



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

**DESENVOLVIMENTO E CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DE  
EXTRUDADOS DE MILHO E FEIJÃO**

**ERIKA MADEIRA MOREIRA DA SILVA**

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

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 2010

664.76

S586d

T

Silva, Erika Madeira Moreira da,  
1983-.

**Desenvolvimento e caracterização físico-  
química de extrudados de milho e feijão /  
Erika Madeira Moreira da Silva - 2010.**

230 f.: il.

**Orientador: José Luis Ramirez Ascheri.**

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

Inclui bibliografia.

1. Farinhas como alimento -  
Teses. 2. Milho - Teses. 3. Feijão -  
Teses. I. Ramirez Ascheri, José  
Luis, 1955-. II. Universidade  
Federal Rural do Rio de Janeiro.  
Programa 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**

**ERIKA MADEIRA MOREIRA DA SILVA**

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

TESE APROVADA EM ...../...../.....

---

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

---

Carlos Wanderlei Piler de Carvalho. (PhD) Embrapa-CTAA  
(Membro)

---

Cristina Yoshie Takeiti. (D.Sc.) Embrapa-CTAA  
(Membro)

---

Raquel Vieira de Carvalho. (D.Sc.) CCA-UFES  
(Membro)

---

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

---

Daniela de Grandi Castro Freitas. (D.Sc.) Embrapa-CTAA  
(Suplente)

## DEDICATÓRIA

A fé e a esperança me mantiveram persistente durante toda a trajetória. Muitos obstáculos surgiram e continuarão surgindo. Mas o que me fez erguer a cabeça, lutar e seguir em frente foram pessoas especiais que estiveram ao meu lado. Aqui não cabem apenas agradecimentos.

Dedico esse trabalho ao amigo e orientador Dr. José Luis Ramirez Ascheri pelo apoio incondicional e brilhantismo em sua orientação.

A dedicação também se une ao amor. Pois sem esse sentimento, até mesmo um inigualável cientista não sobreviveria. Amor pela vida, amor pela profissão, amor pelo próximo...ao amor, dedico.....à Humberto, por aparecer de forma tão mágica e inesperada em minha vida, me proporcionando equilíbrio do qual eu precisava, calma e até mesmo um certo toque de paciência.

À minha família, pelo apoio e carinho.

À minha avó, aurora de minha vida, meu mundo, meu tudo.....

## AGRADECIMENTOS

À Embrapa Agroindústria de Alimentos, por todo o suporte referente às instalações como laboratórios e todos os pesquisadores e técnicos que tive contato durante 4 anos de estágio;

À Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro e ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, representado pela Dr<sup>a</sup> Arlene Gaspar, que me permitiu executar meu trabalho de forma ordenada e muito bem orientada;

À Lucimar, por toda a paciência e pelo profissionalismo sempre nos ajudando com nossas tarefas pertinentes ao Programa;

Aos meus colegas de turma e me perdoem se eu esquecer alguém: Carla Teba, Simone, Gaspar, Daniel, Donatti, Juan e Bete;

Às minhas amigas Isabrisa, Luciana, Cirlene Angélica, Carol, Lorena e Renata pelos momentos hilários e maravilhosos de AgroSalud e HarvestPlus;

Aos projetos de biofortificação AgroSalud e HarvestPlus, coordenados pela pesquisadora Marília Regin Nutti e pelo pesquisador José Luiz Viana de Carvalho;

Aos pesquisadores que participaram auxiliando-me durante o estudo, Dr. Carlos Wanderlei Piler de Carvalho, Dr<sup>a</sup> Cristina Takeiti, Dr. Edson Watanabe;

À professora e amiga Raquel Vieira de Carvalho (UFES), pela amizade e participação na banca, com ótimas considerações;

À professora Suzana Della Lucia (UFES) pela amizade e orientação com a análise sensorial;

Ao Dr. Diego Palmiro Ramirez Ascheri pela orientação com as análises estatísticas, pela disponibilidade e amizade;

À Universidade Federal do Espírito Santo pelo acolhimento, pelas instalações cedidas e autorização para execução da análise sensorial;

Aos professores do Departamento de Zootecnia da UFES, ao Mário e em especial aos professores do curso de Nutrição: Alcemi, Rogério, Flávia, Pollyanna, Graça, Adriana, Neuza, Daniele, Fabiane, André e Wagner pelo apoio, amizade e pelo acolhimento e carinho pelo qual sinto o enorme prazer em acordar e encontrá-los todos os dias no corredor. Vocês são minha família “Alegre”;

Aos amigos Alegrensenses que ganhei, Well, Zé Augusto, Hélio, Adriane, Erika, Carol, Joaquim, Elizandro, Xodó, Rogério (Nareba) e não menos importante Eveline, Tety e Gustavo;

Ao meu irmão, amigo e primo Rates Robles pelos momentos ótimos que passamos e iremos passar juntos.

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b>	Composição em minerais para grãos de feijão cru com casca, do tipo Carioca	26
<b>Tabela 2</b>	Tratamentos de maceração e secagem para remoção das cascas de feijão BRS Pontal	29
<b>Tabela 3</b>	Médias dos minerais (mg/100g) em feijão BRS Pontal com casca e descascados após os diferentes tratamentos de maceração e secagem (base seca)	32
<b>Tabela 4</b>	Teores de minerais presentes nas cascas de feijão BRS Pontal (base seca)	33
<b>Tabela 5</b>	Ingestão Dietética Recomendada (IDR) para os principais minerais analisados no feijão BRS Pontal com casca e sem casca	34
<b>Tabela 6</b>	Níveis das variáveis independentes a serem estudadas no processo de elaboração dos extrudados expandidos	54
<b>Tabela 7</b>	Delineamento completo do experimento	55
<b>Tabela 8</b>	Vazão, torque e Energia Mecânica Específica (EME) registrados durante o processo de extrusão	76
<b>Tabela 9</b>	Teste F da análise de variância, coeficiente de regressão, estimativa dos efeitos e respectivas probabilidades (P) do modelo de regressão quadrática aplicada a vazão dos extrudados expandidos de milho e feijão BRS pontal, em função da rotação do parafuso ( $X_1$ ), umidade ( $X_2$ ) e % de feijão ( $X_3$ )	77
<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 ao torque dos extrudados expandidos de milho e feijão BRS pontal, em função da rotação do parafuso ( $X_1$ ), umidade ( $X_2$ ) e % de feijão ( $X_3$ )	78
<b>Tabela 11</b>	Teste F da análise de variância, coeficiente de regressão, estimativa dos efeitos e respectivas probabilidades (P) do modelo de regressão quadrática aplicada a energia mecânica específica (EME) dos extrudados expandidos de milho e feijão BRS pontal, em função da rotação do parafuso ( $X_1$ ), umidade ( $X_2$ ) e % de feijão ( $X_3$ )	81
<b>Tabela 12</b>	Resultados da caracterização física dos extrudados expandidos ( <i>snacks</i> )	82
<b>Tabela 13</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 (IER) dos extrudados	85

expandidos de milho e feijão BRS pontal, em função da rotação do parafuso ( $X_1$ ), umidade ( $X_2$ ) e % de feijão ( $X_3$ )

<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 ao índice de expansão longitudinal (IEL) dos extrudados expandidos de milho e feijão BRS pontal, em função da rotação do parafuso ( $X_1$ ), umidade ( $X_2$ ) e % de feijão ( $X_3$ )	88
<b>Tabela 15</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 volumétrico (IEV) dos extrudados expandidos de milho e feijão BRS pontal, em função da rotação do parafuso ( $X_1$ ), umidade ( $X_2$ ) e % de feijão ( $X_3$ )	89
<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 a densidade aparente (DAP) dos extrudados expandidos de milho e feijão BRS pontal, em função da rotação do parafuso ( $X_1$ ), umidade ( $X_2$ ) e % de feijão ( $X_3$ )	92
<b>Tabela 17</b>	Média dos resultados da textura instrumental dos extrudados expandidos ( <i>snacks</i> )	96
<b>Tabela 18</b>	Pontos ótimos considerados para a elaboração de <i>snacks</i>	97
<b>Tabela 19</b>	Médias das notas obtidas por meio da avaliação da aceitabilidade dos extrudados expandidos de milho e feijão Carioca aromatizados	99
<b>Tabela 20</b>	Comparativo de área, produtividade e produção para feijão de 1ª safra	112
<b>Tabela 21</b>	Médias de composição centesimal de diferentes amostras de milhos analisados no Laboratório de Análises Físico Químicas da Embrapa Suínos e Aves no período de 1979 a 1997	117
<b>Tabela 22</b>	Médias de minerais de diferentes amostras de milho analisados no Laboratório de Análises Físico Químicas da Embrapa Suínos e Aves no período de 1979 a 1997	117
<b>Tabela 23</b>	Médias de aminoácidos de diferentes amostras de milho analisados no Laboratório de Análises Físico Químicas da Embrapa Suínos e Aves no período de 1979 a 1997	118
<b>Tabela 24</b>	Composição centesimal (%) do milho ( <i>grits</i> ), feijão Carioca BRS Pontal, feijão Carioca convencional e amostras extrudadas de milho e feijão BRS Pontal (base seca)	127
<b>Tabela 25</b>	Média dos minerais (mg/100g) presentes no milho ( <i>grits</i> ), feijão Carioca BRS Pontal, feijão Carioca convencional e amostras	129

extrudadas de milho e feijão BRS Pontal (base seca) e ingestão recomendada para crianças e adultos de acordo com a DRI (IOM, 1997, 2001, 2004)

<b>Tabela 26</b>	Composição em aminoácidos (mg aminoácido/g de proteína), em base seca, do <i>grits</i> de milho, feijão BRS Pontal com casca, sem casca e recomendações da FAO/WHO, para crianças de 2 a 5 anos, 10 a 12 anos e adultos	132
<b>Tabela 27</b>	Escore de aminoácidos do <i>grits</i> de milho e feijão BRS Pontal, segundo as recomendações da FAO/WHO (1998) para crianças de 2 a 5 anos de idade	133
<b>Tabela 28</b>	Escore de aminoácidos do <i>grits</i> de milho e feijão BRS Pontal, segundo as recomendações da FAO/WHO (1998) para crianças de 10 a 12 anos de idade	134
<b>Tabela 29</b>	Escore de aminoácidos do <i>grits</i> de milho e feijão BRS Pontal, segundo as recomendações da FAO/WHO (1998) para adultos	135
<b>Tabela 30</b>	Tempo de reconstituição das farinhas pré-gelatinizadas	162
<b>Tabela 31</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 (ISA) das farinhas mistas extrudadas de milho e feijão BRS pontal, em função da rotação do parafuso ( $X_1$ ), umidade ( $X_2$ ) e % de feijão ( $X_3$ )	167
<b>Tabela 32</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 (IAA) das farinhas mistas extrudadas de milho e feijão BRS pontal, em função da rotação do parafuso ( $X_1$ ), umidade ( $X_2$ ) e % de feijão ( $X_3$ )	170
<b>Tabela 33</b>	Índice de solubilidade em água (ISA), índice de absorção de água (IAA) das farinhas cruas de milho e feijão Carioca	171
<b>Tabela 34</b>	Índice de solubilidade em água (ISA) e índice de absorção de água (IAA) das farinhas pré-cozidas de milho e feijão Carioca	172
<b>Tabela 35</b>	Viscosidade de pasta das farinhas cruas de milho e feijão Carioca	173
<b>Tabela 36</b>	Viscosidade de pasta das farinhas pré-cozidas de milho e feijão Carioca	174
<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 máxima a 25°C (V25) das farinhas mistas extrudadas de milho e feijão BRS pontal, em função da rotação do parafuso ( $X_1$ ), umidade ( $X_2$ ) e % de feijão ( $X_3$ )	177



<b>Tabela 38</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 (VMax) das farinhas mistas extrudadas de milho e feijão BRS pontal, em função da rotação do parafuso ( $X_1$ ), umidade ( $X_2$ ) e % de feijão ( $X_3$ )	180
<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 (VF) das farinhas mistas extrudadas de milho e feijão BRS pontal, em função da rotação do parafuso ( $X_1$ ), umidade ( $X_2$ ) e % de feijão ( $X_3$ )	182
<b>Tabela 40</b>	Densidade absoluta e volume total de poros nas farinhas cruas de milho e feijão Carioca	184
<b>Tabela 41</b>	Densidade absoluta e volume total de poros das farinhas pré-gelatinizadas de milho e feijão Carioca	185
<b>Tabela 42</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 ( $\rho_{abs}$ ) das farinhas mistas extrudadas de milho e feijão BRS pontal, em função da rotação do parafuso ( $X_1$ ), umidade ( $X_2$ ) e % de feijão ( $X_3$ )	186
<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 volume total de poros (TP) das farinhas mistas extrudadas de milho e feijão BRS pontal, em função da rotação do parafuso ( $X_1$ ), umidade ( $X_2$ ) e % de feijão ( $X_3$ )	190
<b>Tabela 44</b>	Pontos ótimos considerados para a elaboração de farinhas pré-gelatinizadas	192
<b>Tabela 45</b>	Médias das notas obtidas por meio da avaliação da aceitabilidade de sopas elaboradas com farinhas pré-gelatinizadas de milho e feijão Carioca	194

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b>	Alimentador acoplado ao sistema de extrusão	48
<b>Figura 2</b>	Rosca ou parafuso e sua respectiva camisa da extrusora Inbra RX50	49
<b>Figura 3</b>	Matriz dotada de quatro orifícios circulares, responsável pelo formato dos extrudados	58
<b>Figura 4</b>	Extrusor Inbra RX50, rosca simples utilizado para a produção dos extrudados expandidos de milho e feijão. À esquerda: módulo extrusor; à direita: sistema completo dotado de fluxo pneumático, cilindro secador e temperador	58
<b>Figura 5</b>	Fluxograma da obtenção dos extrudados expandidos de milho e feijão	60
<b>Figura 6</b>	Representação gráfica do resultado típico da força de compressão aplicada sobre extrudado expandido	64
<b>Figura 7</b>	Classificação granulométrica do feijão tipo Carioca e <i>grits</i> de milho	68
<b>Figura 8</b>	Corte radial de extrudados expandidos com IER>20. Tratamento 1 (333 rpm, 13% umidade, 15% feijão)	70
<b>Figura 9</b>	Corte radial de extrudados expandidos com IER>20. Tratamento 2 (378 rpm, 13% umidade, 15% feijão)	70
<b>Figura 10</b>	Corte radial de extrudados expandidos com IER>20. Tratamento 4 (378 rpm, 19% umidade, 15% feijão)	71
<b>Figura 11</b>	Corte radial de extrudados expandidos com IER>20. Tratamento 5 (333 rpm, 13% umidade, 45% feijão)	71
<b>Figura 12</b>	Corte radial de extrudados expandidos com IER>20. Tratamento 6 (378 rpm, 13% umidade, 45% feijão)	72
<b>Figura 13</b>	Corte radial de extrudados expandidos com IER>20. Tratamento 9 (355 rpm, 16% umidade, 30% feijão)	72
<b>Figura 14</b>	Corte radial de extrudados expandidos com IER>20. Tratamento 16 (393 rpm, 16% umidade, 30% feijão)	73
<b>Figura 15</b>	Corte radial de extrudados expandidos com IER>20. Tratamento 17 (355 rpm, 10,9% umidade, 30% feijão)	73
<b>Figura 16</b>	Corte radial de extrudados expandidos com IER>20. Tratamento 19 (355 rpm, 16% umidade, 4,8% feijão)	74
<b>Figura 17</b>	Extrudado expandido produzido com 30% de feijão do tipo Carioca	74

<b>Figura 18</b>	Efeito das variáveis quantitativas umidade (%) e rotação (rpm) no torque verificado durante o processamento dos extrudados expandidos a base de milho e feijão	79
<b>Figura 19</b>	Efeito das variáveis quantitativas feijão (%) e rotação (rpm) no torque verificado durante o processamento dos extrudados expandidos a base de milho e feijão	79
<b>Figura 20</b>	Efeito das variáveis quantitativas feijão (%) e umidade (%) no torque verificado durante o processamento dos extrudados expandidos a base de milho e feijão	80
<b>Figura 21</b>	Efeito das variáveis quantitativas umidade (%) e rotação (rpm) no índice de expansão radial (IER) dos extrudados expandidos a base de milho e feijão	86
<b>Figura 22</b>	Efeito das variáveis quantitativas feijão (%) e rotação (rpm) no índice de expansão radial (IER) dos extrudados expandidos a base de milho e feijão	86
<b>Figura 23</b>	Efeito das variáveis quantitativas umidade (%) e feijão (%) no índice de expansão radial (IER) dos extrudados expandidos a base de milho e feijão	87
<b>Figura 24</b>	Efeito das variáveis quantitativas umidade (%) e feijão (%) no índice de expansão volumétrico (IEV) dos extrudados expandidos a base de milho e feijão	90
<b>Figura 25</b>	Efeito das variáveis quantitativas umidade (%) e feijão (%) na densidade aparente (DAP) dos extrudados expandidos a base de milho e feijão	93
<b>Figura 26</b>	Composição centesimal do feijão cru e cozido, em base seca	113
<b>Figura 27</b>	Estrutura anatômica do grão de milho	116
<b>Figura 28</b>	<i>Grits</i> de milho convencional	122
<b>Figura 29</b>	Feijão ( <i>Phaseolus vulgaris</i> L.) BRS Pontal, do tipo Carioca	122
<b>Figura 30</b>	Teores de nutrientes e componentes alimentares nas matérias-primas cruas	126
<b>Figura 31</b>	Fluxograma para a obtenção das farinhas pré-gelatinizadas de milho e feijão	154
<b>Figura 32</b>	Elementos essenciais referente a operação de um picnômetro a gás	157
<b>Figura 33</b>	Teste realizado com as farinhas mistas extrudadas para a elaboração de sopas	161

<b>Figura 34</b>	Farinha extrudada e respectiva preparação de sopa referente ao tratamento T2 (378 rpm; 13% umidade; 15% feijão)	162
<b>Figura 35</b>	Farinha extrudada e respectiva preparação de sopa referente ao tratamento T3 (333 rpm; 19% umidade; 15% feijão)	162
<b>Figura 36</b>	Farinha extrudada e respectiva preparação de sopa referente ao tratamento T6 (378 rpm; 13% umidade; 45% feijão)	163
<b>Figura 37</b>	Farinha extrudada e respectiva preparação de sopa referente ao tratamento T9 (355 rpm; 16% umidade; 30% feijão)	163
<b>Figura 38</b>	Farinha extrudada e respectiva preparação de sopa referente ao tratamento T15 (318 rpm; 16% umidade; 30% feijão)	164
<b>Figura 39</b>	Farinha extrudada e respectiva preparação de sopa referente ao tratamento T17 (355 rpm; 10,9% umidade; 30% feijão)	164
<b>Figura 40</b>	Farinha extrudada e respectiva preparação de sopa referente ao tratamento T19 (355 rpm; 16% umidade; 4,8% feijão)	165
<b>Figura 41</b>	Distribuição granulométrica das farinhas pré-gelatinizadas escolhidas como melhores tratamentos: T2, T3, T6, T9, T15, T17 e T19	165
<b>Figura 42</b>	Efeito das variáveis quantitativas umidade (%) e feijão (%) no índice de solubilidade em água (ISA) das farinhas mistas extrudadas a base de milho e feijão	168
<b>Figura 43</b>	Curva viscoamilográfica referente a mistura crua de milho e 45% de feijão BRS Pontal.	175
<b>Figura 44</b>	Curva viscoamilográfica referente a amostra extrudada a 378 rpm, 13% umidade e 45% feijão	175
<b>Figura 45</b>	Efeito das variáveis quantitativas feijão (%) e umidade (%) na viscosidade máxima a 25°C (V25) das farinhas mistas extrudadas a base de milho e feijão	178
<b>Figura 46</b>	Efeito das variáveis quantitativas umidade (%) e rotação (rpm) na viscosidade máxima a 25°C (V25) das farinhas mistas extrudadas a base de milho e feijão	178
<b>Figura 47</b>	Efeito das variáveis quantitativas feijão (%) e umidade (%) na viscosidade máxima a 95°C (VMax) das farinhas mistas extrudadas a base de milho e feijão	181
<b>Figura 48</b>	Efeito das variáveis quantitativas feijão (%) e umidade (%) na viscosidade final (VF) das farinhas mistas extrudadas a base de milho e feijão	183

