilitados, utilizando matérias-primas confiáveis de empresas renomadas no mercado.

9) Garantimos que as matérias-primas utilizadas não oferecem nenhum risco de alergia ou toxicidade ao serem consumidos. Além das farinhas mistas, os produtos contêm essência de coco, sal e açúcar refinado.

Caso apresente alguma intolerância/alergia aos ingredientes dos produtos, por favor, procure o pesquisador responsável antes de começar o teste.

11) Serão garantidos o sigilo e privacidade aos participantes, assegurando-lhes o direito de omissão de sua identificação ou de dados que possam comprometê-lo. Na apresentação dos resultados não serão citados os nomes dos participantes.

12) Os resultados obtidos com a pesquisa serão apresentados em eventos ou publicações científicas.

Acredito ter sido suficientemente informado a respeito do estudo. Ficaram claros quais são os propósitos do estudo, os procedimentos a serem realizados, as garantias de confidencialidade e de esclarecimentos permanentes.

Ficou claro, também, que a minha participação é isenta de despesas e que tenho garantia do acesso aos resultados e de esclarecer minhas dúvidas a qualquer tempo.

Concordo voluntariamente em participar deste estudo e poderei retirar o meu consentimento a qualquer momento, antes ou durante o mesmo, sem penalidade ou prejuízo.

A minha assinatura abaixo indica que concordo em participar desta pesquisa e por isso dou meu livre consentimento.

\_\_\_\_\_  
Assinatura do informante

Data: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

Nome:.

Endereço:.

RG:.

Fone: ( )

\_\_\_\_\_  
Assinatura do(a) pesquisador(a)

Data: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

**ANEXO 4.** Ficha de avaliação da aceitabilidade de biscoitos.

Amostra N<sup>o</sup>: \_\_\_\_\_

Você está recebendo uma amostra de **biscoito tipo cookie enriquecido com proteína de soro de leite**. Por favor, prove-a e avalie de forma global, utilizando a escala abaixo, o quanto você gostou ou desgostou deste produto.

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
desgostei extremamente	desgostei muito	desgostei moderadamente	desgostei ligeiramente	não gostei e nem desgostei	gostei ligeiramente	gostei moderadamente	gostei muito	gostei extremamente

Por favor, marque na escala abaixo o quanto você gostou do **sabor** do biscoito.

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
desgostei extremamente	desgostei muito	desgostei moderadamente	desgostei ligeiramente	não gostei e nem desgostei	gostei ligeiramente	gostei moderadamente	gostei muito	gostei extremamente

Por favor, marque na escala abaixo o quanto você gostou do **aroma** do biscoito.

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
desgostei extremamente	desgostei muito	desgostei moderadamente	desgostei ligeiramente	não gostei e nem desgostei	gostei ligeiramente	gostei moderadamente	gostei muito	gostei extremamente

Por favor, marque na escala abaixo o quanto você gostou do **cor** do biscoito.

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
desgostei extremamente	desgostei muito	desgostei moderadamente	desgostei ligeiramente	não gostei e nem desgostei	gostei ligeiramente	gostei moderadamente	gostei muito	gostei extremamente

Por favor, dê a sua opinião em relação à seguinte característica:

**Textura:**

----- -----		
Muito duro	Ideal	Muito macio

Cite o que você mais **gostou** neste produto \_\_\_\_\_

Cite o que você mais **desgostou** neste produto \_\_\_\_\_

Indique na escala abaixo sua atitude se você encontrasse este biscoito à venda. Você compraria este produto?

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Certamente não compraria	Provavelmente não compraria	Talvez comprasse/ Talvez não comprasse	Provavelmente compraria	Certamente compraria

**ANEXO 5.** Ficha de avaliação da aceitabilidade de mingaus.

Amostra N°: \_\_\_\_\_

Você está recebendo uma amostra de **mingau de rápido preparo à base de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino**.

Por favor, marque na escala abaixo o quanto você gostou da **aparência** do mingau.

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
desgostei extremamente	desgostei muito	desgostei moderadamente	desgostei ligeiramente	não gostei e nem desgostei	gostei ligeiramente	gostei moderadamente	gostei muito	gostei extremamente

Por favor, marque na escala abaixo o quanto você gostou do **sabor** do mingau.

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
desgostei extremamente	desgostei muito	desgostei moderadamente	desgostei ligeiramente	não gostei e nem desgostei	gostei ligeiramente	gostei moderadamente	gostei muito	gostei extremamente

Por favor, marque na escala abaixo o quanto você gostou da **consistência** do mingau.

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
desgostei extremamente	desgostei muito	desgostei moderadamente	desgostei ligeiramente	não gostei e nem desgostei	gostei ligeiramente	gostei moderadamente	gostei muito	gostei extremamente

Cite o que você mais **gostou** neste produto \_\_\_\_\_

Cite o que você mais **desgostou** neste produto \_\_\_\_\_

Indique na escala abaixo sua atitude se você encontrasse um preparado em pó para mingaus de rápida dissolução à venda. Você compraria este produto?

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Certamente não compraria	Provavelmente não compraria	Talvez comprasse/ Talvez não comprasse	Provavelmente compraria	Certamente compraria



**ANEXO 7.** Ficha técnica de avaliação de provedores - Biscoitos tipo *cookie*.

<b>ESTUDO SOBRE BISCOITOS</b>	
1.Nome: _____	
Data: ____/____/____	
2. Sexo:	<input type="checkbox"/> feminino <input type="checkbox"/> masculino
3. Idade:	<input type="checkbox"/> 18-25 <input type="checkbox"/> 26-35 <input type="checkbox"/> 36-45 <input type="checkbox"/> 46-55 <input type="checkbox"/> 56-65 <input type="checkbox"/> > 66
4. Grau de escolaridade:	<input type="checkbox"/> Fundamental ou 1º Grau <input type="checkbox"/> Fundamental ou 1º Grau incompleto <input type="checkbox"/> Médio ou 2º Grau <input type="checkbox"/> Médio ou 2º Grau incompleto <input type="checkbox"/> Universitário <input type="checkbox"/> Universitário incompleto <input type="checkbox"/> Pós-graduação
5. Você gosta de biscoitos?	<input type="checkbox"/> sim <input type="checkbox"/> não
6. Você consome biscoitos tipo <i>cookie</i> ?	<input type="checkbox"/> sim <input type="checkbox"/> não
7. Com que frequência?	<input type="checkbox"/> Nunca <input type="checkbox"/> Raramente <input type="checkbox"/> Esporadicamente <input type="checkbox"/> Frequentemente <input type="checkbox"/> Diariamente
8. Você gosta de experimentar novos produtos?	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
Definitivamente NÃO	Definitivamente SIM