<b>Figura 49</b>	Efeito das variáveis quantitativas umidade (%) e rotação (rpm) na densidade absoluta ( $\rho_{abs}$ ) das farinhas mistas extrudadas a base de milho e feijão	187
<b>Figura 50</b>	Efeito das variáveis quantitativas rotação (%) e feijão (%) na densidade absoluta ( $\rho_{abs}$ ) das farinhas mistas extrudadas a base de milho e feijão	188
<b>Figura 51</b>	Efeito das variáveis quantitativas umidade (%) e rotação (rpm) no volume total de poros (TP) das farinhas mistas extrudadas a base de milho e feijão	191
<b>Figura 52</b>	Efeito das variáveis quantitativas feijão (%) e rotação (rpm) no volume total de poros (TP) das farinhas mistas extrudadas a base de milho e feijão	191

## SUMÁRIO

<b>RESUMO</b>	20
<b>ABSTRACT</b>	21
<b>INTRODUÇÃO</b>	22
<b>CAPÍTULO I</b>	23
<b>ESTUDO DAS CONDIÇÕES DE DESCASCAMENTO DE GRÃOS DE FEIJÃO DO TIPO CARIOCA</b>	23
<b>RESUMO</b>	24
<b>ABSTRACT</b>	25
<b>1.1 INTRODUÇÃO</b>	26
1.1.1 Objetivos	26
<b>1.2 REVISÃO DE LITERATURA</b>	27
1.2.1 Micronutrientes presentes no feijão e sua biodisponibilidade	27
1.2.2 As propriedades do feijão tipo Carioca BRS Pontal	27
1.2.3 Propriedades da casca e técnicas de descascamento	29
<b>1.3 MATERIAL E MÉTODOS</b>	30
1.3.1 Matéria-prima	30
1.3.2 Descascamento	30
1.3.3 Análise de minerais	30
1.3.4 Análise estatística	31
<b>1.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	32
1.4.1 Perfil de minerais nos feijões do tipo Carioca BRS Pontal	32
<b>1.5 CONCLUSÕES</b>	37
<b>1.6 RECOMENDAÇÕES</b>	38
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	39
<b>CAPÍTULO II</b>	42
<b>ELABORAÇÃO DE EXTRUDADOS EXPANDIDOS À BASE DE MILHO E FEIJÃO CARIOCA</b>	42
<b>RESUMO</b>	43
<b>ABSTRACT</b>	44
<b>2.1 INTRODUÇÃO</b>	45
2.1.1 Objetivos	46
<b>2.2 REVISÃO DE LITERATURA</b>	47
2.2.1 O cenário da alimentação e o consumo de <i>snacks</i>	47
2.2.2 Características da extrusão termoplástica	47

2.2.3 O efeito de alguns parâmetros de extrusão nas propriedades físicas dos alimentos	51
2.2.4 Efeito da mistura de ingredientes em produtos extrudados	52
<b>2.3 MATERIAL E MÉTODOS</b>	<b>53</b>
2.3.1 Matéria – prima	53
2.3.2 Preparo das matérias-primas	53
2.3.3 Classificação granulométrica	53
2.3.4 Delineamento Experimental	53
2.3.5 Análises estatísticas	57
2.3.6 Condicionamento da Matéria-Prima	58
2.3.7 Condições do processamento	58
2.3.8 Extrusão	59
2.3.9 Avaliação dos extrudados por imagem	62
2.3.10 Energia mecânica específica (EME), torque e vazão	62
2.3.11 Índice de expansão radial (IER)	63
2.3.12 Índice de expansão longitudinal (IEL)	63
2.3.13 Índice de expansão volumétrica (IEV)	64
2.3.14 Densidade aparente (DAP)	64
2.3.15 Textura Instrumental	64
2.3.16 A escolha dos melhores tratamentos	65
2.3.17 Aromatização dos snacks	66
2.3.18 Análise sensorial	66
2.3.18.1 Avaliação da aceitabilidade de extrudados expandidos	66
2.3.18.2 Cuidados éticos	66
2.3.18.3 Critérios de inclusão	67
<b>2.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	<b>68</b>
2.4.1 Classificação granulométrica das matérias-primas	68
2.4.2 Avaliação dos extrudados por imagem	69
2.4.3 Energia mecânica específica (EME), torque e vazão	76
2.4.4 Caracterização física dos extrudados expandidos	83
2.4.4.1 Índice de expansão radial (IER)	84
2.4.4.2 Índice de expansão longitudinal (IEL)	88
2.4.4.3 Índice de expansão volumétrico (IEV)	89
2.4.4.4 Densidade aparente (DAP) dos extrudados expandidos de milho e feijão	92
2.4.4.5 Textura instrumental dos extrudados expandidos de milho e feijão	95
2.4.5 Otimização do processo de elaboração de extrudados expandidos	98
2.4.6 Análise sensorial dos extrudados expandidos de milho e feijão Carioca	99
<b>2.5 CONCLUSÕES</b>	<b>101</b>

<b>2.6 RECOMENDAÇÕES</b>	102
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	103
<b>CAPÍTULO III</b>	108
<b>CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DAS MATÉRIAS-PRIMAS CRUAS E EXTRUDADOS DE MILHO E FEIJÃO DO TIPO CARIOCA</b>	108
<b>RESUMO</b>	109
<b>ABSTRACT</b>	110
<b>3.1 INTRODUÇÃO</b>	111
3.1.1 Objetivos	111
<b>3.2 REVISÃO DE LITERATURA</b>	112
3.2.1 Feijão ( <i>Phaseolus vulgaris</i> L.)	112
3.2.2 Milho ( <i>Zea mays</i> L.)	116
3.2.3 Anatomia e composição química do milho	116
3.2.4 O efeito do processamento nas características químicas dos alimentos	120
<b>3.3 MATERIAL E MÉTODOS</b>	123
3.3.1 Matéria – prima	123
3.3.2 Caracterização química	124
3.3.2.1 Composição centesimal	124
3.3.2.2 Minerais	124
3.3.2.3 Aminoácidos	124
3.3.3 Análise estatística	125
<b>3.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	126
3.4.1 Caracterização química das matérias-primas cruas e extrudados a base de milho e feijão do tipo Carioca	126
3.4.1.1 Composição centesimal	126
3.4.1.2 Minerais	129
3.4.1.3 Aminoácidos	132
<b>3.5 CONCLUSÕES</b>	137
<b>3.6 RECOMENDAÇÕES</b>	138
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	139
<b>CAPÍTULO IV</b>	144
<b>ELABORAÇÃO DE FARINHAS PRÉ-GELATINIZADAS DE MILHO E FEIJÃO CARIOCA PARA O PREPARO DE SOPAS</b>	144
<b>RESUMO</b>	145
<b>ASTRACT</b>	146
<b>4.1 INTRODUÇÃO</b>	147
4.1.1 Objetivos	148



<b>4.2 REVISÃO DE LITERATURA</b>	149
4.2.1 A extrusão e o desenvolvimento de farinhas	149
4.2.2 Sopas	150
4.2.3 Propriedades funcionais dos extrudados	151
<b>4.3 MATERIAL E MÉTODOS</b>	154
4.3.1 Matéria – prima	154
4.3.2 Condições do processo para a elaboração de farinhas pré-gelatinizadas	154
4.3.3 Índice de solubilidade em água (ISA) e índice de absorção de água (IAA)	156
4.3.4 Viscosidade de pasta	157
4.3.5 Densidade absoluta ( $\rho_{abs}$ ) e volume total de poros (TP)	157
4.3.6 Teste utilizando as farinhas extrudadas para a elaboração de sopas	159
4.3.6.1 Teste de moagem dos extrudados para obtenção das farinhas	159
4.3.6.2 Reconstituição e comportamento das farinhas	159
4.3.7 Distribuição granulométrica	159
4.3.8 Análise sensorial	160
4.3.8.1 Preparo da sopa	160
4.3.8.2 Avaliação da aceitabilidade de sopas de milho e feijão	160
4.3.8.3 Cuidados éticos	160
4.3.8.4 Critérios de inclusão	161
<b>4.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	162
4.4.1 Resultados do teste de reconstituição das farinhas extrudadas para a elaboração de sopas	162
4.4.2 Tamanho de partículas das farinhas mistas extrudadas	166
4.4.3 Índice de solubilidade em água (ISA)	167
4.4.4 Índice de absorção de água (IAA)	170
4.4.5 Viscosidade das farinhas extrudadas	174
4.4.5.1 Viscosidade máxima inicial a 25°C (V25)	177
4.4.5.2 Viscosidade máxima a 95°C (VMax)	180
4.4.5.3 Viscosidade final (VF)	182
4.4.6 Densidade absoluta ( $\rho_{abs}$ ) e volume total de poros (TP)	184
4.4.7 Otimização do processo para a elaboração de farinhas pré-gelatinizadas	193
4.4.8 Análise sensorial de sopas elaboradas com farinhas extrudadas de milho e feijão Carioca	194
<b>4.5 CONCLUSÕES</b>	196
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	197
<b>CONCLUSÕES FINAIS</b>	<b>202</b>
<b>ANEXOS</b>	203

<b>ANEXO 1</b>	Ficha para a avaliação da aceitabilidade de <i>snacks</i>	204
<b>ANEXO 2</b>	Estudo sobre os produtos	205
<b>ANEXO 3</b>	Parecer do Comitê de Ética em Pesquisa do CEUNES	206
<b>ANEXO 4</b>	Termo de Consentimento Livre e Esclarecido	207
<b>ANEXO 5</b>	Ficha técnica de preparo das sopas	209
<b>ANEXO 6</b>	Ficha para a avaliação da aceitabilidade de sopas	210
<b>ANEXO 7</b>	Análise de variância do modelo quadrático aplicado para a variável resposta Índice de Expansão Radial (IER)	211
<b>ANEXO 8</b>	Análise de variância do modelo quadrático aplicado para a variável resposta Índice de Expansão Longitudinal (IEL)	212
<b>ANEXO 9</b>	Análise de variância do modelo quadrático aplicado para a variável resposta Índice de Expansão Volumétrico (IEV)	213
<b>ANEXO 10</b>	Análise de variância do modelo quadrático aplicado para a variável resposta Densidade aparente (DAP)	214
<b>ANEXO 11</b>	Análise de variância do modelo quadrático aplicado para a variável resposta Vazão	215
<b>ANEXO 12</b>	Análise de variância do modelo quadrático aplicado para a variável resposta Torque	216
<b>ANEXO 13</b>	Análise de variância do modelo quadrático aplicado para a variável resposta Energia mecânica específica (EME)	217
<b>ANEXO 14</b>	Análise de variância do modelo quadrático aplicado para a variável resposta Índice de Solubilidade em Água (ISA)	218
<b>ANEXO 15</b>	Análise de variância do modelo quadrático aplicado para a variável resposta Índice de Absorção de Água (IAA)	219
<b>ANEXO 16</b>	Análise de variância do modelo quadrático aplicado para a variável resposta Viscosidade máxima a 25°C (V25)	220
<b>ANEXO 17</b>	Análise de variância do modelo quadrático aplicado para a variável resposta Viscosidade máxima a 95°C (VMax)	221
<b>ANEXO 18</b>	Análise de variância do modelo quadrático aplicado para a variável resposta Viscosidade Final (VF)	222
<b>ANEXO 19</b>	Análise de variância do modelo quadrático aplicado para a variável resposta Densidade absoluta ( $\rho_{abs}$ )	223
<b>ANEXO 20</b>	Análise de variância do modelo quadrático aplicado para a variável resposta Volume total de poros (TP)	224
<b>ANEXO 21</b>	Análise de variância para a composição centesimal	225
<b>ANEXO 22</b>	Análise de variância para minerais	226
<b>ANEXO 23</b>	Análise de variância para textura instrumental	227
<b>ANEXO 24</b>	Análise de variância para avaliação sensorial de <i>snacks</i>	228
<b>ANEXO 25</b>	Análise de variância para avaliação sensorial de sopas	229
<b>ANEXO 26</b>	Resultados gráficos dos pontos ótimos para a elaboração de <i>snacks</i>	230



## RESUMO

SILVA, Erika Madeira Moreira da. **Desenvolvimento e caracterização físico-química de extrudados de milho e feijão**. 2010. 230 p. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos). Instituto de Tecnologia. Departamento de Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2010.

O objetivo desse trabalho foi elaborar extrudados expandidos e farinhas pré-gelatinizadas com o intuito de obter *snacks* e sopas, como alternativas alimentares de rápido consumo e preparo com maiores teores de proteínas e demais nutrientes. Como forma de complementar o perfil nutricional foi utilizada a variedade de feijão do tipo Carioca, BRS Pontal, conhecida como promissora nos programas de melhoramento convencional, por conter maiores teores de ferro, zinco e serem mais resistentes à seca e ambientes adversos. Esse trabalho contemplou quatro capítulos, dentre eles, o primeiro referente a avaliação de minerais em diferentes tratamentos de maceração e secagem de grãos de feijão com o objetivo de promover o descascamento, o segundo sobre a elaboração de *snacks*, o terceiro sobre a elaboração de sopas e por último, o quarto referente a caracterização nutricional das matérias-primas cruas e misturas extrudadas. Pôde-se verificar que, o descascamento dos grãos de feijão do tipo Carioca foi eficaz, havendo também redução no tempo de maceração, não influenciando de forma significativa a redução de minerais, em especial ferro e zinco. Foi possível então elaborar tanto *snacks* quanto sopas contendo até 45% de feijão. As características desses produtos se assemelharam aos comercialmente disponíveis. As matérias-primas utilizadas (*grits* de milho e feijão Carioca BRS Pontal) apresentaram perfil nutricional satisfatório para a elaboração dos extrudados. O processamento por extrusão termoplástica não foi capaz de alterar o valor nutritivo tanto dos *snacks* quanto das sopas. A utilização do feijão BRS Pontal foi positiva, como complementação protéica do produto final, aumentando os teores de ferro, zinco, manganês, cálcio, cobre e aminoácidos essenciais, em especial a contribuição com o aminoácido lisina, deficiente na composição aminoacídica do milho.

**Palavras-chave:** Extrudados, Feijão, Minerais, Nutrição

## ABSTRACT

SILVA, Erika Madeira Moreira da. **Development and physico-chemical characterization of maize and bean extrudates**. 2010. 230 p. Thesis (Doctor Science – Food Science and Technology). Institute of Technology. Food Technology Department, Rural Federal University of Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2010.

The aim of this study was to develop extruded expanded and pre-gel flours in order to produce snacks and soups, as alternatives to provide ready to eat products with higher contents of protein and other nutrients. As a way of complementing the nutrient profile, Carioca type bean was used to obtain extruded products, since it is known as promising in biofortification programs, because it contains higher levels of iron, zinc, and are more resistant to drought and extreme conditions of environment. This paper encompasses four chapters, among them, one relating to the peeling of the beans, the second about preparing of snacks, the third about the elaboration of soups and finally, the fourth relating to nutritional characterization of raw materials and extruded blends. It was verified that peeling of Carioca type beans was effective and there was also a reduction in soaking time. It was observed that these grains did not have a significantly loss of minerals, especially iron and zinc. It was concluded that the development of both soups as snacks were positive, including samples containing up to 45% of beans. The characteristics of these products were similar to commercially available. The used raw materials (corn grits and Carioca type beans, cultivar BRS Pontal) had satisfactory nutritional profile for the preparation of extruded products. The processing by extrusion cooking was unable to affect significantly the nutritional value of snacks and soups. The using of BRS Pontal variety was positive, complementing levels of proteins (amount and quality), increasing levels of iron, zinc, manganese, calcium, copper and essential aminoacids, especially lysine, of the final product.

**Keywords:** Extruded, Bean, Minerals, Nutrition

## INTRODUÇÃO

O feijão comum (*Phaseolus vulgaris*, L.) é uma das principais fontes de proteína, para a população de baixa renda, sendo considerado alimento básico da dieta brasileira, tanto em áreas urbanas quanto rurais. Embora possua boa distribuição de minerais essenciais, em especial na casca, sua biodisponibilidade é menor que a de produtos de origem animal, em virtude da presença de fatores antinutricionais, como por exemplo, os fitatos. Além disso, a presença de cascas influencia negativamente na expansão de extrudados e, no caso de alimentos solúveis, a presença dessas partículas pode provocar rejeição sensorial. O grão do tipo Carioca ocupa mais de 85% do mercado nacional, enquanto que o preto corresponde a 10% das vendas. Além disso, o feijão Carioca é mais barato e é conhecido por ser resistente a certos tipos de doenças, melhor qualidade (textura, sabor, rendimento, volume, cor, etc) e com investimentos em programas de melhoramento.

Entre as cultivares, o BRS Pontal é um feijão do tipo Carioca, de grande aceitação no mercado, e que está se destacando nos programas de biofortificação, por ser considerado promissor, no âmbito do melhoramento convencional, objetivando aumentar os teores de ferro e zinco, assim como a resistência à seca, constituindo um fator positivo quanto à produtividade, principalmente no ambiente nordestino.

O consumo de alimentos industrializados e processados como os *snacks* (salgadinhos) é crescente na alimentação dos brasileiros. Porém, estes *snacks* comerciais possuem características nutricionais basicamente energéticas, apresentando conseqüentemente elevado valor calórico pela presença de uma base amilácea, como o milho, e ácidos graxos de cadeia saturada, como a gordura vegetal hidrogenada utilizada como veículo para o aromatizante.

Um produto melhorado nutricionalmente poderá talvez ser lançado aos consumidores modernos devido a variedade e novidade que propõe. Assim, o desenvolvimento de *snacks* de misturas de cereais e leguminosas passa a ser uma proposta para melhorar a qualidade desse tipo de produto que representa hábito de consumo, com a possibilidade de veicular outros tipos de nutrientes. O feijão é geralmente adquirido na forma de grãos secos e crus, demandando longo tempo para o preparo, o que o torna pouco competitivo em relação aos produtos semiprontos ou prontos para o consumo. Esta leguminosa faz parte do cardápio de milhões de brasileiros. Entretanto, pode ser verificado que seu consumo tenha sofrido uma redução devido a consequência da rotina alimentar de muitos trabalhadores, do avanço da inserção da mulher no mercado de trabalho e, com isso, o tempo reduzido para a dedicação a alimentação caseira.

Com o avanço da tecnologia de alimentos, o aumento da oferta de produtos rápidos para o consumo nas prateleiras e o acesso à informações, o consumidor passa a elevar o seu nível de exigência quanto a qualidade sensorial e nutricional dos produtos adquiridos. Com isso, se faz necessário ofertar produtos com elevado padrão de qualidade associado a baixo custo de aquisição.

As farinhas pré-cozidas possuem aplicação na elaboração de produtos semiprontos como sopas e caldos, que têm como uma de suas principais características a praticidade e rapidez de preparo, podendo também ser utilizadas como ingredientes em diversas formulações sendo alternativas para enriquecimento, haja vista sua boa aceitação junto à população.

Nesse sentido esse trabalho objetivou preparar e utilizar matérias-primas de qualidade, tais como o milho e o feijão do tipo Carioca, para a elaboração de alimentos usualmente consumidos, de rápido preparo e consumo, possuindo qualidade nutricional superior quando comparados com os adquiridos comercialmente. Além disso, estimular o consumo de grãos do tipo Carioca em demais regiões do país, utilizando uma variedade promissora em programas de melhoramento convencional.

## **CAPÍTULO I**

### **ESTUDO DAS CONDIÇÕES DE DESCASCAMENTO DE GRÃOS DE FEIJÃO DO TIPO CARIOCA**

## RESUMO

O feijão comum (*Phaseolus vulgaris*, L.) é uma das principais fontes de proteína, para a população de baixa renda, sendo considerado alimento básico da dieta brasileira, tanto em áreas urbanas quanto rurais. O grão de feijão do tipo Carioca ocupa mais de 85 % do mercado nacional, enquanto que o preto corresponde a 10 % das vendas. O feijão BRS Pontal é reconhecido dentre os programas de melhoramento convencional por conter maiores teores de ferro e zinco. Além disso, o feijão é naturalmente rico em alguns minerais essenciais ao organismo. Porém, a presença de fibras das cascas, em matérias-primas que serão submetidas posteriormente a algum tipo de processamento, como a extrusão termoplástica, promove o decréscimo da expansão para quando se deseja obter extrudados expandidos aerados e crocantes. Sendo assim, para atender a esta característica de crocância, é necessária a remoção das cascas sem que haja perda significativa de minerais, em especial ferro e zinco. Nesse sentido, o objetivo do presente trabalho foi avaliar os teores dos minerais: ferro, zinco, cálcio, manganês, magnésio e potássio em grãos de feijão BRS Pontal do tipo Carioca, submetidos a diferentes tratamentos de maceração e secagem, na tentativa também de reduzir o tempo gasto nesta técnica. Os grãos de feijão foram selecionados, lavados em água corrente e drenados. Estes foram imersos em água (4 vezes o volume de grãos) e mantidos imersos durante diferentes tempos (4 a 17 horas) a diferentes temperaturas da água de maceração (25°C a 50°C). Após, os grãos foram secos em estufa com circulação de ar, submetidos a diferentes combinações de tempo (1 hora e 1 hora e meia) e temperatura (100 e 110°C). Após, estes foram mantidos até temperatura ambiente e descascados. Os grãos foram então submetidos a avaliação de minerais. Foi verificado que a redução no tempo de maceração (4 horas) foi capaz de remover significativamente as cascas de grãos submetidos a secagem a 100°C por 1 hora, em água de maceração a 40°C. Foi observado que o descascamento dos grãos de feijão foi eficaz não sendo evidenciada perda significativa durante o processamento, dos minerais analisados.

**Palavras-chave:** Descascamento, BRS Pontal, Maceração.



## ABSTRACT

The common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) is one of the main source of protein for low-income population and is considered a staple food of the Brazilian diet, both in urban and rural areas. The Carioca type bean occupies more than 85% of the national market, while black corresponds to 10% of sales. BRS Pontal cultivar is recognized, among biofortification programs to contain higher levels of iron and zinc. In addition, beans are naturally rich in some essential minerals important to some functions of the human body. However, the presence of fibers (presented in hulls) promotes the decrease of the expansion when it is required to obtain snacks (extruded expanded). Therefore, to attempt good sensory characteristic, it is necessary to remove the hulls without any significant loss of minerals, especially iron and zinc. In this sense, the objective of this study was to evaluate the contents of the minerals such as iron, zinc, calcium, manganese, magnesium and potassium in BRS Pontal Carioca type beans, submitted to different treatments of soaking and drying, also in an attempt to reduce time spent in this technique. Beans were selected, washed in potable water and drained. These were immersed in water (4 times the volume of grains) and kept immersed for different times (4-17 hours). Beans were dried in an air-forced drier, at different combinations of time (1 hour and 1,5 hours) and temperatures (100 and 110 ° C). After, they were kept until room temperature and peeled. The grains were then subjected to evaluation of minerals. It was found that the reduction in soaking time (4 hours) was able to remove significantly the hulls of grains submitted to drying at 100 ° C for 1 hour in soaking water at 40 ° C. The mineral contents did not suffer significant reductions indicating that the peeling process applied was highly effective.

**Keywords:** Peeling, BRS Pontal, Soaking.

## 1.1 INTRODUÇÃO

O feijão comum (*Phaseolus vulgaris*, L.) é uma das principais fontes de proteína, para a população de baixa renda, sendo considerado alimento básico da dieta brasileira, tanto em áreas urbanas quanto rurais. Embora possua boa distribuição de minerais essenciais, em especial na casca, sua biodisponibilidade é menor que a de produtos de origem animal, em virtude da presença de fatores antinutricionais, como por exemplo, os fitatos. O feijão comum possui alguns atributos indesejáveis, os quais devem ser removidos ou eliminados para sua efetiva utilização. O ácido fítico, por exemplo, pode se complexar com proteínas, minerais bivalentes e amido, podendo comprometer a biodisponibilidade desses nutrientes. Essa insolubilidade constitui a principal razão da reduzida biodisponibilidade desse alimento.

O grão do tipo Carioca ocupa mais de 85% do mercado nacional, enquanto que o preto corresponde a 10% das vendas. Além disso, o feijão Carioca é mais barato e é conhecido por ser resistente a certos tipos de doenças, melhor qualidade (textura, sabor, rendimento, volume, cor, etc) e com investimentos em programas de melhoramento agrônômico convencional.

Entre os seus cultivares, o BRS Pontal é um feijão grão do tipo Carioca, de grande aceitação no mercado, e que está se destacando nos programas de biofortificação, por ser considerado promissor, no âmbito do melhoramento convencional, objetivando aumentar os teores de ferro e zinco, assim como a resistência à seca, constituindo um fator positivo quanto à produtividade, principalmente no ambiente nordestino. Para que a biodisponibilidade desses minerais possa ser mais efetiva, uma das opções é a aplicação de calor, através de tratamentos térmicos como a extrusão termoplástica. Porém, a presença de fibras em matérias-primas que serão submetidas ao processamento por extrusão termoplástica, promove o decréscimo da expansão para quando se deseja obter extrudados expandidos do tipo *snacks*. A expansão está diretamente relacionada com a crocância, um atributo sensorial exigido pelos consumidores para estes produtos em questão. Sendo assim, para atender a esta característica sensorial, é necessária a remoção das mesmas.

Assim, baseado em informações obtidas a partir de testes preliminares realizados, sugere-se que o feijão deva ser submetido a um processo de hidratação (maceração) seguido de uma secagem e posterior descascamento mecânico. No entanto, a remoção da casca assim como os tratamentos de hidratação e secagem podem talvez, reduzir os teores dos minerais presentes no feijão e conseqüentemente, no produto final. Além disto, a maior parte dos trabalhos utiliza tempos de maceração muito longos (em torno de 12-16 horas), o que torna o trabalho oneroso e desgastante.

### 1.1.1 Objetivos

- Avaliar os teores dos minerais: ferro, zinco, cálcio, manganês, magnésio e potássio em grãos de feijão BRS Pontal do tipo Carioca, submetidos a diferentes tratamentos de maceração e secagem, na tentativa de reduzir o tempo gasto nesta técnica.

## 1.2 REVISÃO DE LITERATURA

### 1.2.1 Micronutrientes presentes no feijão e sua biodisponibilidade

Elementos minerais presentes em baixas concentrações são denominados de elementos-traço, microelementos ou microminerais; sendo considerados essenciais e benéficos ao organismo (CARPENTER e MAHONEY, 1992).

Algumas variações na composição centesimal, aminoácidos e minerais dependem da cultivar a ser analisada, do tipo de solo, do clima e demais condições ambientais.

De acordo com a Tabela 1 pode ser verificada a composição dos principais minerais presentes em grãos de feijão cru do tipo Carioca, segundo diferentes estudos.

**Tabela 1.** Composição em minerais para grãos de feijão cru com casca, do tipo Carioca

Minerais	mg/100 g	Referência
Fósforo	340,1	Maldonado e Sammám (2000)
Potássio	1437,0	Oliveira et al., (2008)
Cálcio	98,0	Oliveira et al., (2008)
Magnésio	265,0	Oliveira et al., (2008)
Ferro	6,0	Corrêa, (2007)
Zinco	3,6	Corrêa, (2007)
Manganês	1,0	Oliveira et al., (2008)
Cobre	1,0	Oliveira et al., (2008)

Samman, em 1999 publicou um estudo onde avaliou a composição de algumas variedades de feijão e encontrou diversos valores para minerais, a seguir: cobre (0,8 a 1,2 mg/100g); ferro (9 a 18 mg/100g); zinco (2,5 a 4,0 mg/100g) e fósforo (295 a 542 mg/100g). Concluiu então que, conforme a região, clima, solo e cultivar, diferenças importantes na composição química do feijão são encontradas.

É importante complementar que, de acordo com a ingestão dietética recomendada (IOM, 2004), adultos do sexo masculino devem consumir em torno de 8 mg de ferro/dia (podendo chegar a 15 mg/dia para mulheres adultas); 11mg/dia de zinco; 4,7 g/dia de potássio; 1000 mg/dia de cálcio; 420 mg/dia de magnésio; 2,3 mg/dia de manganês; 900µg/dia de cobre e 700 mg/dia de fósforo.

### 1.2.2 As propriedades do feijão tipo Carioca BRS Pontal

No Brasil, a preferência tradicional de consumo de feijão tem sido por grãos do tipo comercial Carioca. Sendo assim, os programas brasileiros para melhoramento do feijoeiro têm dado maior ênfase à obtenção de cultivares deste grupo pela grande demanda do mercado (ZIMMERMANN et al., 1996).

No Brasil, na década de 90, foram colhidas em média, 3,5 milhões de toneladas, das quais 2,7 milhões são de feijão comum, com 1,6 milhões do tipo Carioca (FERREIRA et al., 2002).

Nos anos de 2006 e 2007, pesquisadores da Embrapa Arroz e Feijão analisaram diferentes cultivares de feijão, sendo 60% provenientes do Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) e 40 % do banco de germoplasma da Embrapa Arroz e Feijão. Dentre esses, 11 % das 457 amostras de feijão apresentaram níveis superiores de ferro, em uma faixa de 10 a 13 mg/100g e; 2,1 % das amostras avaliadas apresentaram níveis superiores de zinco, na faixa de 5 a 5,8 mg/100g. Dos 457 acessos avaliados, foram selecionados 81 genótipos promissores para ferro e zinco mais 40 genótipos resistentes a seca. Em 2006, 121 materiais (81 selecionados com base nos melhores teores de ferro e zinco e 40 em função da tolerância à seca) foram plantados em campo, com e sem estresse hídrico, nos municípios de Santo Antônio de Goiás e Porangatu, sendo avaliados os teores desses minerais após colheita de 20 vagens da parte média da planta (para evitar contaminação) (DEL PELOSO e BASSINELLO, 2007).

As cultivares analisadas apresentaram níveis de ferro entre 76 e 88 mg/kg (cultivo irrigado) e 79 a 95 mg/kg (cultivo sob estresse). Para zinco, esses níveis situaram-se entre 39 a 43 mg/kg (cultivo irrigado) e 45 a 53 mg/kg (cultivo sob estresse) (DEL PELOSO e BASSINELLO, 2007). A literatura expressa que, para cultivares convencionais, os níveis de ferro são de 80 mg/kg e zinco de 29 mg/kg (TACO, 2006). Para o Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA, 2001), os níveis de ferro são de 50 mg/kg e zinco de 36 mg/kg, para sementes de feijão convencional.

A idéia futura desses pesquisadores é colocar no mercado cultivares de feijão que além de terem grãos com altos teores de ferro e zinco, sejam também produtivas, adaptadas às regiões produtoras do Nordeste e tolerantes aos principais fatores externos referentes ao cultivo.

No Brasil, a preferência tradicional de consumo tem sido por grãos do tipo comercial Carioca, o que justifica a intensificação de esforços no sentido de desenvolver linhagens superiores com este tipo de grão, que associem o maior número possível de características que expressem o fenótipo desejável. O desenvolvimento de novas cultivares com maior potencial produtivo e com maior resistência a doenças possibilita maior lucratividade para o produtor, menor impacto ambiental do sistema de produção, associado a um menor preço do produto para o consumidor final, o que contribui para consolidação do feijoeiro comum como opção consistente de exploração agrícola (DEL PELOSO et al., 2005).

O lançamento da cultivar de feijoeiro comum BRS Pontal vem atender a uma demanda por cultivares com tipo de grão Carioca com maior resistência à seca, alto potencial produtivo (15% de superioridade média em relação às cultivares Pérola e Iapar 81) e padrão de grão comercial tipo 'Pérola'. Além disso, apresenta menor tempo de cocção, perda de sólidos solúveis e maior teor de proteína bruta quando comparado aos cultivares Pérola e Iapar 81 (DEL PELOSO et al., 2005).

Sendo assim, o BRS Pontal é um feijão de grande aceitação no mercado, e que está se destacando nos programas de biofortificação, por ser promissor quanto aos objetivos que se desejam alcançar.

### 1.2.3 Propriedades da casca e técnicas de descascamento

A casca do feijão (tegumento) possui níveis significativos de minerais, porém, é considerada uma grande barreira ao cozimento, podendo representar até 75% do tempo total gasto. Sendo assim é responsável pela dureza do grão e, conseqüentemente, pelo grande tempo de cocção, além de que, apresenta fatores antinutricionais. Apesar de rica em fibras importantes para o peristaltismo intestinal e para a redução do colesterol sanguíneo, a casca influi negativamente nas características tecnológicas de extrudados expandidos.

Portanto, as condições de processo durante a manipulação são importantes a fim de remover ou reduzir certos compostos indesejáveis. Na tentativa de aumentar a utilização de leguminosas, uma ampla variedade de processos e técnicas tem sido empregada tais como a maceração, fervura, autoclave, radiação, cozimento, descascamento, germinação, fermentação, suplementação com enzimas e recentemente o processo de extrusão termoplástica (ALONSO et al., 2000).

O descascamento dos grãos de feijão tem sido efetivo na redução de alguns compostos antinutricionais. Ghavidel e Prakash (2007) utilizaram como técnica de descascamento, um período de maceração de 12 horas (água no total de 4-5 vezes o volume de feijão) a uma temperatura em ambiente em torno de 22-25°C. Ao final deste período, a água foi descartada e as sementes submetidas a germinação por mais 24 horas. A seguir, as sementes foram secas em estufa com circulação de ar a 50°C por 16-18 horas. Passado este período, foram submetidas ao descascamento em descascador mecânico.

El-Hady e Habiba (2003), também avaliando o efeito da maceração seguido do descascamento de grãos de feijão concluíram que, essa técnica permitiu aumentar a digestibilidade *in vitro* do amido e da proteína, possivelmente atribuído ao efeito da remoção da casca o que reduz os níveis de antinutrientes. Além disso, nas amostras de feijão sem casca houve uma redução de até 52% de ácido fítico, comprovando mais uma vez a eficácia do descascamento sobre fatores antinutricionais.

O tempo de maceração dos grãos de feijão na avaliação de sua capacidade de absorção de água, indicado pelas normas de Registro Nacional de Cultivares de Feijoeiro para a determinação do Valor de Cultivo e Uso (VCU), segundo o SNPC-MAPA (Portaria n.º 294/98 - Anexo IV), é de 16 horas, e utiliza a relação de uma parte de grãos para quatro partes de água, a temperatura ambiente (GARCIA-VELA e STANLEY, 1989). Entretanto, há indicativos de que o tempo de permanência dos grãos sob maceração possa ser reduzido para 4 horas (COSTA et al., 2001; ESTEVES et al., 2002).

## 1.3 MATERIAL E MÉTODOS

### 1.3.1 Matéria-prima

Para este estudo foram utilizados grãos de feijão BRS Pontal, do tipo Carioca, cedidos pela Embrapa Arroz e Feijão - Santo Antônio de Goiás - GO.

### 1.3.2 Descascamento

Os experimentos de descascamento dos grãos de feijão foram conduzidos na Embrapa Agroindústria de Alimentos, no laboratório de leguminosas, em duplicata.

Os grãos foram selecionados, lavados em água corrente e drenados. Estes foram imersos em água (4 vezes o volume de grãos), de acordo com o sugerido por Garcia-Vela e Stanley (1989) e mantidos imersos durante diferentes tempos (Tabela 1). Após, a água foi drenada e os grãos foram secos em estufa com circulação de ar (*Fabbe-Primar*, São Paulo, SP, Brasil), submetidos a diferentes combinações de tempo e temperatura (Tabela 1). Após a secagem, estes grãos foram dispostos em esteiras de lona até atingirem temperatura ambiente. Em seguida, foram submetidos ao descascamento mecânico em um descascador de discos que promove o descascamento pela fricção dos grãos entre discos de pedra. As cascas restantes foram separadas dos grãos em um agitador de peneiras. Os grãos descascados foram recolhidos e ensacados em embalagens de plásticas contendo aproximadamente 1 kg de feijão, vedados e mantidos sob congelamento a -20°C até o momento das análises.

Por meio da Tabela 2 podem ser verificados os tratamentos de maceração e secagem dos grãos de feijão.

**Tabela 2.** Tratamentos de maceração e secagem para remoção das cascas de feijão BRS Pontal

Tratamento	Maceração		Secagem		Observação
	Tempo (h)	Temperatura da água (°C)	Tempo (h)	Temperatura na estufa (°C)	
1	17	25	1	100	
2	6	25	1	100	
3	4	40	1	110	
4	4	40	1	100	
5	4	50	1,5	100	Grãos queimados após secagem

### 1.3.3 Análise de minerais

Amostras de feijão *in natura* com casca e amostras de feijão descascado de cada tratamento foram processadas em moinho de bolas (RETSCH model MM200, Retsch GmbH & Co. KG, Haan, Germany). Tanto a determinação quanto a quantificação dos minerais cálcio, ferro, magnésio, manganês, potássio, zinco e cobre foram realizadas de acordo com a metodologia da AOAC (2005) através da digestão do material com ácido nítrico e ácido perclórico (HNO<sub>3</sub>:HClO<sub>4</sub>) em bloco digestor (método 975.03, item 3.2.05). A quantificação

dos minerais foi realizada em espectrofotômetro de emissão de plasma ICP *Spectroflama flame*, de acordo com a metodologia da AOAC (2005) – método 990.08, item 9.2.39.

#### **1.3.4 Análise estatística**

As médias dos resultados obtidos foram submetidas a análise de comparação múltipla por meio do teste Tukey a 5% de probabilidade por meio do programa *STATISTICA* versão 6.0 (STATSOFT INC., 2001).

## **1.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **1.4.1 Perfil de minerais nos feijões do tipo Carioca BRS Pontal**

Os teores de minerais no feijão com casca e nos feijões descascados após diferentes tratamentos de maceração e secagem podem ser observados na Tabela 3. A quantificação dos minerais presentes apenas nas cascas é apresentada na Tabela 4.



**Tabela 3.** Médias dos minerais\* (mg/100g) em feijão BRS Pontal com casca e descascados após os diferentes tratamentos de maceração e secagem (base seca)

<b>Tratamentos / Minerais</b>	<b>Ferro</b>	<b>Zinco</b>	<b>Cálcio</b>	<b>Magnésio</b>	<b>Manganês</b>	<b>Potássio</b>
BRS Pontal c/ casca	7,71 <sup>c</sup>	3,55 <sup>ab</sup>	182,35 <sup>b</sup>	-	1,74 <sup>a</sup>	-
T1	6,80 <sup>a</sup>	3,82 <sup>b</sup>	59,51 <sup>a</sup>	170,63 <sup>a</sup>	1,89 <sup>ab</sup>	458,84 <sup>a</sup>
T2	7,07 <sup>ab</sup>	3,61 <sup>ab</sup>	61,25 <sup>a</sup>	179,61 <sup>a</sup>	2,05 <sup>b</sup>	468,95 <sup>a</sup>
T3	6,81 <sup>a</sup>	3,54 <sup>ab</sup>	57,69 <sup>a</sup>	165,39 <sup>a</sup>	1,96 <sup>b</sup>	1380,3 <sup>b</sup>
T4	6,58 <sup>a</sup>	3,41 <sup>a</sup>	59,14 <sup>a</sup>	168,05 <sup>a</sup>	1,98 <sup>b</sup>	1365,01 <sup>b</sup>
T5	6,95 <sup>ab</sup>	3,62 <sup>ab</sup>	62,60 <sup>a</sup>	173,54 <sup>a</sup>	2,06 <sup>b</sup>	1032,39 <sup>ab</sup>
D.M.S.	0,75	0,36	15,35	22,82	0,24	613,14
C.V. (%)	5,52	4,05	59,33	3,89	6,60	47,38

\*Médias na mesma coluna, com mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. D.M.S. (diferença mínima significativa) e CV (coeficiente de variação).

**Tabela 4.** Teores de minerais presentes nas cascas de feijão BRS Pontal (base seca)

Minerais	Ferro (mg/100g)	Zinco (mg/100g)	Cálcio (mg/100g)	Manganês (mg/100g)	Cobre (mg/100g)
Cascas de feijão BRS Pontal	16,41 ± 0,26	11,61 ± 0,06	813,57 ± 4,59	1,18 ± 0,02	1,23 ± 0,01

O teor de ferro na amostra com casca foi maior ( $p < 0,05$ ) quando comparado aos demais tratamentos de maceração-secagem (Tabela 3). Não foi evidenciada diferença significativa no teor de ferro dentre os tratamentos submetidos ao descascamento ( $p > 0,05$ ) que variou entre 6,58 e 7,07 mg/100g. Dessa forma, pôde-se evidenciar que, o descascamento reduziu o teor desse mineral nos grãos de feijão, entretanto, os diferentes tratamentos de maceração e secagem não foram capazes de alterar o conteúdo de ferro, de forma significativa, dentre os grãos submetidos ao descascamento.

O teor de zinco oscilou de acordo com o tipo de tratamento aplicado. Foi observado que, o maior tempo de maceração (17 horas) foi capaz de aumentar o teor desse mineral no endosperma. Esse fato pode ser talvez, pela migração desse nutriente da casca para o grão. Os valores obtidos nos grãos com casca não foram significativamente diferentes ( $p > 0,05$ ) quando comparados aos demais tratamentos de maceração-secagem que variaram entre 3,41 e 3,82 mg/100g.

O teor de cálcio foi significativamente maior ( $p < 0,05$ ) nos grãos de feijão com casca. Isso pode ser explicado devido a maior concentração deste mineral nessa estrutura (Tabela 3), sendo que, sua biodisponibilidade pode ser questionável. Não foi evidenciada diferença significativa dentre as amostras submetidas ao descascamento. Mesmo assim, cabe ressaltar que grãos de feijão são usualmente são consumidos em grandes refeições como almoço e jantar onde se deve preconizar a ingestão de alimentos fontes de ferro.

Apesar do teor de magnésio nos grãos com casca não ter sido analisado, nota-se que, dentre os tratamentos de maceração-secagem não foi evidenciada diferença significativa ( $p > 0,05$ ) sugerindo que, a aplicação de diferentes combinações de tempo e temperatura não foram capazes de alterar de forma significativa os teores desse nutriente, em grãos submetidos ao descascamento. Os teores para este mineral variaram entre 165,39 e 179,61 mg/100 g, dentre os tratamentos.

O teor de manganês foi significativamente maior nos tratamentos submetidos ao descascamento (exceto tratamento 1), quando comparado com os grãos com casca. Porém, dentre os tratamentos submetidos a maceração seguida de secagem, não foi evidenciada diferença significativa ( $p > 0,05$ ). Sugere-se que, a redução da umidade durante a secagem dos grãos pode ter provocado o aumento do teor desse mineral, concentrando-o no endosperma. Ainda assim, nota-se que, a casca não apresenta um teor elevado de manganês, quando comparado com grãos com casca e descascados sugerindo que, este mineral possa ter sua maior concentração naturalmente no endosperma.

O teor de potássio verificado nos tratamentos 3, 4 e 5 foi significativamente maior quando comparados aos demais tratamentos. Isto sugere que, o menor tempo de maceração (4 horas) influenciou aumentando os teores deste mineral, mesmo com temperaturas mais elevadas (40°C) e que, este se apresentou solúvel quando submetido na água de maceração por tempo prolongado.

Houve uma redução de 15 % no teor de ferro e de 70 % no teor de cálcio, quando os grãos foram submetidos ao descascamento (referente ao tratamento 4). Uma

redução nos níveis de cálcio (61 %) e ferro (17 %) após o descascamento também foi observada por El-Hady e Habiba (2003), utilizando tempo de maceração de 16 horas e secagem a 50° C por 24 horas. Esses autores verificaram que, os grãos sem cascas apresentaram maiores teores de fósforo quando comparados a grãos apenas germinados. Além disso, houve um acréscimo de 12 % de proteínas (28,4 %); 27% de lipídios (1,48 %) e 32% de tiamina (0,85 %) e um decréscimo de 5% no teor de cinzas (3,47 %) nos grãos descascados, quando comparados aos grãos de feijão com casca. Essas informações permitem sugerir que a redução no tempo de maceração executada neste estudo surtiu resultados semelhantes à outros trabalhos, que utilizaram tempos prolongados de imersão e secagem dos grãos

Oliveira et al. (2001) concluíram que o processamento doméstico de preparo do feijão com maceração prévia ao cozimento e descarte da água não absorvida pelos grãos promoveu além da redução nos fatores antinutricionais, redução da flatulência e diminuição no teor de amido. Esses autores concluíram que, 5 horas de maceração prévia dos grãos de feijão ao cozimento, seriam suficientes para a hidratação dos grãos e, conseqüente, diminuição de perdas de nutrientes.

Por meio da Tabela 5, pode-se verificar o percentual de minerais atingido em 100 g de feijão BRS pontal com casca e sem casca (tratamento 4), de acordo com a Ingestão Dietética Recomendada (IOM, 2004).

**Tabela 5.** Ingestão Dietética Recomendada (IDR) para os principais minerais analisados no feijão BRS Pontal com casca e sem casca

<b>Minerais</b>	<b>Recomendação* (IDR) – mg/dia</b>	<b>Feijão BRS Pontal com casca (% atingido)</b>	<b>Feijão BRS Pontal sem casca – tratamento 4 (% atingido)</b>
Ferro	8	96,4	82,2
Zinco	11	30,4	31
Cálcio	1000	18,2	5,9
Magnésio	400	-	42
Manganês	2,3	75,6	86
Potássio	4700	-	29

IDR: Ingestão Dietética Recomendada ou DRI: *Dietary Reference Intakes* (2004)

\* Recomendação para adultos do sexo masculino entre 19 e 50 anos.

Nota-se que, os teores de ferro em ambos os tipos de feijão, alcançam percentuais elevados segundo as recomendações (96,4% para o feijão com casca e 82,2% para o feijão sem casca). Porém, deve-se ressaltar que, a biodisponibilidade deste mineral é reduzida devido não somente aos fatores antinutricionais, mas também, ao tipo de ferro encontrado em fontes vegetais (ferro não-heme).

O ferro heme apresenta-se na forma iônica Fe<sup>+2</sup> (ferroso), representando 40-55% do ferro presente na carne bovina, aves ou peixes, formando parte das moléculas de

hemoglobina e mioglobina, sendo disponível. Esse tipo de ferro entra diretamente nas células da mucosa na forma de complexo ferro-porfirina e sua absorção é determinada principalmente pelo nível de ferro corporal e, em pequena parte, por fatores dietéticos, possivelmente a ingestão de cálcio. O ferro não-heme, predominante na forma iônica oxidada  $Fe^{+3}$  (férico), é menos solúvel no organismo. Encontra-se nos cereais, leguminosas e verduras. A biodisponibilidade de ferro não-heme é menor em relação ao ferro heme, sendo influenciada por fatores dietéticos, além do nível de ferro corpóreo. O ferro não-heme, em meio ácido (por exemplo, juntamente com a ingestão de fontes cítricas), é transportado na sua forma quelada, aumentando a absorção na membrana do duodeno, facilitando a transferência do ferro através das microvilosidades da membrana (HALLBERG et al., 1992).

O potássio ( $K^+$ ), cálcio ( $Ca^{2+}$ ) e magnésio ( $Mg^{2+}$ ) são importantes moduladores na resposta pressórica ao sódio. O potássio é o principal cátion intracelular, e sua ingestão adequada (4,7 g/dia) contribui para a manutenção dos níveis normais da pressão arterial (PA), reduzindo os efeitos adversos do consumo de sal, diminui o risco de litíase renal e, provavelmente, da perda de massa óssea. Dietas ricas em potássio podem exercer papel na prevenção e tratamento da hipertensão arterial. Vegetais verdes, frutas, batatas, leite, água de coco e feijão são fontes ricas neste mineral. O cálcio, principal constituinte dos ossos e dentes, tem papel controverso nos níveis de pressão arterial, parecendo haver correlação entre hipertensão e dietas com menos de 600 mg/dia deste mineral. Alguns estudos buscam estabelecer uma correlação entre o magnésio e a pressão arterial. Dietas ricas em magnésio parecem diminuir a pressão apenas em pacientes com hipomagnesemia (JARDIM et al., 2004).

Naozuka e Oliveira (2008) avaliaram as concentrações de cobre, ferro e zinco antes e após o cozimento de feijão do tipo Carioca. As concentrações dos elementos antes e após cozimento foram:  $(9\pm 1)$  e  $(18\pm 1)$   $\mu\text{g/g}$  de Cobre,  $(323\pm 21)$  e  $(305\pm 43)$   $\mu\text{g/g}$  de Ferro e  $(40\pm 2)$  e  $(59\pm 3)$   $\mu\text{g/g}$  de Zinco, respectivamente. O aumento da concentração de cobre e zinco pode estar relacionado a contaminações durante a etapa de cozimento. As concentrações de cobre não sofreram alterações com o cozimento. Porém, as de ferro e zinco nos extratos de NaOH e de água, respectivamente, diminuíram com o cozimento.

## 1.5 CONCLUSÕES

Os tratamentos aplicados para a remoção das cascas dos grãos de feijão BRS Pontal foram eficazes. Pôde ser evidenciado que a redução no tempo de maceração, com intuito de remover as cascas é possível e pode vir a ser um benefício, principalmente em trabalhos posteriormente desenvolvidos. A otimização do tempo aliada a integridade dos micronutrientes presentes nos grãos é um fator primordial na escolha do binômio tempo-temperatura durante o processo de maceração e secagem. Dentre todos os tratamentos aplicados, aquele que submeteu os grãos em água de maceração a 40°C por 4 horas e uma posterior secagem em estufa a 100°C por 1 hora (tratamento 4) foi capaz de remover o maior percentual de cascas (quando comparados a outros tratamentos) e também permitiu manter os níveis de cálcio, ferro, zinco, manganês, magnésio e potássio próximos àqueles evidenciados em estudos recentes.

## **1.6 RECOMENDAÇÕES**

São escassos os trabalhos referentes a utilização de tempo e temperatura para o descascamento de grãos de feijão. Tampouco foi observada a avaliação da composição nutricional destas matérias-primas submetidas a este procedimento.

Sugere-se, como uma próxima etapa a este primeiro trabalho, que seja feito um estudo capaz de avaliar a capacidade de descascamento dos grãos de feijão, assim como valor nutricional complementar (composição centesimal, aminoácidos, etc), partindo dos valores utilizados para as variáveis estudadas neste capítulo, durante tempos variados (2, 4, 6, 8 horas, por exemplo) ou combinando-se diferentes temperaturas, tempos de maceração, uso de estufas à vácuo por exemplo, e, possivelmente a inclusão de outra variável, com a possibilidade de estabelecer planejamentos estatísticos devidamente delineados.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALONSO, R.; AGUIRRE, A.; MARZO, F. Effect of extrusion and traditional processing methods on antinutrients and in vitro digestibility of protein and starch in faba and kidney beans. **Food Chemistry**, v. 68, p. 159–165, 2000.

**ASSOCIATION OF OFFICIAL AGRICULTURAL CHEMISTS (AOAC)**. Official Methods of Analysis of the Association of Official Agriculture Chemists. Washington, 2005.

CARPENTER, C.E.; MAHONEY, A.W. Contributions of heme and nonheme iron to human nutrition. **Critical Review of Food Science and Nutrition**, v.31, n.4, p. 333-367, 1992.

CORRÊA, M.M. Avaliação da qualidade tecnológica de sete cultivares de feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) quanto à: absorção de água, tempo de cozimento, *hard-shell* e, aos teores de ferro e zinco antes e após diferentes métodos de cozimento doméstico. **Dissertação**. Programa de pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Junho, 2007, 66p.

COSTA, G.R.; RAMALHO, M.A.O.; ABREU, A.F.B. Variabilidade para absorção de água nos grãos de feijão do germoplasma da UFLA. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.25, n.4, p.1017-1021, jul./ago., 2001.

DEL PELOSO, M.J.; MELO, L.C.; DE FARIA, L.C.; COSTA, J.C.G.; RAVA, C.A.; CARNEIRO, G.E.S.; SOARES, D.M.; DÍAZ, J.L.C.; ABREU, A.F.B.; DE FARIA, J.C.; SARTORATO, A.; SILVA, H.T.; BASSINELLO, P.Z.; ZIMMERMANN, F.J.P. **BRS Pontal**: nova cultivar de feijoeiro comum, de tipo de grão Carioca, com alto potencial produtivo. Disponível em: <http://www.cnpaf.embrapa.br/conafe/pdf/conafe2005-0070.pdf>. Acesso em 27 de fevereiro de 2009.

DEL PELOSO, M.J.; BASSINELLO, P.Z. **Identificação de germoplasma e desenvolvimento de cultivares de feijão comum com altos níveis de Ferro e Zinco (Harvest Plus)**. II Reunião Anual dos programas de biofortificação HarvestPlus e AgroSalud no Brasil, Niterói, novembro, 2007.

EL-HADY, E.A.A.; HABIBA, R.A. Effect of soaking and extrusion conditions on antinutrients and protein digestibility of legume seeds. **Lebensm.-Wiss. U.-Technol.**, v. 36, p. 285–293, 2003.

ESTEVES, A.M.; ABREU, C.M.P.; SANTOS, C.D.; CORRÊA, A.D. Comparação química e enzimática de seis linhagens de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras. V.26, n.5, p.999-1005, set./out., 2002.

FERREIRA, C.M.; DEL PELOSO, M.J.; FARIA, L.C. **Feijão na economia nacional**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa – CNPAF, 2002, 47p.

GARCIA-VELA, L.A.; STANLEY, D.W. Water-holding capacity in hard-to-cook bean (*P. Vulgaris* L.): effect of ph and ionic strength. **Journal of Food Science**, Chicago, v.54, n.4, p.1080-1081, 1989.

GHAVIDEL, R.A.; PRAKASH, J. The impact of germination and dehulling on nutrients, antinutrients, in vitro iron and calcium bioavailability and in vitro starch and protein digestibility of some legume seeds. **Lebenm.-Wiss. U. Technol.**, v. 40, p.1292–1299, 2007.

HALLBERG, L.; ROSSANDER-HULTHÉN, L.; BRUNE, M. Calcium and iron absorption: mechanism of action and nutritional importance. **European Journal of Clinical Nutrition**, v.46, p. 317-327, 1992.

INSTITUTE OF MEDICINE. *Dietary Reference Intakes – DRIs- Recommended intakes for individuals* (2004). Disponível em <http://www.nap.edu>. Acesso em 10 de março de 2009.

JARDIM, P. C. B. V.; MONEGO, E.T.; REIS, M.A.C. Potássio, cálcio, magnésio e hipertensão arterial. **Rev. bras. Hipertens.**, v.11, n.2, p.109-111, 2004.

MALDONADO, S.; SAMMÁN, N. Composición química y contenido de minerales de leguminosas y cereales producidos en el noroeste argentino. **Archivos Latino Americanos de Nutrición**, v.50, n.2, p.195-199, 2000.

NAOZUKA, J.; OLIVEIRA, P.V. Estudo do comportamento de Cu, Fe, Zn e proteínas em feijão “Carioca” cru e cozido. 31ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química (**Anais**), 2008.

OLIVEIRA, A. C. de; QUEIROZ, K. da S.; HELBIG, E.; REIS, S.M.P.M.; CARRARO, F. O processamento doméstico do feijão-comum ocasionou uma redução nos fatores antinutricionais fitatos e taninos, no teor de amido e em fatores da flatulência rafinose, estaquiose e verbascose. **Archivos LatinoAmericanos de Nutrición**, v. 51, n. 3, p.276-283, 2001.

OLIVEIRA, V.R.; RIBEIRO, N.D.; JOST, E.; LONDERO, P.M.G. Qualidade nutricional e microbiológica de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) cozido com ou sem água de maceração. **Ciência Agrotec.**; Lavras, v.32, n.6, p.1912-1918, 2008.

SAMMAN, N. Composition of different bean varieties (*Phaseolus vulgaris* L.) of northwestern Argentina (region NOA): cultivation zone influence. **J. Agric. Food Chem.**, v.47, n.7, p.2685-2689, 1999.

STATSOFT, INC. (2001). STATISTICA (data analysis software system), version 6. [www.statsoft.com](http://www.statsoft.com).

TABELA BRASILEIRA DE COMPOSIÇÃO DE ALIMENTOS – TACO. Versão 2, 2ª edição, Campinas, SP, 2006.

U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE, AGRICULTURAL RESEARCH SERVICE. USDA. Nutrient Database for Standard Reference, Release 14, 2001.



Disponível em [http://www.ars.usda.gov/main/site\\_main.htm?modecode=12354500](http://www.ars.usda.gov/main/site_main.htm?modecode=12354500) .  
Acesso em 27 de fevereiro de 2009.

ZIMMERMANN, M.J.O.; CARNEIRO, J.E.S.; DEL PELOSO, M.J.; COSTA, J.G.C.; RAVA, C.A.; SARTORATO, A.; PEREIRA, P.A.A. Melhoramento genético e cultivares. In: ARAUJO, R.S.; RAVA, C.A.; STONE, L.F.; ZIMMERMANN, M.J.O. (Coord.). **Cultura do feijoeiro comum no Brasil**. Piracicaba: Potafos, p.223-273, 1996.

## **CAPÍTULO II**

### **ELABORAÇÃO DE EXTRUDADOS EXPANDIDOS À BASE DE MILHO E FEIJÃO CARIOCA**

## RESUMO

O consumo de alimentos industrializados e processados como os *snacks* (salgadinhos) é crescente na alimentação dos brasileiros. Porém, estes *snacks* comerciais possuem características nutricionais basicamente energéticas, apresentando conseqüentemente elevado valor calórico pela presença de uma base amilácea, como o milho, e ácidos graxos de cadeia saturada, como a gordura vegetal hidrogenada utilizada como veículo para o aromatizante. Nesse sentido, o objetivo deste trabalho foi elaborar extrudados expandidos de milho, com diferentes proporções de feijão do tipo Carioca, variedade BRS Pontal e assim, avaliar os efeitos dos parâmetros de extrusão (umidade, percentual de feijão e rotação do parafuso) nas características físicas desses produtos. Os parâmetros selecionados foram estabelecidos, nos seus devidos níveis, por meio de um delineamento experimental composto rotacional de segunda ordem onde, as variáveis respostas estudadas foram energia mecânica específica (EME), torque, vazão, índice de expansão radial (IER), longitudinal (IEL), volumétrico (IEV) e densidade aparente (DAP). Também foi avaliada a textura instrumental de *snacks* com IER acima de 10. Os produtos selecionados como melhores tratamentos foram submetidos a avaliação da aceitabilidade, por meio de teste sensorial. Os parâmetros utilizados no processamento por extrusão termoplástica, de rosca única, foram: rotação do parafuso (318,2 a 392,9 rpm); umidade inicial na mistura (10,9 a 21%) e adição de feijão sem casca BRS Pontal do tipo Carioca (4,8 a 55,2%). Por meio do estudo realizado pôde-se verificar que, a elaboração de extrudados expandidos de milho e feijão BRS Pontal tipo Carioca é possível. Por meio da avaliação do IER pôde-se verificar que a adição de feijão até 45% produziu extrudados com valores de expansão superiores, quando comparado com demais estudos, mesmo que a umidade e o teor de feijão tenham influenciado de forma negativa nos valores deste índice. Nenhum parâmetro de extrusão afetou significativamente os valores do índice de expansão longitudinal, porém, a umidade e o conteúdo de feijão influenciaram negativamente o índice de expansão volumétrico dos *snacks*. Por meio da avaliação da densidade aparente pôde-se concluir que a adição de feijão e do conteúdo de umidade produziu extrudados mais densos, porém, os valores obtidos para esta variável não foram elevados, permitindo verificar que, extrudados com até 45% de feijão apresentaram-se leves e crocantes. Estes atributos foram confirmados por meio da análise sensorial onde, *snacks* com até 45% de feijão obtiveram boa aceitabilidade geral, aparência, sabor e textura considerada ideal. Amostras com mais de 16% de umidade não tiveram boa aceitabilidade. A aromatização utilizada também contribui para os aspectos positivos evidenciados nos produtos, assemelhando-os a produtos comerciais. Sendo assim, é possível e recomendável a elaboração de extrudados expandidos com umidade em torno de 13% a 16% e adição de até 45% de feijão, produzindo produtos crocantes, saborosos e sem sabor residual. Além disso, favorece o aumento do teor de proteínas em produtos geralmente ricos em carboidratos.

**Palavras-chave:** *Snacks*, Proteína, Expansão.

## ABSTRACT

The consumption of processed foods such as snacks is increasing in the diet of Brazilians. However, these snacks have basically energy nutritional characteristics, with consequently higher caloric content by the presence of high content of starch provenient by maize grits. These products also have high content of saturated fatty acids such as hydrogenated fat used as a vehicle for flavoring. In this way, the objective of this study was to develop expanded extruded maize-based with different proportions of Carioca type bean, cultivar BRS Pontal and to evaluate the effects of extrusion parameters (moisture content, bean level and screw speed) on the physical characteristics of these products. The selected parameters were set in levels, by a second order experimental composite rotational where the response variables studied specific mechanical energy (EME), torque, mass flow rate, sectional expansion index (SEI), longitudinal expansion index (LEI), volumetric expansion index (VEI) and density were evaluated. It was also analyzed the texture of snacks with SEI above 10. The snacks selected as better treatments (SEI above 20) were submitted to acceptability test. The parameters used in the processing of thermoplastic extrusion in a single screw were: screw speed (318.2 to 392.9 rpm), initial moisture content in the blend (10.9 to 21%) and the level of peeled Carioca type bean (4.8 to 55.2%). Through the study it was observed that the production of extruded expanded from maize and Carioca type bean is feasible. Through the evaluation of the SEI it could be verified that the addition of 45% of beans produced extruded with greater values of expansion compared to other studies, even though the moisture content had affected negatively the values of SEI. It was not observed that extrusion parameters affected the LEI values; however, the moisture content of beans affected negatively VEI values. About density evaluation, it could be concluded that the increase of beans such as moisture content produced denser extruded, however, the final values for this variable were not high, allowing to verify that extruded with 45% of bean presented light and crispy. These attributes were confirmed by sensory analysis where, snacks up to 45% of beans had good overall acceptability, appearance, flavor and texture (considered ideal). Samples with more than 16% moisture did not have good acceptability. The process of flavoring also contributed to the positive aspects verified in the products, resembling to the commercial available. Therefore, it is possible and recommended the elaboration of extruded expanded with moisture content about 13% to 16% and the using of up to 45% of beans, producing crunchy snacks, tasty and with no residual flavor. In addition, it increases the content of protein in products usually carbs-based.

**Keywords:** Snacks, Protein, Expansion.

## 2.1 INTRODUÇÃO

O consumo de alimentos industrializados e processados como os *snacks* (salgadinhos) é crescente na alimentação dos brasileiros. Porém, estes *snacks* comerciais possuem características nutricionais basicamente energéticas, apresentando consequentemente elevado valor calórico pela presença de uma base amilácea, como o milho, e ácidos graxos de cadeia saturada, como a gordura vegetal hidrogenada utilizada como veículo para o aromatizante.

Durante muito tempo, no cenário tecnológico, a preocupação com a produção de alimentos era o baixo custo em toda a cadeia produtiva e a aceitação geral por parte da população, sem a preocupação com um equilíbrio nutricional. O constante desenvolvimento da indústria alimentícia e consequentemente o consumo de alimentos industrializados provocou um aumento nas taxas de obesidade, nos países desenvolvidos e em transição econômica. A prevalência deste quadro tem crescido rapidamente e representa um dos principais desafios de saúde pública neste início de século.

Com isso, o processo de extrusão utilizando temperaturas mais elevadas (termoplástica), por ser um aliado na produção de expandidos (*snacks*), vem ganhando destaque e expansão na indústria alimentícia, aumentando a variedade de alimentos processados e a mistura de diferentes tipos de farinhas, apresentando muitas vantagens quando comparado a outros sistemas tradicionais de processamento. É uma tecnologia alternativa no aproveitamento de uma grande quantidade de produtos e subprodutos, favorecendo a alimentação humana e animal no que diz respeito a misturas enriquecidas, além de contribuir para a melhoria do valor nutricional dos alimentos através da mistura de matérias-primas usualmente consumidas pela população.

Um produto melhorado nutricionalmente poderá talvez ser lançado aos consumidores modernos devido a variedade e novidade que propõe. Assim, a elaboração de *snacks* de milho de melhor valor nutritivo passa a ser uma proposta para melhorar a qualidade desse tipo de produto que representa hábito de consumo, com a possibilidade de veicular outros tipos de nutrientes.

Neste sentido, com a intenção de disponibilizar uma alternativa alimentar com melhores características nutricionais, através da adição de feijão Carioca BRS Pontal, por meio do processo de extrusão termoplástica, o presente trabalho possui como objetivos:

### 2.1.1 Objetivos

- Determinar parâmetros de extrusão na elaboração de extrudados expandidos utilizando *grits* de milho acrescidos de feijão BRS Pontal do tipo Carioca;
- Desenvolver, através do processo de extrusão termoplástica, extrudados expandidos (*snacks*) a partir da mistura de milho (*Zea mays*, L.) e feijão (*Phaseolus vulgaris*, L.) BRS Pontal do tipo Carioca, de acordo com o delineamento experimental proposto;
- Analisar os efeitos dos parâmetros de extrusão nas propriedades físicas dos extrudados por meio do índice de expansão radial, índice de expansão longitudinal, índice de expansão volumétrico e densidade aparente;
- Avaliar aspectos relacionados à crocância de extrudados expandidos, por meio de textura instrumental;
- Analisar os efeitos dos parâmetros de extrusão nas características do processamento por meio da vazão de produção, torque e energia mecânica específica gasta para processar os extrudados;
- Avaliar a aceitabilidade de extrudados expandidos e aromatizados, através de análise sensorial.

## 2.2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.2.1 O cenário da alimentação e o consumo de *snacks*

A demanda de consumo por *snacks* saudáveis continua a ser um poderoso direcionador do mercado. De acordo com a Associação Brasileira de Indústrias Alimentícias (ABIA), o consumo de *snacks* no Brasil aumentou cerca de 100% de 1990 até 1995.

De acordo com o projeto “Brasil Food Trends 2020” do Instituto de Tecnologia de Alimentos (ITAL), o alimento da próxima década será mais saboroso, saudável, de preparo fácil e rápido, de qualidade assegurada, sustentável e ético. O consumidor buscará comida que traga os mais amplos benefícios a preço mais acessível. Haverá maior complexidade no rol de produtos para se alinhar às cinco macro-tendências globais da alimentação: sensorialidade e prazer, saudabilidade e bem-estar, conveniência e praticidade, confiabilidade e qualidade e sustentabilidade e ética. Um produto que agregue todos os benefícios é o que procura a indústria alimentícia que já oferece alimentos mesclando as tendências. Para atender ao neoconsumidor, como está sendo chamado, deverão entrar em cena ingredientes mais seguros, embalagens ambientalmente adequadas e com informações nutricionais detalhadas, novos processos produtivos e novos ambientes de consumo.

A conveniência e praticidade valorizam a comodidade, a facilidade e a rapidez e quer do básico ao mais elaborado. Tem aqueles que preferem o prático para preparo e o *snack*. Os primeiros escolhem pratos prontos e semiprontos, para forno e micro-ondas e alimentos de fácil preparo e, de preferência, com embalagens de fácil abertura, fechamento e descarte. O do *snack* quer saciar a fome onde estiver, em diferentes lugares e situações, e ter tudo pronto e em porção individual.

Atualmente os consumidores desejam obter produtos com ingredientes naturais, alto valor nutritivo e acima de tudo, sabor agradável. A qualidade sensorial de um extrudado expandido depende principalmente de sua expansão. Tanto a expansão quanto a estrutura desses produtos dependem da gelatinização do amido, que é afetada pelas condições de processamento e pela composição da matéria-prima (YANNIOTIS et al., 2007).

Dentre as leguminosas, o feijão possui uma posição importante e é importante fonte de nutrientes particularmente proteínas e aminoácidos essenciais. A mistura do feijão com cereais pode complementar um ao outro no balanço protéico do produto final.

Portanto, é esperado que a importância dietética de grãos de leguminosas venha a apresentar crescimento contínuo no futuro com os requerimentos de proteínas sendo aumentados devido ao crescimento populacional e a redução do consumo de proteína animal, especialmente em países desenvolvidos (LAZOU e KROKIDA, 2010).

### 2.2.2 Características da extrusão termoplástica

A extrusão é um processo que combina várias operações unitárias, incluindo mistura, cozimento, amassamento, cisalhamento, formação e moldagem (FELLOWS, 2006). O processo de cozimento por extrusão teve seu início da década de 40 com a fabricação de “*snacks*”. É um processo que submete o alimento a elevada temperatura, por um curto período de tempo, denominado “HTST” (*High Temperature Short Time*).

A extrusão termoplástica, particularmente na indústria de *snacks*, é um processo complexo que difere dos processamentos convencionais, pois utiliza altas taxas de cisalhamento e temperaturas elevadas (>150°C) por um curto período (segundos). Uma ampla faixa de processos termo-mecânicos e termo-químicos estão envolvidos. Estes processos resultam nas modificações físicas, químicas e nutricionais dos constituintes das matérias-primas (HARPER, 1981). Como este processo envolve simultaneamente mistura, amassamento e cozimento, provoca uma grande quantidade de alterações complexas no alimento, tais como, a hidratação dos amidos e proteínas, devido a adição de água; homogeneização; gelatinização; cisalhamento; derretimento de gorduras; desnaturação ou reorientação de proteínas; plastificação e expansão da estrutura do alimento. Além das modificações nos compostos dos alimentos, a extrusão reduz a contaminação microbiana e inativa as enzimas, porém, tanto os alimentos extrudados pelo calor ou pelo frio se conservam principalmente devido sua baixa atividade de água (FELLOWS, 2006).

Para Harper (1981) a extrusão provoca alterações em diversas propriedades funcionais principalmente do amido, as quais dependem principalmente da relação amilose e amilopectina e dos parâmetros operacionais do processo como a umidade da matéria-prima, a temperatura do processo, a velocidade e a geometria do parafuso.

Os princípios de operação são similares em todos os tipos. A matéria-prima, pré-condicionada, ou seja, adicionada de água, é homogeneizada e alimentada no canhão, precisamente no alimentador, e a rosca (ou parafuso) transporta o material ao longo do canhão.

A água adicionada ao material é 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. Partículas menores são hidratadas mais facilmente do que partículas maiores, o que também altera a qualidade do produto.

A gelatinização acarreta em um aumento da viscosidade, porém com o aumento do conteúdo de água ocorre normalmente o decréscimo na viscosidade do produto, que tem como primeiro efeito a diminuição da geração de calor por atrito e, como segundo efeito, o decréscimo da pressão do produto na saída pela matriz. Isto explica porque a temperatura e a pressão decrescem quando o conteúdo de água aumenta (ASCHERI e CARVALHO, 2008).

O alimentador é composto de um recipiente para receber o material a ser extrudado e de um parafuso ou vibrador, localizado vertical ou horizontalmente (Figura 1). Possui a função de manter a alimentação constante e ininterrupta, o que é essencial para o funcionamento do extrusor, bem como para a homogeneidade e a qualidade do produto (GUTKOSKI, 2000).





**Figura 1.** Alimentador acoplado ao sistema de extrusão (créditos: Erika M.M.da Silva)

O parafuso ou a rosca, considerado a parte mais importante do extrusor, ajuda a regular o grau de cozimento, a gelatinização e a qualidade final do produto. O parafuso mistura o material e o conduz pelo cilindro, gerando fricção mecânica e calor (GUTKOSKI, 2000). Este pode ser de diferentes diâmetros, o qual determina a taxa de cisalhamento e grau de cocção do material.

O cilindro encamisado, também chamado de canhão, envolve o parafuso e é dividido em seções para permitir a circulação de vapor, óleo, água ou ar, itens que colaboram para o ajuste perfeito de temperatura entre as várias zonas do extrusor (GUTKOSKI, 2000). Porém, existem ainda alguns tipos de extrusores, voltados para a produção em escala industrial que, não apresentam as várias zonas de temperatura. Exemplo deste é o modelo RX50 da marca Inbra (Ribeirão Preto, SP, Brasil) onde o processo de extrusão se dá por fricção mecânica (Figura 2). A rosca ou parafuso possui um menor comprimento, porém um diâmetro muito maior, o que gera mais calor mecânico devido a fricção com o cilindro que o envolve.



**Figura 2.** Rosca ou parafuso e sua respectiva camisa da extrusora Inbra RX50 (créditos: Erika Madeira M. da Silva)

O mecanismo de corte está acoplado à porção final do extrusor, sendo constituído por lâminas horizontais ou verticais que, de acordo com a velocidade de giro, determinam o comprimento do produto (GUTKOSKI, 2000).

Na parte posterior do canhão (saída), passo da rosca tende a diminuir para restringir o volume do material e aumentar a resistência ao movimento. À medida que o alimento vai sendo transportado pelo canhão, a rosca vai trabalhando o material, transformando-o em uma massa plástica semi-sólida. Nesse processo, o calor friccional e qualquer outro aquecimento adicional fazem com que a temperatura suba rapidamente. O alimento passa então, para a seção do canhão com o menor passo, onde a pressão e o cisalhamento são ainda maiores. Finalmente, ele é forçado através de uma ou mais aberturas restritas (matriz) na saída do canhão. Ao emergir da matriz sob pressão, o alimento expande-se até sua forma final, resfriando-se rapidamente pela evaporação instantânea da umidade na forma de vapor (FELLOWS, 2006).

A matriz possui a função de formatar o extrudado que provém do canhão. Para a produção de *snacks*, por exemplo, a matriz pode ser composta de duas ou mais peças, onde a primeira aumenta a resistência ao fluxo e ajuda a aumentar o cisalhamento do produto, e a segunda possui a função de dar a forma ao extrudado (ASCHERI e CARVALHO, 2008).

Logo após, os extrudados podem ser processados subseqüentemente por secagem, fritura e/ou embalados.

A passagem do material pelo cilindro é uma etapa importante de todo o processo, porém todos os parâmetros envolvidos no processo devem ser controlados adequadamente. De acordo com Yacu (1990) as variáveis do processo de extrusão que controlam diretamente os atributos de qualidade são chamadas de variáveis independentes. Essas incluem a composição dos ingredientes alimentares, sua umidade, o tamanho de suas partículas, a velocidade de alimentação, velocidade do parafuso e sua configuração, abertura da matriz, temperatura, pressão e tempo de residência.

Porém, no processo de extrusão, as variáveis dependentes ou respostas, mudam como consequência das variáveis independentes e servem para avaliar as propriedades

físicas, químicas e funcionais dos extrudados. Entre essas estão: densidade, volume específico, umidade, expansão, atributos sensoriais como aparência, sabor, crocância e textura, grau de cozimento, viscosidade, índice de absorção e de solubilidade em água (YACU, 1990).

Os fatores ligados à matéria-prima tais como teor de umidade, proporção de amilose e amilopectina (FAUBION e HOSENEY, 1982), conteúdo de proteína, lipídios e fibra, fontes de amido utilizadas, exercem grande influência no produto acabado (ASCHERI et al., 1995).

A transformação de *grits*, sêmolas e farinhas de cereais, tubérculos e raízes em produtos cujas características são mais atrativas de que suas matérias-primas e, portanto, comercialmente e nutricionalmente mais vantajosas, tem sido uma preocupação permanente na indústria de alimentos. O processo de cocção por extrusão é considerado como uma das operações mais eficientes para realizar essas trocas, nas quais implicam em transformar partículas de amido, assim como estruturas protéicas em estruturas que tenham maior capacidade de interação com a água (GONZÁLEZ et al., 1987).

O processo por extrusão permite misturar diferentes farinhas de tubérculos, raízes, cereais e leguminosas, produzindo alimentos tais como *snacks*, pellets e farinhas pré-gelatinizadas para adição em bolos, biscoitos, sopas e bebidas, com maior digestibilidade, alto valor nutritivo com custo de matéria-prima e de produção relativamente reduzidos.

### **2.2.3 O efeito de alguns parâmetros de extrusão nas propriedades físicas dos alimentos**

As mudanças físicas resultantes do processamento são determinantes para a aceitabilidade do produto final e, para *snacks* são características importantes: expansão, dureza, crocância e densidade. É esperada uma estrutura expandida na maioria dos produtos o que pode ser quantificado por vários métodos (CHRISTOFIDES et al., 2004).

A formação de produtos expandidos com forma e textura desejáveis depende de inúmeros fatores. Os mais importantes são a gelatinização adequada do amido e o desenvolvimento de zonas de alta pressão próximas à matriz, para causar rápida evaporação da água e formação de uma estrutura celular forte (CAMIRE et al., 1990).

As características funcionais dos amidos podem ser alteradas pelas condições de extrusão, dependendo dos parâmetros operacionais do processo (umidade, temperatura, rotação do parafuso, diâmetro da matriz, fluxo de massa e configuração do parafuso); dos parâmetros do sistema (grau de cisalhamento, temperatura do produto, tempo de residência e pressão) e dos parâmetros estruturais, ligados à matéria-prima (ASCHERI e CARVALHO, 2008).

O teor de umidade do material que será extrudado afeta significativamente a expansão e foi considerada a variável mais importante do processo, sendo que, em produtos amiláceos, quanto menor a umidade, maior a expansão (ARÊAS, 1996).

A degradação molecular da fibra alimentar em extrudados, aumenta o teor de solubilidade modificando seus efeitos fisiológicos (RUIZ-RUIZ et al., 2008).

O aumento da rotação do parafuso possui como principal efeito o aumento do grau de cisalhamento devido a uma maior fricção, gerando calor mecânico. Com isso pode causar um aumento na cocção e conseqüentemente na gelatinização do amido, porém, com o aumento da velocidade do parafuso também ocorre a redução do tempo

de permanência do material dentro do canhão. Ou seja, a rotação do parafuso pode ter dois efeitos opostos.

O aumento da temperatura no extrusor provoca aumento na temperatura do produto, o que acarreta o decréscimo na viscosidade sem mudanças importantes no tempo de residência (ASCHERI e CARVALHO, 2008). Chiang e Johnson (1977) demonstraram que a gelatinização do amido aumentou bruscamente com o aumento da temperatura, sendo mais intenso para umidades de 18 e 21%.

A umidade tem um efeito pronunciado nas características dos extrudados. Geralmente menores teores de umidade estão relacionados ao maior grau de dextrinização e maior viscosidade de pasta a frio (EL-DASH, 1982). De acordo com Onwulata et al., (2001) a umidade exerce grande influência na qualidade do extrudado por afetar a estrutura celular e a fragilidade dos produtos expandidos. O aumento da umidade, como citado anteriormente, diminui o grau de degradação do amido durante o aquecimento e cisalhamento devido a redução do estresse, que promove a redução da viscosidade (VAN der EINDE et al., 2004).

A matriz, além de responsável pelo formato final do extrudado, tem também a importante função de limitar o fluxo do material causando o aumento da pressão interna e cisalhamento necessários antes da saída do produto. Esses efeitos produzidos pela matriz podem ser maiores ou menores, dependendo do tipo de produto que se deseja produzir (ASCHERI e CARVALHO, 2008).

Pérez et al., (2008) demonstraram que, o uso de *grits* de milho contendo uma menor dureza no endosperma levou a uma maior expansão dos *snacks* e que, para a produção de farinhas instantâneas para sopas, cremes e purês, a temperatura ideal de processamento situa-se em torno de 170°C com umidade de 14% na matéria-prima.

#### **2.2.4 Efeito da mistura de ingredientes em produtos extrudados**

Produtos extrudados são compostos principalmente por cereais, amidos e/ou proteínas vegetais. O maior papel desses ingredientes é estabelecer a estrutura, textura, sensação ao paladar e demais características específicas ao produto final (TAHNOVEN et al., 1998). A aceitação de extrudados expandidos está relacionada principalmente devido a conveniência, valor, aparência atrativa e textura (ANTON e LUCIANO, 2007).

Enquanto amidos de milho produzem extrudados expandidos com maior aceitabilidade, seu valor nutricional está longe de satisfazer as necessidades nutricionais de indivíduos saudáveis.

Dentre diversos materiais, a incorporação de farinhas de leguminosas tem demonstrado causar um impacto positivo nos níveis de proteína, fibra alimentar em *snacks* a base de milho (BERRIOS, 2006). Por outro lado, a adição de proteínas à mistura tem demonstrado afetar significativamente a textura, expansão e aceitabilidade geral de extrudados expandidos (VERONICA et al., 2006). Na verdade, para a elaboração de *snacks* com maior aceitabilidade, as taxas de fortificação de amidos parecem variar conforme a natureza de cada matéria-prima.

A adição de leguminosas, por exemplo, tem sido responsável por causar boa expansão e são consideradas possíveis para o desenvolvimento de *snacks* com maior conteúdo nutricional e menor quantidade de calorias (BERRIOS, 2006).

Levando em consideração os aspectos nutricionais e econômicos de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), a fortificação de milho com frações diferenciadas de feijão para a produção de *snacks* parece ser promissora.

## 2.3 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.3.1 Matéria – prima

Foi utilizado como base para a elaboração dos extrudados expandidos, milho comercial na forma de *grits*. A esta matéria-prima foram acrescentados diferentes proporções de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), BRS Pontal, do tipo Carioca, fornecidos pela Embrapa Arroz e Feijão (Goiânia - GO). Os testes, assim como o desenvolvimento dos extrudados foram realizados na planta piloto de cereais da Embrapa Agroindústria de Alimentos – Rio de Janeiro.

### 2.3.2 Preparo das matérias-primas

Os grãos de feijão Carioca, após o descascamento, foram moídos em moinho de discos, (*Perten, Laboratory Mill 3600, Sweden*) com abertura no nível zero, obtendo-se assim, partículas em tamanho semelhante ao do milho, na forma de *grits*.

### 2.3.3 Classificação granulométrica

A classificação granulométrica das matérias-primas seguiu a metodologia proposta por Ascheri e Carvalho (2008). Para a classificação granulométrica do *grits* de milho e feijão foram peneiradas 100 g dessas matérias-primas cruas, durante 10 minutos, em um conjunto de sete peneiras arredondadas, vibratórias e com aberturas nas malhas de 1200, 1000, 853, 710, 422, 354, 297  $\mu\text{m}$  da marca RO-TAP modelo RX-29-10. Em seguida, as quantidades retidas em cada peneira, foram pesadas em balança digital da marca Mettler Toledo, modelo SB 12001 e os valores expressos em porcentagens.

### 2.3.4 Delineamento Experimental

Nas Tabelas 6 e 7 são apresentados os delineamentos experimentais para o estudo dos efeitos de alguns parâmetros de extrusão, definidos através de testes preliminares, na produção dos extrudados expandidos de milho e feijão.

Foram consideradas as variáveis, rotação do parafuso (rpm), umidade de processamento (%) e feijão (%). Para analisar o efeito combinado dessas variáveis nas características tecnológicas dos extrudados, estabeleceu-se um delineamento do tipo composto central rotacional de 2ª ordem (BOX, HUNTER e HUNTER, 1978). A técnica utilizada foi a de superfície de resposta com objetivo de representar graficamente os resultados obtidos das análises estatísticas. 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:

$$xi = \frac{Xi - Z}{\Delta xi}$$

(Equação 1)

onde:

**xi** = valor codificado da variável Xi;

**Xi** = valor real da variável;

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

**ΔXi** = valor do intervalo de variação do xi.

Esse delineamento apresenta também dois níveis de variáveis axiais que são codificados como  $(-\alpha)$  e  $(+\alpha)$ . O valor depende do número fatorial ( $F = 2^k$ ) do delineamento e do número de variáveis independentes ( $K = 3$ ) sendo o valor definido pela Equação 2:

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

O número de ensaios em um experimento composto central baseado em um experimento fatorial completo é dado por:  $n = 2^k + 2k + m$ , onde:

$2^k$  – número de pontos fatoriais

$2k$  – número de pontos axiais (de estrela)

$m$  – número de replicações do ponto central

Os valores máximos e mínimos de cada variável independente foram estabelecidos dentro das possibilidades operacionais do processo de extrusão e com base nos diversos ensaios preliminares. Para a análise de resultados experimentais, a metodologia descreve o comportamento de um sistema no qual estão combinadas as variáveis independentes ( $X_k$ ) e a variável dependente ou resposta ( $Y_i$ ). A resposta é uma função dada pela combinação de fatores e definidos por Box e Draper (1967) através da Equação 3:

$$Y_i = F(X_1, X_2, \dots, X_k) \text{ (Equação 3)}$$

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

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

onde:

$Y_1$  = função resposta;

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

$\beta_0$  = coeficiente relativo à interseção 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 (-1, 0, +1) quanto os axiais ( $-\alpha$ ,  $+\alpha$ ) e os fatores têm seus valores reais apresentados na Tabela 6 e delineamento completo na Tabela 7.

**Tabela 6.** Níveis das variáveis independentes a serem estudadas no processo de elaboração dos extrudados expandidos

Variáveis	Níveis				
	$-\alpha=1,682$	-1	0	+1	$+\alpha=1,682$
$X_1$	318,2	333	355	378	392,9
$X_2$	10,9	13	16	19	21,0
$X_3$	4,8	15	30	45	55,2

$X_1$ = Rotação do parafuso (rpm). Considerada a velocidade do motor dividida pela potência (4,5)

$X_2$ = Umidade de processamento (%)

$X_3$ = Farinha de feijão (%)

**Tabela 7.** Delineamento completo do experimento

Experimento	Níveis codificados das variáveis			Níveis decodificados das variáveis		
	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$X_1$	$X_2$	$X_3$
01	-1	-1	-1	333	13	15
02	1	-1	-1	378	13	15
03	-1	1	-1	333	19	15
04	1	1	-1	378	19	15
05	-1	-1	1	333	13	45
06	1	-1	1	378	13	45
07	-1	1	1	333	19	45
08	1	1	1	378	19	45
09	0	0	0	355	16	30
10	0	0	0	355	16	30
11	0	0	0	355	16	30
12	0	0	0	355	16	30
13	0	0	0	355	16	30
14	0	0	0	355	16	30
15	-1,68	0	0	318,2	16	30
16	1,68	0	0	392,9	16	30
17	0	-1,68	0	355	10,9	30
18	0	1,68	0	355	21,0	30
19	0	0	-1,68	355	16	4,8
20	0	0	1,68	355	16	55,2

$X_1$  e  $x_1$ = Rotação do parafuso (rpm)

$X_2$  e  $x_2$ = Umidade de processamento (%)

$X_3$  e  $x_3$ = Farinha de feijão (%)



### 2.3.5 Análises estatísticas

O ajuste dos dados experimentais ao modelo foi testado pela análise de variância (ANOVA) usando o teste de distribuição F a 5 % de probabilidade (ANEXOS 7 a 20) 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). Para a interpretação dos dados e a predição do modelo, um coeficiente de determinação ( $R^2$ ) é considerado bom quando apresenta valores acima de 90% (GOMES, 2000). Este coeficiente fornece uma medida da proporção da variação explicada pela equação de regressão em relação à variação total das respostas (RODRIGUES e IEMMA, 2005).

De acordo com Janssen (1985), Eerikäinen e Linko (1989), Mulvaney, Hsieh e Onwulata (1988), os modelos matemáticos empregados, em geral, nos processos de extrusão de produtos alimentícios, embora estejam em evolução são uma adaptação feita a partir da extrusão de plásticos. Todavia, estes modelos adaptados tornam-se muito complicados, dado à natureza heterogênea dos alimentos e a complexidade do processo. Para tanto, as similaridades, as diferenças, e às vezes, os equívocos no ajuste do modelo são considerados plausíveis.

A partir da equação de regressão obtida por esta técnica, oscilando os valores de duas variáveis, enquanto que, a terceira estudada permanecia constante, foi possível elaborar gráficos de superfície de contorno com o auxílio do programa “*Experimental Design (DOE)*”.

Para a análise de variância dos resultados foram utilizados os valores codificados, ao passo que, para a construção dos gráficos os mesmos foram decodificados.

Para se obter um melhor ajuste dos dados experimentais ao modelo, três pontos centrais que obtiveram resultados distintos dos demais pontos foram removidos. Estes mesmos pontos foram removidos para a análise de todas as demais variáveis dependentes.

Uma vez obtido o modelo polinomial ajustado às respostas, a otimização do processo foi feita pela técnica proposta para variáveis dependentes (DERRINGER e SUICH, 1980). Esta se baseia na definição de uma função de desejabilidade ( $d_i$ ) restrita no intervalo de  $0 \leq d_i \leq 1$ , sendo  $d_i=1$  para a resposta desejada e  $d_i=0$  para a resposta fora da região aceitável do valor desejado. As variáveis independentes foram escolhidas uma vez maximizada a desejabilidade global (D):

$$D = (d_1 d_2 \dots d_m)^{1/m}$$

Onde: m é o número de variáveis de resposta.

Os gráficos referentes aos pontos ótimos estão destacados nos ANEXOS 26 e 27.

As diferenças entre os tratamentos analisados por meio da textura instrumental foram verificadas pela análise de variância e a comparação entre as médias, pelo teste Tukey a 5% de probabilidade, assim como os resultados da análise sensorial.

O processamento de todos os dados assim como as análises estatísticas foram elaborados com o auxílio do programa computacional *STATISTICA* versão 6.0 (STATSOFT INC., 2001).

### 2.3.6 Condicionamento da Matéria-Prima

As misturas das matérias-primas foram condicionadas para os diferentes níveis de umidade conforme o delineamento experimental (Tabela 7). A quantidade de água potável a ser adicionada foi obtida de acordo com a Equação 5:

$$Y = \frac{(U_f - U_i) \times M_a}{100 - U_f}$$

(Equação 5)

onde:

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

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

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

**M<sub>a</sub>**= massa da amostra (g)

A umidade inicial das amostras foi determinada em estufa do tipo termo-balança Brabender (Duisburg, Alemanha) com circulação forçada de ar a 130 °C durante 1 hora, segundo metodologia da AACC método 44-16 (1995). A seguir, estas amostras foram pesadas e seus valores diretamente expressos em porcentagens (%).

As amostras após condicionamento (adicionadas de água potável) foram homogeneizadas utilizando uma batedeira industrial com agitação durante 5 minutos, colocadas em sacos plásticos e armazenadas sob refrigeração durante tempo médio de 17 horas para se obter distribuição e absorção uniforme da água. Após este período, a farinha mista foi submetida ao processo de extrusão.

### 2.3.7 Condições do processamento

O processo de extrusão foi realizado em um extrusor de rosca simples da marca Inbra RX50 (Ribeirão Preto, SP, Brasil).

As condições do processo, incluindo parâmetros considerados variáveis e parâmetros constantes durante todo o processamento são listadas a seguir.

Parâmetros variáveis:

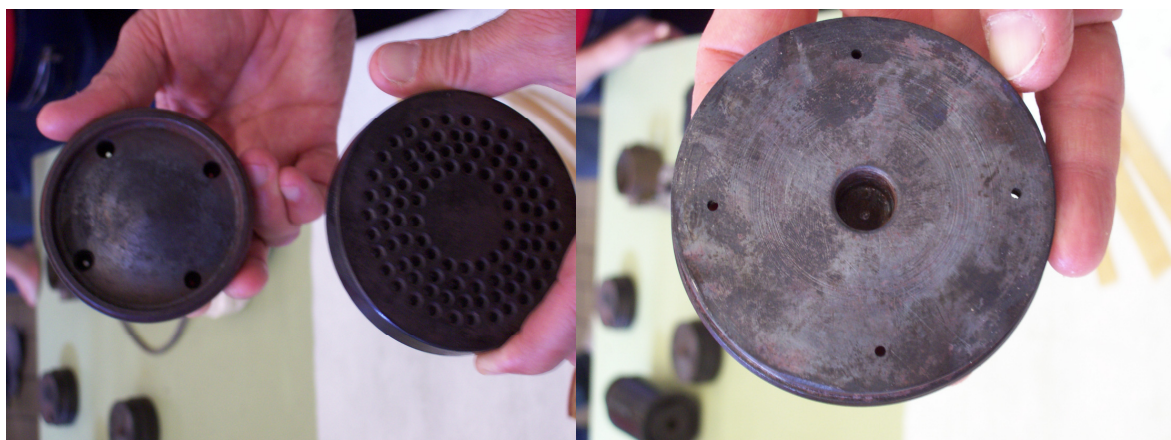
- Umidade: 13, 16 e 19%
- Rotação do parafuso: 333, 355 e 378 rpm (correspondendo a velocidade do motor de 1500, 1600 e 1700 rpm)

Parâmetros constantes:

- Taxa de alimentação (% calha dosadora): 70 %
- Rotação da faca: 33 rpm

Além destes, para o processo de extrusão foi utilizada uma matriz dupla dotada de duas partes. A posterior, com diversos orifícios, aumenta a resistência ao fluxo e distribui uniformemente a massa proveniente do canhão. A parte exterior, dotada de

quatro aberturas circulares de 3 mm de diâmetro cada, eleva a resistência ao fluxo e formata o produto (Figura 3).



**Figura 3.** Matriz dotada de quatro orifícios circulares, responsável pelo formato dos extrudados (créditos: Erika M.M.da Silva)

### 2.3.8 Extrusão

A extrusão das amostras foi iniciada após o aquecimento da matriz (por meio de maçarico). Logo após, a primeira mistura (previamente condicionada de acordo com o delineamento) foi colocada no alimentador e o processo de extrusão foi iniciado. A vazão de produção dos extrudados ficou entre 30 e 58 kg/h ao passo que, o torque situou-se entre 52 e 90%. A fim de obter amostras homogêneas e semelhantes, os extrudados foram recolhidos em sacos plásticos após 1 minuto de processamento.

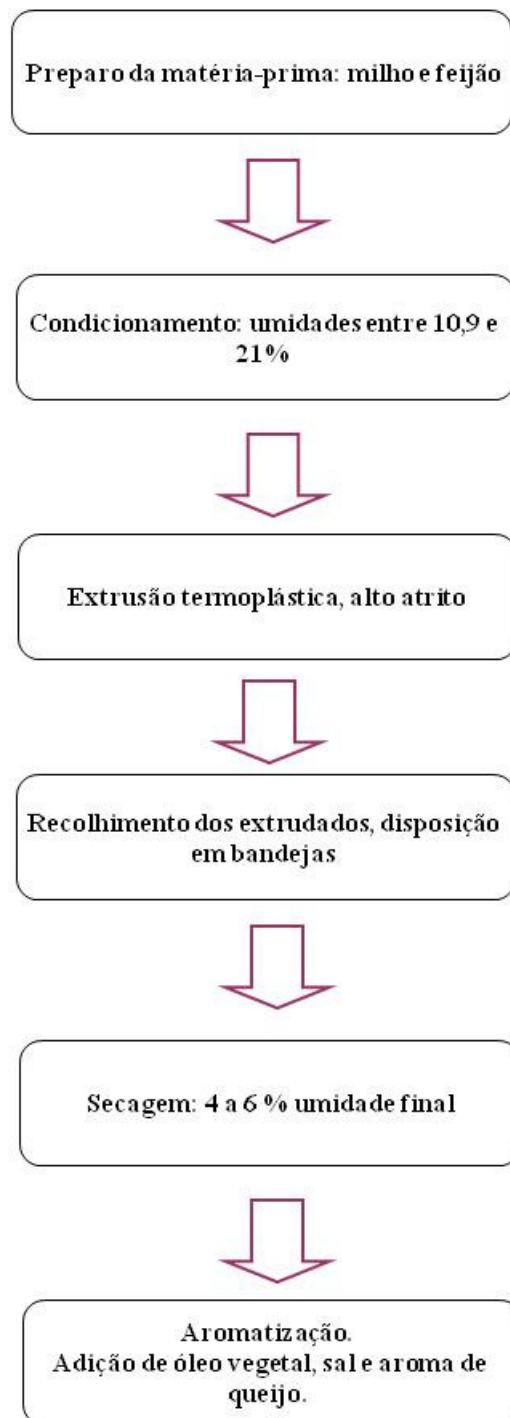
Por meio da Figura 4 verifica-se o extrusor termoplástico Inbra RX50 utilizado na elaboração dos extrudados.



**Figura 4.** Extrusor Inbra RX50, rosca simples utilizado para a produção dos extrudados expandidos de milho e feijão. À esquerda: módulo extrusor; à direita: sistema completo dotado de fluxo pneumático, cilindro secador e temperador (créditos: Erika M.M. da Silva)

Após o processo de extrusão, os extrudados obtidos foram dispostos em bandejas e encaminhados para estufa Fabbe-Primar (São Paulo, SP, Brasil) com circulação forçada de ar a 50 °C durante 15 horas ou até atingirem umidade final entre 4 e 6%.

Por meio da Figura 5 verifica-se o fluxograma da obtenção dos extrudados expandidos (*snacks*) a base de milho e feijão.



**Figura 5.** Fluxograma da obtenção dos extrudados expandidos de milho e feijão (créditos: Erika M.M. da Silva)

### 2.3.9 Avaliação dos extrudados por imagem

Amostras de extrudados expandidos (os melhores tratamentos) foram cortados radialmente e a área cortada foi mergulhada em uma solução preparada contendo gelatina (1%), iodeto de potássio (2%) e iodo (1%). A marcação foi feita de modo que a estrutura interna e externa ficasse colorida (reação entre o amido presente no extrudado e o iodo). A amostra pigmentada foi visualizada através de um scanner. As imagens obtidas foram ampliadas de forma a permitir uma melhor visualização da estrutura celular. Esta técnica foi proposta por Tan et al. (1994).

### 2.3.10 Energia mecânica específica (EME), torque e vazão

A energia mecânica específica foi calculada de acordo com a equação 6 proposta por Mesa et al., (2009). Estes autores propuseram um modelo para o cálculo da energia mecânica específica em extrusores, tais como o utilizado neste estudo, cujos valores de torque são apresentados em percentuais. Cabe ressaltar que a potência do extrusor Inbra RX50, da Inbramaq, é de 7,5 Kw ou 10 cv. Deste modo foi feita a conversão da potência do motor de Kw para KJ/hora levando em consideração que: 1Kw = 1 KJ/s. O torque foi verificado a cada 10 segundos e ao final de cada processamento foi feita uma média.

A vazão de produção foi avaliada obtendo-se o peso (em gramas) da quantidade de extrudados coletados em sacos plásticos, durante 1 minuto, obtendo-se assim a vazão convertida em kg/h.

$$\text{EME (kJ/kg)} = \frac{(t/100) \times P \times N}{m} \quad (\text{Equação 6})$$

Onde:

t: torque (%)

P: potência do motor (kJ/s)

N: rotação do parafuso (rpm)

m: vazão do material (kg/h)

### 2.3.11 Índice de expansão radial (IER)

Os índices de expansão radial (IER) foram calculados seguindo a metodologia descrita por Alvarez-Martinez et al., (1988) de acordo com a seguinte equação:

$$\mathbf{IER} = \left[ \frac{D}{D_o} \right]^2 \text{ (Equação 7)}$$

Onde:

D: diâmetro do extrudado quando atingiu a temperatura ambiente

D<sub>o</sub>: diâmetro da matriz (matriz radial)

O diâmetro dos extrudados foi verificado utilizando-se um paquímetro Disma 6'' 150 mm (São Paulo, SP, Brasil). A medição foi realizada em três pontos distintos de cada extrudado e o diâmetro resultante da média destes pontos, num total de 10 repetições.

### 2.3.12 Índice de expansão longitudinal (IEL)

O índice de expansão longitudinal dos extrudados expandidos foi determinado de seguindo a metodologia descrita por Alvarez-Martinez et al. (1988), de acordo com a seguinte equação:

$$\mathbf{\acute{I}ndice\ de\ Expans\~ao\ Longitudinal} = \left[ \frac{\rho d}{\rho e} \right] \left[ \frac{1}{IER} \right] \left[ \frac{1 - Md}{1 - Me} \right] \text{ (Equa\~c\~ao\ 8)}$$

Onde:

ρd: é a densidade da massa fundida antes da matriz ou dentro do extrusor, considerada 1400 kg/m<sup>3</sup> (densidade do amido de milho);

ρe: densidade do extrudado;

Md: umidade da massa da amostra no condicionamento em base úmida;

Me: umidade do extrudado em base úmida.

### 2.3.13 Índice de expansão volumétrica (IEV)

O índice de expansão volumétrico (IEV) dos extrudados expandidos foi calculado seguindo a metodologia descrita por Alvarez-Martinez et al.(1988) de acordo com a seguinte equação:

$$\text{IEV} = \text{IER} \cdot \text{IEL} \text{ (Equação 9)}$$

### 2.3.14 Densidade aparente (DAP)

A densidade aparente foi medida seguindo a metodologia descrita por Fan et al. (1996), de acordo com a seguinte equação:

$$\text{Densidade aparente} = \frac{4 \times m}{\pi \times D^2 \times L} \text{ (Equação 10)}$$

onde,

m: massa do extrudado

L: comprimento do extrudado

D: diâmetro do extrudado quando atingiu a temperatura ambiente

### 2.3.15 Textura Instrumental

A textura do expandido foi determinada de acordo com a metodologia descrita por Bouvier et al. (1997) a qual permite avaliar o grau de crocância de um produto expandido extrudado, por meio do teste de punctura. Para esta análise utilizou-se um texturômetro Texture Analyser TA. XT2i (*Stable Micro Systems, Surrey, United Kingdom*) conectado a um computador onde, através deste, pôde-se avaliar as curvas obtidas (Figura 6). O critério de crocância foi avaliado usando-se as seguintes fórmulas como resultado da interpretação do gráfico:

$$\text{Frequência Espacial de rupturas (mm}^{-1}\text{)} : N_{sr} = \frac{N_o}{d}$$

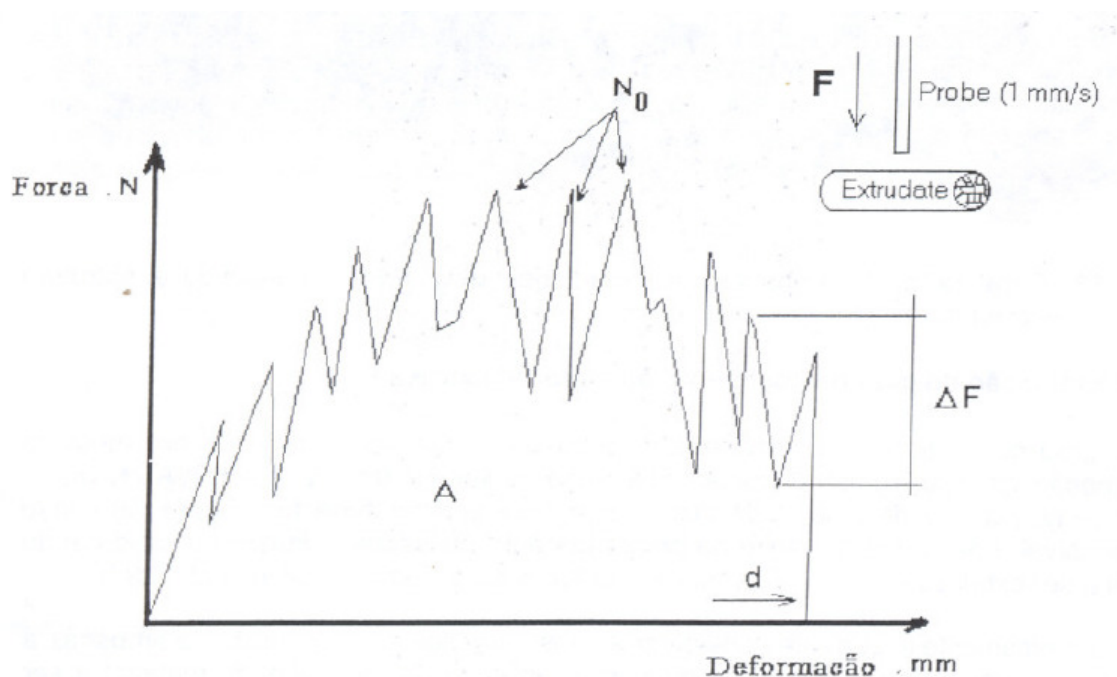
$$\text{Média da força específica das rupturas (N)} : F_{sr} = \sum \frac{\Delta F}{N_o}$$

$$\text{Média da força de punctura (N)} : F = \frac{A}{d}$$

$$\text{Trabalho de crocância (N.mm)} : W_c = \frac{F}{N_{sr}}$$



Onde  $N_0$  é o número total de picos,  $d$  é a distância que o produto foi comprimido (mm),  $\Delta F$  é a força de queda aplicada gerada para cada pico (N),  $A$  é a área sob a curva da força que provocou a deformação ( $Mm^2$ ).



**Figura 6.** Representação gráfica do resultado típico da força de compressão aplicada sobre extrudado expandido (adaptado de Bouvier et al., 1997).

O instrumento foi calibrado com um padrão de 10 kg, carregado de uma célula flexível do analisador de textura. As amostras foram perfuradas pelo probe (P2 – 2 mm diâmetro – *Cylinder Stainless*) a uma distância de aproximadamente 40 a 60% do diâmetro dos extrudados. A operação do aparelho seguiu as seguintes condições pré-estabelecidas em testes preliminares: velocidade do pré-teste (2,0 mm/s); velocidade do teste (1,0 mm/s); velocidade do pós-teste (10,0 mm/s); distância do teste de ruptura (4,0 mm). Dez repetições de cada amostra coletada ao acaso foram medidas. As amostras extrudadas foram previamente secas em estufa com circulação forçada de ar Fabbe-Primar (São Paulo, SP, Brasil) a 105°C por 30 minutos, mantidas em dessecador até atingirem temperatura ambiente e logo após, submetidas à análise de textura. Foi analisada também, uma marca comercial de snack.

### 2.3.16 A escolha dos melhores tratamentos

O índice de expansão radial é notavelmente conhecido pela sua importância sensorial, onde extrudados com maior expansão e paredes celulares mais finas tendem a possuir maior crocância e obterem melhor aceitação. Sendo assim, como critério para a escolha dos melhores tratamentos, foram selecionados, para a aromatização e conseqüentemente análise sensorial, aqueles que apresentaram  $IER > 20$ .

### **2.3.17 Aromatização dos snacks**

Os extrudados expandidos (*snacks*), selecionados como melhores tratamentos, após serem recolhidos do extrusor e secos em estufa com circulação forçada de ar Fabbe-Primar (São Paulo, SP, Brasil) foram submetidos a uma aspersão de uma solução lipídica preparada com óleo vegetal, 4 % de aroma de queijo e 3 % de sal micronizado (calculado com base no óleo vegetal). Após a aspersão da solução aromática, os extrudados foram novamente encaminhados para secagem em estufa, para obter melhor crocância, homogeneidade e fixação do tempero.

### **2.3.18 Análise sensorial**

A avaliação sensorial dos *snacks* de milho e feijão, escolhidos como melhores tratamentos, foi conduzida no laboratório de Análise Sensorial da Universidade Federal do Espírito Santo no Centro de Ciências Agrárias, Alegre – ES.

#### **2.3.18.1 Avaliação da aceitabilidade de extrudados expandidos**

Os melhores tratamentos dos extrudados foram submetidos ao teste sensorial de aceitabilidade, de acordo com Minim (2006), em dois dias consecutivos. Para o teste, foi utilizada escala hedônica de 9 pontos, variando de 1 (desgostou extremamente) a 9 (gostou extremamente) para a avaliação da aceitabilidade geral e do sabor. A textura fora avaliada em escala de “textura ideal” variando de 1 (muito duro) a 9 (muito macio). Além desta fora avaliada, em escala de 9 pontos (1 = certamente não compraria; 9 = certamente compraria), a intenção de compra do produto, assim como questões abertas sobre o que mais gostou e o que menos gostou da amostra servida (ANEXO A). Além disso, foi entregue ao julgador uma ficha de estudo sobre o produto (ANEXO B).

Os testes foram realizados em cabines individuais, sob iluminação branca, sendo as amostras servidas em copos pequenos descartáveis e codificados. Os julgadores receberam as amostras de forma aleatória, onde cada uma recebeu um código de três dígitos e não repetitivos. Junto às amostras foi servida água mineral e as fichas conforme o teste realizado.

#### **2.3.18.2 Cuidados éticos**

A descrição metodológica referente a análise sensorial deste estudo foi submetida e aprovada pelo Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) do Centro Universitário Norte do Espírito Santo (CEUNES) sob parecer de nº 002/2010 (ANEXO C).

Os voluntários que participaram desta etapa assinaram um Termo de Consentimento Livre e Esclarecido – TCLE - (ANEXO D) elaborado de acordo com a Resolução nº 196/96 do Conselho Nacional de Saúde.

### **2.3.18.3 Critérios de inclusão**

Foram incluídos no estudo, alunos, professores e demais funcionários que:

- Apresentaram idade igual ou acima de 18 anos;
- Assinaram o TCLE;
- Retornaram no segundo dia de análise.

## 2.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 2.4.1 Classificação granulométrica das matérias-primas

A distribuição do tamanho de partículas está intimamente relacionada ao processo de moagem das matérias-primas. Nesse caso, o feijão após o descascamento foi moído em moinho de discos, com abertura dos mesmos para que obtivesse um produto com granulometria semelhante ao *grits* de milho. Essa escolha foi baseada em procedimentos operacionais e experiências práticas de laboratório onde a configuração do parafuso utilizada permitiu concluir que, amostras com tamanhos de partículas maiores produziam extrudados mais leves e crocantes, na extrusora comercial utilizada (Inbra RX50). Além disso, farinhas muito finas possuem maior área de contato com a água levando a formação de grumos no interior do canhão, dificultando o processamento.

Nota-se, de acordo com a Figura 7 que, o maior percentual de retenção de partículas tanto de feijão Carioca quanto de *grits* de milho foi verificado a 853  $\mu\text{m}$ . Partículas maiores também foram evidenciadas para estas matérias-primas, com tamanhos entre 1000 e 1200  $\mu\text{m}$ . Observa-se que o *grits* de milho manteve maior homogeneidade quanto ao tamanho de partículas, sendo evidenciado em tamanhos entre 710 e 1200  $\mu\text{m}$ . Por outro lado, o feijão Carioca apresentou tamanhos de partículas em todas as faixas analisadas, possivelmente devido ao tipo de moagem aplicado à esta matéria-prima, resultando em parte, em pequenas parcelas de farinha mais fina.

Ascheri e Carvalho (2008) afirmam que é desejável, porém não necessariamente essencial que as partículas tenham tamanho e densidade uniformes, para prevenir a segregação durante a mistura e o transporte antes da extrusão. A uniformidade no tamanho das partículas dos ingredientes permite que estas sejam adequada e uniformemente cozidas no processo de extrusão, prevenindo dureza ou cozimento parcial do produto. Se o tamanho das partículas da matéria-prima é muito variado, o produto final pode conter partículas indesejáveis com diferentes graus de cocção, o qual diminui a qualidade tanto na aparência quanto no sabor.

Além disso, partículas maiores tendem a produzir extrudados com maior tamanho de células internas, garantindo maior crocância.

A distribuição granulométrica tem significativa influência na textura e palatabilidade do produto final. As células e estruturas dos *snacks* produzidos por extrusão serão maiores ou menores segundo a distribuição percentual do tamanho das partículas da matéria-prima utilizada (ASCHERI e CARVALHO, 2008).

O tamanho de partícula das matérias-primas pode afetar notavelmente a textura e a uniformidade do produto final. É desejável que as partículas tenham tamanho e densidade uniforme, para prevenir a segregação durante a mistura e o transporte antes do processo de extrusão. A importância da uniformidade das partículas também está relacionada com a uniformidade no condicionamento das mesmas, isto baseado no princípio da difusividade da água, em que as partículas de menor tamanho serão as que mais rapidamente absorverão água em detrimento das outras (ASCHERI e CARVALHO, 2008).

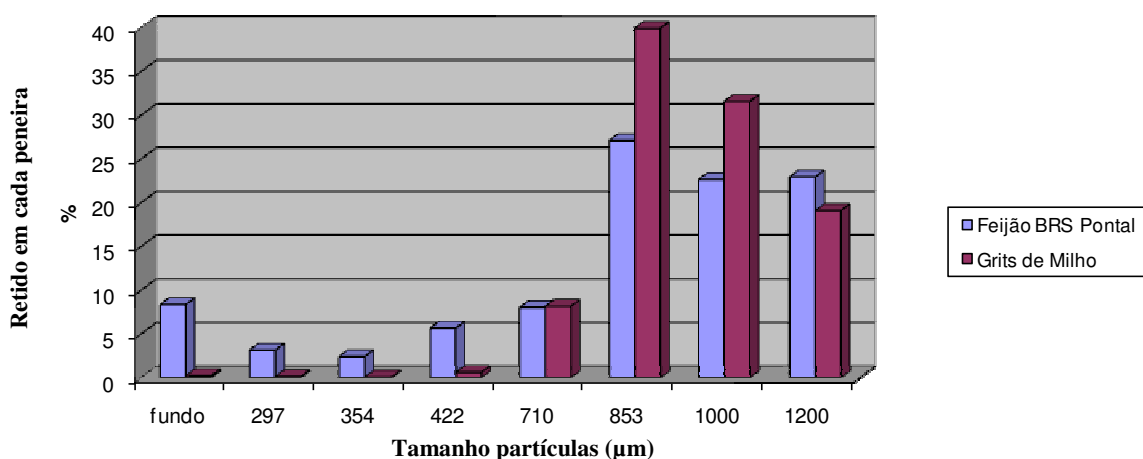
Portanto, a uniformidade no tamanho das partículas dos ingredientes permite um cozimento adequado e uniforme durante o processo de extrusão, prevenindo dureza ou cozimento parcial no produto final. Se o tamanho das partículas da matéria-prima variar de forma significativa, o produto final poderá conter partículas indesejáveis com

diferentes graus de cocção, o qual diminui a qualidade tanto na aparência como na palatabilidade (ASCHERI e CARVALHO, 2008).

Carvalho et al., (2010) verificaram que houve um aumento da expansão de extrudados elaborados com fubá quando o processo foi realizado com matérias-primas com maior tamanho de partículas (500  $\mu\text{m}$ ). Os autores afirmam que extrudados produzidos com matérias-primas de tamanho de partículas maiores expandem mais quando comparados àqueles com partículas menores.

O tamanho das partículas tem sido também apontado como um fator importante na expansão, principalmente quando se utiliza extrusores com rosca única (ASCHERI e CARVALHO, 2008). Para estes autores, a granulometria própria para obter-se *snacks* com textura crocante e células maiores seria a de *grits* na faixa entre 1000 e 710  $\mu\text{m}$ , similar ao *grits* utilizado neste estudo.

Zhang e Hosney (1998) verificaram que materiais provenientes do milho com maior tamanho de partículas produziam extrudados com maior expansão. Carvalho e Ascheri (1999) observaram que, frações de milho branco moídas em diferentes moinhos obtiveram expansões distintas dependendo da distribuição granulométrica.



**Figura 7.** Classificação granulométrica do feijão tipo Carioca e *grits* de milho

#### 2.4.2 Avaliação dos extrudados por imagem

A utilização da técnica de avaliação dos extrudados por imagem permitiu verificar com maior clareza as diferenças de processos na estrutura interna dos extrudados. Diferenças na constituição e disposição das células internas implicarão em diferentes texturas e aceitação do produto. Normalmente células grandes com paredes espessas são indesejáveis, pois conferem ao produto maior dureza ao primeiro toque dos dentes no produto conferindo menor crocância. É desejável que a estrutura interna esteja mais homogênea, ou seja, que as células ou compartimentos de ar encontrem-se de tamanho similar e com paredes finas facilitando a ruptura das células quando mastigado (ASCHERI e CARVALHO, 2008).

Por meio das Figuras 8 a 16 podem ser verificadas as imagens dos extrudados expandidos de milho e feijão, cujos IER foram superiores a 20. Nota-se que, a adição de feijão, até 45 % produziu extrudados com células maiores e paredes mais finas configurando crocância ao produto. Pode ser verificado também que, ao analisar a

estrutura interna dos extrudados elaborados com menor teor de umidade (10,9 e 13%), estes apresentaram células menores, mais numerosas e homogêneas. A redução no teor de umidade das misturas submetidas a extrusão pode ter ocasionado a quebra molecular do amido obtendo-se frações hidrolisadas de menor peso molecular. Isso impede que os extrudados expandam de tal forma a produzir células internas com paredes de maior tamanho. Mesmo assim, estes também apresentaram maior crocância, pois células menores, homogêneas e com paredes finas podem proporcionar este atributo sensorial. Sendo assim, foram escolhidos os tratamentos T1, T2, T4, T5, T6, T9, T16, T17 e T19 como os melhores tratamentos por configurarem melhor crocância, sabor e aspecto mais homogêneo, através de testes informais.

Por meio da Figura 17 pode ser verificado um exemplo de extrudado expandido elaborado com 30 % de feijão do tipo Carioca. Nota-se a expansão e homogeneidade do produto. A ausência de cascas no produto foi um fator sensorialmente positivo, pois não evidencia-se a presença de partículas no extrudado.



**Figura 8.** Corte radial de extrudados expandidos com  $IER > 20$ . Tratamento 1 (333 rpm, 13% umidade, 15% feijão) (créditos: Erika M.M. da Silva)



**Figura 9.** Corte radial de extrudados expandidos com  $IER > 20$ . Tratamento 2 (378 rpm, 13% umidade, 15% feijão) (créditos: Erika M.M. da Silva)



**Figura 10.** Corte radial de extrudados expandidos com  $IER > 20$ . Tratamento 4 (378 rpm, 19% umidade, 15% feijão) (créditos: Erika M.M. da Silva)



**Figura 11.** Corte radial de extrudados expandidos com  $IER > 20$ . Tratamento 5 (333 rpm, 13% umidade, 45% feijão) (créditos: Erika M.M. da Silva)





**Figura 12.** Corte radial de extrudados expandidos com IER>20. Tratamento 6 (378 rpm, 13% umidade, 45% feijão) (créditos: Erika M.M. da Silva)



**Figura 13.** Corte radial de extrudados expandidos com IER>20. Tratamento 9 (355 rpm, 16% umidade, 30% feijão) (créditos: Erika M.M. da Silva)



**Figura 14.** Corte radial de extrudados expandidos com IER>20. Tratamento 16 (393 rpm, 16% umidade, 30% feijão) (créditos: Erika M.M. da Silva)



**Figura 15.** Corte radial de extrudados expandidos com IER>20. Tratamento 17 (355 rpm, 10,9% umidade, 30% feijão) (créditos: Erika M.M. da Silva)



Tratamento 19 (355  
la Silva)



**Figura 17.** Extrudado expandido produzido com 30% de feijão do tipo Carioca

### **2.4.3 Energia mecânica específica (EME), torque e vazão**

A energia mecânica específica (EME) pode ser definida como a quantidade de energia necessária para processar o material dentro do extrusor para fora do mesmo. Isso dependerá da potência do motor e da quantidade total de material processado por um determinado tempo. A potência do motor é o produto entre o torque, o qual é proporcional a distância de aplicação da força e a velocidade do parafuso (JAMIM e FLORES, 1998).

Por meio da Tabela 8 podem ser verificados todos os resultados provenientes para o cálculo da EME (vazão e torque), assim como os resultados da EME gasta para processar os extrudados de milho e feijão.

**Tabela 8.** Vazão, torque e Energia Mecânica Específica (EME) registrados durante o processo de extrusão

Tratamentos	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	Vazão (kg/h)	Torque (%)	EME (kJ/kg)
1	333	13	15	36,81	66	44,83
2	378	13	15	53,10	76	40,55
3	333	19	15	34,09	57	41,80
4	378	19	15	40,00	73	51,71
5	333	13	45	34,88	72,5	51,96
6	378	13	45	47,24	75	44,98
7	333	19	45	26,43	52	49,18
8	378	19	45	49,59	80	45,71
9	355	16	30	53,33	72	36,00
10	355	16	30	58,54	71	32,34
11	355	16	30	57,14	69	32,20
12	355	16	30	37,62	71,2	50,47
13	355	16	30	37,97	68,5	48,10
14	355	16	30	33,71	71,9	56,88
15	318,2	16	30	37,85	77,25	48,70
16	392,9	16	30	55,81	85	44,88
17	355	10,9	30	54,05	81	39,96
18	355	21,0	30	47,24	76	42,90
19	355	16	4,8	48,78	90,75	49,61
20	355	16	55,2	29,78	65,75	58,88

X<sub>1</sub>: Rotação do parafuso (rpm); X<sub>2</sub>: Umidade do processamento (%); X<sub>3</sub>: Feijão (%).

Observa-se que a vazão de produção dos extrudados variou entre 26,43 e 58,54 kg/h. Dessa forma, de acordo com a análise de variância aplicada às variáveis rotação do parafuso, umidade e conteúdo de feijão (Tabela 9) nota-se que nenhuma destas influenciou os valores da variável resposta (vazão). Porém cabe ressaltar que apenas 60% da variação total foi explicada pelo modelo, atribuindo 40% ao erro, o que pode ser considerado um erro experimental grande. Por outro lado não foi evidenciada falta de ajuste dos dados ao modelo quadrático aplicado podendo presumir que o mesmo seja preditivo para a análise em questão.

**Tabela 9.** Teste F da análise de variância, coeficiente de regressão, estimativa dos efeitos e respectivas probabilidades (P) do modelo de regressão quadrática aplicada a vazão dos extrudados expandidos de milho e feijão BRS pontal, em função da rotação do parafuso ( $X_1$ ), umidade ( $X_2$ ) e % de feijão ( $X_3$ )

Fator	Teste F	P	Coefficiente de Regressão	Estimativa dos efeitos
Intercepto	--	0,029672 *	43,6	43,6
$X_1$	3,2	0,216658 <sup>n.s.</sup>	6,4	12,8
$X_1^2$	0,0	0,993681 <sup>n.s.</sup>	0,0	0,0
$X_2$	0,4	0,568491 <sup>n.s.</sup>	-2,4	-4,8
$X_2^2$	0,1	0,760794 <sup>n.s.</sup>	1,4	2,7
$X_3$	0,6	0,523697 <sup>n.s.</sup>	-2,7	-5,5
$X_3^2$	0,4	0,575583 <sup>n.s.</sup>	-2,6	-5,2
$X_1 \cdot X_2$	0,0	0,992136 <sup>n.s.</sup>	0,0	0,1
$X_1 \cdot X_3$	0,1	0,757991 <sup>n.s.</sup>	1,6	3,3
$X_2 \cdot X_3$	0,1	0,820930 <sup>n.s.</sup>	1,2	2,4
Falta de ajuste	0,3	0,894538 <sup>n.s.</sup>	--	--
<b>R<sup>2</sup>: 0,60588</b>				
<b>F tab: 18,51</b>				

$X_1$ : Rotação do parafuso (rpm)

$X_2$ : Umidade (%)

$X_3$ : Feijão (%)

n.s.: não significativo

\* : significativo a 5% de probabilidade

Por meio da Tabela 10 pode-se observar os resultados obtidos do teste F da análise de variância referente ao torque observado durante o processamento por extrusão dos expandidos de milho e feijão. Nota-se uma influência linear positiva da rotação do parafuso nos valores de torque ( $p < 0,01$ ). Também foi observado um efeito quadrático. Ou seja, conforme o aumento da velocidade do parafuso observa-se o aumento nos valores de torque. A umidade exerceu apenas um efeito linear negativo presumindo que, conforme o aumento do teor de água na mistura, menores foram os valores de torque registrados. O mesmo efeito pôde ser observado para a adição de feijão à mistura. Ou seja, foi verificado apenas um efeito linear negativo indicando que, conforme o aumento do teor de feijão, menores os valores de torque durante o processamento.

Porém, cabe ressaltar que apenas 47 % da variação total foi explicada pelo modelo, atribuindo mais de 50 % ao erro experimental. Além disso, foi evidenciada falta de ajuste dos dados ao modelo quadrático aplicado indicando que esse modelo não pode ser considerado preditivo para a análise em questão.

Meng et al., (2010) verificaram também que a velocidade do parafuso influenciou de forma significativa os resultados de torque, porém diferente do presente estudo, os autores evidenciaram uma influência negativa da rotação sobre a variável resposta em questão. Por outro lado estes autores não evidenciaram influência da umidade sobre essa variável, que oscilou entre 19 e 24 %.

**Tabela 10.** Teste F da análise de variância, coeficiente de regressão, estimativa dos efeitos e respectivas probabilidades (P) do modelo de regressão quadrática aplicada ao torque dos extrudados expandidos de milho e feijão BRS pontal, em função da rotação do parafuso ( $X_1$ ), umidade ( $X_2$ ) e % de feijão ( $X_3$ )

Fator	Teste F	P	Coeficiente de Regressão	Estimativa dos efeitos
Intercepto	--	0,000014 ***	72,0	72,0
$X_1$	1585,9	0,000630 ***	5,0	10,1
$X_1^2$	54,0	0,018012 *	1,0	2,0
$X_2$	422,9	0,002356 **	-2,6	-5,2
$X_2^2$	0,5	0,530834 <sup>n.s.</sup>	0,1	0,2
$X_3$	390,5	0,002550 **	-2,5	-5,0
$X_3^2$	0,0	0,913444 <sup>n.s.</sup>	0,0	0,0
$X_1 \cdot X_2$	555,3	0,001796 **	3,9	7,8
$X_1 \cdot X_3$	11,3	0,078042 <sup>n.s.</sup>	0,5	1,1
$X_2 \cdot X_3$	6,8	0,120129 <sup>n.s.</sup>	-0,4	-0,8
Falta de ajuste	664,1	0,001504 **	--	--
<b>R<sup>2</sup>: 0,47718</b>				
<b>F tab: 18,51</b>				

$X_1$ : Rotação do parafuso (rpm)

$X_2$ : Umidade (%)

$X_3$ : Feijão (%)

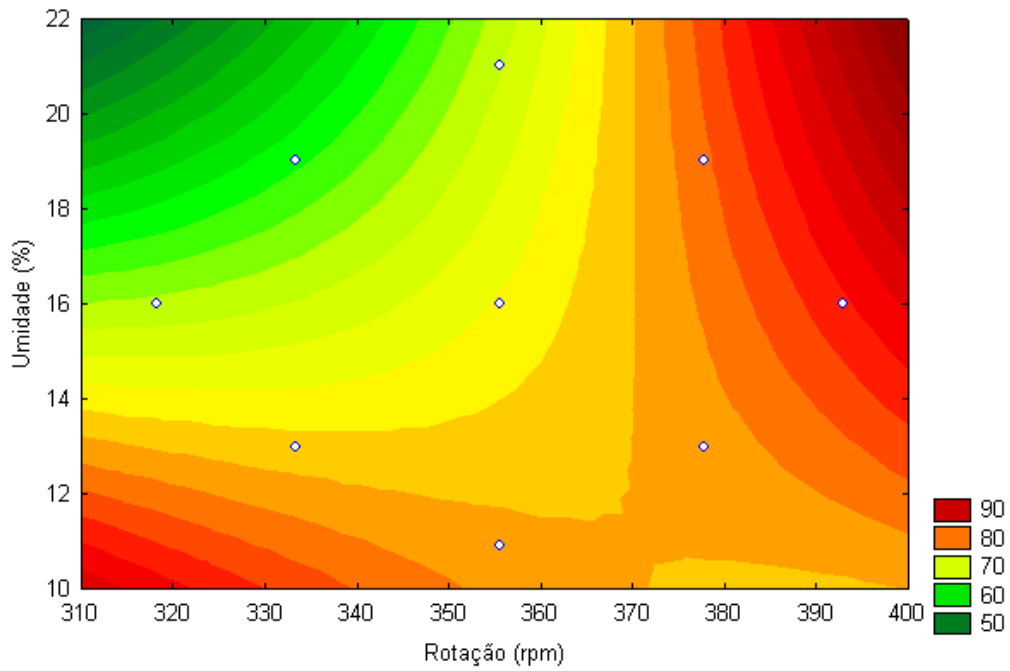
n.s.: não significativo

\* : significativo a 5% de probabilidade

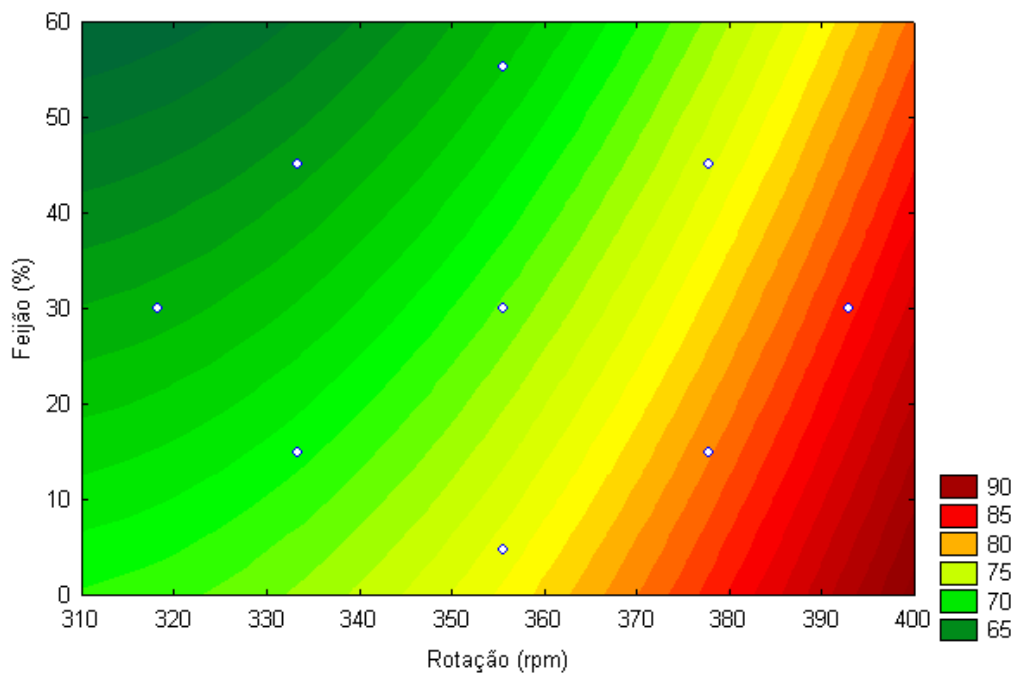
\*\* : significativo a 1% de probabilidade

\*\*\*: significativo a 0,01% de probabilidade

Por meio das Figuras 18, 19 e 20 verificam-se os efeitos das variáveis quantitativas rotação, umidade e feijão nos valores de torque. Estes efeitos são observados por meio de gráficos de superfície de contorno. Os valores de torque variaram entre 52,00 e 90,75 % sendo que o valor máximo atingido está relacionado ao tratamento 19 ( 355 rpm; 16 % umidade e 4,8 % feijão), entretanto, o menor valor registrado (52 %) foi relacionado ao tratamento 7 (333 rpm; 19 % umidade e 45 % feijão).

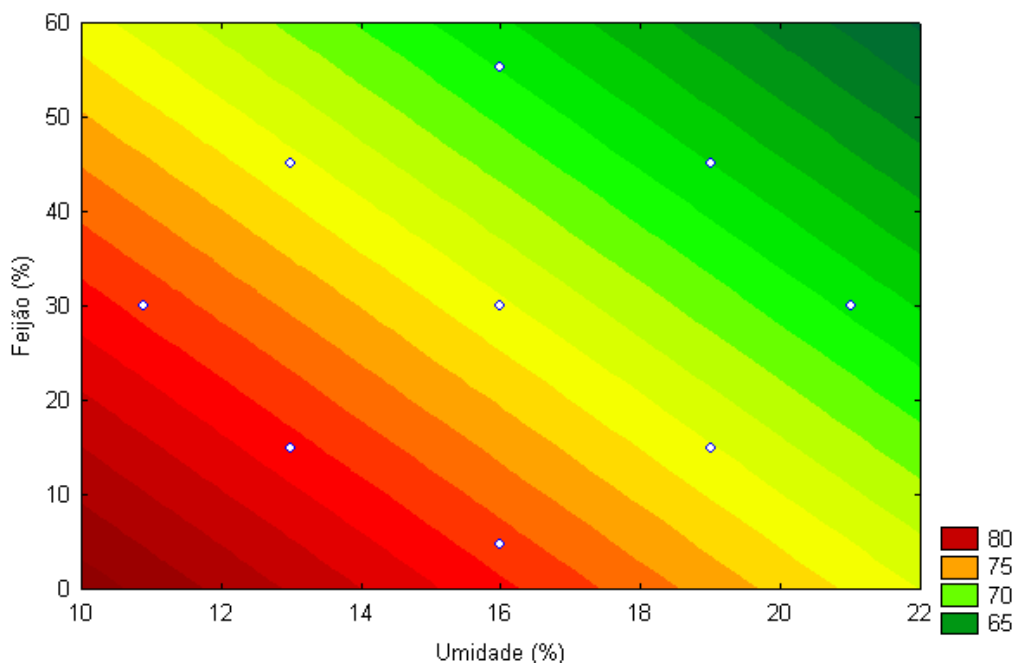


**Figura 18.** Efeito das variáveis quantitativas umidade (%) e rotação (rpm) no torque verificado durante o processamento dos extrudados expandidos a base de milho e feijão



**Figura 19.** Efeito das variáveis quantitativas feijão (%) e rotação (rpm) no torque verificado durante o processamento dos extrudados expandidos a base de milho e feijão





**Figura 20.** Efeito das variáveis quantitativas feijão (%) e umidade (%) no torque verificado durante o processamento dos extrudados expandidos a base de milho e feijão

Pelas considerações feitas por meio da análise de variância e fazendo uso dos coeficientes observados, a equação do modelo matemático proposta para as variáveis independentes fica reescrita como (Equação 11):

$$\text{Torque} = 72,0 + 5,0 X_1 + 1,0 X_1^2 - 2,6 X_2 - 2,5 X_3 + 3,9 X_1 \cdot X_2$$

(Equação 11)

Dessa forma foram utilizados esses dois parâmetros (torque e vazão) para calcular a EME que variou entre 32,20 e 58,88 kJ/kg.

Após a análise de variância e teste F, pôde-se verificar, para os valores da EME que, 86% da variação total foi explicada pelo modelo, atribuindo 14 % ao erro experimental (Tabela 11). O erro experimental neste caso pode estar atrelado a possíveis instabilidades do extrusor pelo fato de que as amostras não são extrudadas todas em apenas um dia devido a questões operacionais e de espaço físico. Além disso, o equipamento está sujeito a quedas de energia durante o processamento, entre outros.

Pôde ser observado ainda que, nenhuma variável estudada (rotação do parafuso, umidade e conteúdo de feijão) influenciou significativamente os valores da EME. Isso pode sugerir que a utilização de feijão em percentuais de até 55 % não afetaria a energia gasta durante o processamento de forma significativa. O mesmo seria válido para as demais variáveis.

Por outro lado Ruiz-Ruiz et al., (2008) também avaliando as condições físicas de extrudados elaborados com feijão e milho, verificaram que a umidade exerceu uma influência negativa na EME.

A energia mecânica específica é conhecida por influenciar na degradação macromolecular, na expansão e nas características celulares e textura de extrudados (MESA et al., 2009). Os mesmos autores, ao extrusarem produtos contendo soja em base de milho, detectaram que a velocidade do parafuso foi a variável fundamental na variação da EME. Quanto maior a velocidade, maior a energia gasta para processar o material. Isto pode ser explicado pelo aumento na taxa de cisalhamento. O mesmo efeito foi observado por Meng et al., (2010) ao extrusarem produtos a base de grão de bico.

Altan et al., (2009) ao verificarem a EME gasta ao extrusar produtos a base de cevada na forma de farinha e na forma de *grits* observaram que houve uma influência significativa da configuração do parafuso utilizado na EME. Além disso, o tipo da matéria-prima (farinha ou *grits*) também influenciou nos valores desta variável. Resultados similares foram observados por Carvalho et al., (2010). Estes autores verificaram que o tamanho de partículas do *grits* utilizado para a elaboração de expandidos influenciou significativamente, de forma negativa, os valores da EME.

Além disso, cabe ressaltar que o intercepto foi significativo ( $p < 0,01$ ) indicando que o ponto central foi escolhido adequadamente. Da mesma forma não foi evidenciada falta de ajuste dos dados ao modelo quadrático aplicado podendo sugerir que este modelo seja preditivo para o estudo em questão.

**Tabela 11.** Teste F da análise de variância, coeficiente de regressão, estimativa dos efeitos e respectivas probabilidades (P) do modelo de regressão quadrática aplicada a energia mecânica específica (EME) dos extrudados expandidos de milho e feijão BRS pontal, em função da rotação do parafuso ( $X_1$ ), umidade ( $X_2$ ) e % de feijão ( $X_3$ )

Fator	Teste F	P	Coefficiente de Regressão	Estimativa dos efeitos
Intercepto	--	0,002535 *	51,9	51,9
$X_1$	0,4	0,571984 <sup>n.s.</sup>	-0,8	-1,6
$X_1^2$	2,1	0,281971 <sup>n.s.</sup>	-2,0	-4,0
$X_2$	0,4	0,578814 <sup>n.s.</sup>	0,8	1,6
$X_2^2$	8,2	0,103553 <sup>n.s.</sup>	-3,9	-7,8
$X_3$	2,9	0,231345 <sup>n.s.</sup>	2,1	4,2
$X_3^2$	0,2	0,672117 <sup>n.s.</sup>	0,7	1,3
$X_1 \cdot X_2$	1,9	0,302200 <sup>n.s.</sup>	2,2	4,4
$X_1 \cdot X_3$	1,6	0,337256 <sup>n.s.</sup>	-2,0	-4,0
$X_2 \cdot X_3$	0,6	0,511202 <sup>n.s.</sup>	-1,3	-2,5
Falta de ajuste	0,2	0,928702 <sup>n.s.</sup>	--	--
<b>R<sup>2</sup>: 0,86084</b>				
<b>F tab: 18,51</b>				

$X_1$ : Rotação do parafuso (rpm)

$X_2$ : Umidade (%)

$X_3$ : Feijão (%)

n.s.: não significativo

\* : significativo a 5% de probabilidade

#### 2.4.4 Caracterização física dos extrudados expandidos

Por meio da Tabela 12 podem ser verificados os resultados encontrados para IER, IEL, IEV e DAP dos extrudados expandidos de milho e feijão do tipo Carioca.

**Tabela 12.** Resultados da caracterização física dos extrudados expandidos (*snacks*)

Tratamentos	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	IER	IEL	IEV	DAP (g/cm <sup>3</sup> )
1	333	13	15	26,62	2,46	65,49	0,05
2	378	13	15	35,33	1,63	57,68	0,06
3	333	19	15	16,90	2,52	42,53	0,12
4	378	19	15	26,60	2,05	54,56	0,12
5	333	13	45	22,41	2,23	50,03	0,08
6	378	13	45	23,24	1,67	38,78	0,10
7	333	19	45	4,54	2,38	10,80	0,52
8	378	19	45	5,29	3,41	18,04	0,55
9	355	16	30	20,77	1,89	39,22	0,11
10	355	16	30	13,16	2,41	31,72	0,20
11	355	16	30	16,00	1,69	27,07	0,17
12	355	16	30	13,71	3,41	46,70	0,17
13	355	16	30	10,46	3,20	33,52	0,20
14	355	16	30	12,18	3,14	38,22	0,17
15	318,2	16	30	12,85	2,19	28,17	0,17
16	392,9	16	30	21,90	2,74	59,94	0,11
17	355	10,9	30	31,29	1,31	40,96	0,07
18	355	21,0	30	7,15	2,63	18,84	0,53
19	355	16	4,8	21,16	3,17	67,01	0,10
20	355	16	55,2	7,66	2,89	22,17	0,31
Marca comercial A*	-	-	-	25,00	1,75	43,75	0,12

X<sub>1</sub>: Rotação do parafuso (rpm); X<sub>2</sub>: Umidade do processamento (%); X<sub>3</sub>: Feijão (%); IER: Índice de Expansão Radial; IEL: Índice de Expansão Longitudinal; IEV: Índice de Expansão Volumétrico; DAP: Densidade Aparente; \* Supondo umidade inicial no condicionamento de 16% para o cálculo de IEL e matriz radial de 3mm para o cálculo do IER.

#### 2.4.4.1 Índice de expansão radial (IER)

O índice de expansão radial provavelmente é o teste de caracterização física mais importante dos produtos extrudados. Por meio deste índice pode-se em primeira observação, prever quão drástico ou leve foi o processo de extrusão. Além disso, pode-se verificar se determinada matéria-prima quando extrusada possui uma composição apropriada para a elaboração do produto final desejado (LAUNAY e KONE, 1999).

A determinação do grau de expansão de um produto extrudado é de grande importância na avaliação da qualidade bem como no monitoramento do processo. Quando os extrudados emergem da matriz do extrusor, repentinamente há uma queda drástica na pressão causando uma extensiva evaporação da umidade interna do material fundido resultando na formação de bolhas de ar neste material o que permite que haja expansão (BOUZAZA et al., 1996).

Entende-se por expansão o processo que acontece como parte do cozimento por extrusão. Neste caso, cria-se compartimentos de ar ou células de gás no produto decrescendo assim a densidade aparente do produto. Alguns desses compartimentos de ar são abertos e, assim o ar pode mover-se livremente de uma célula para a outra. Outros compartimentos são fechados evitando assim movimento do ar entre os poros. A expansão de extrudados é dependente do desenvolvimento desses compartimentos de ar ou bolhas os quais são criados quando o vapor de água se expande assim que o extrudado sai da matriz (ALI et al., 1996).

Os resultados da análise de regressão quadrática aplicada podem ser verificados por meio da Tabela 13. O valor do coeficiente de determinação da regressão foi em torno de 96 % atribuindo apenas 4 % ao erro experimental. Nota-se que, todas as variáveis (rotação, umidade e feijão), com efeitos lineares e quadráticos, influenciaram significativamente a expansão radial dos extrudados, exceto a interação entre a rotação e a umidade dos extrudados.

Pode-se verificar que a rotação do parafuso exerceu um efeito linear positivo ( $p < 0,01$ ) sobre o IER. Também foi verificado um efeito quadrático ( $p < 0,05$ ). Isso quer dizer que a expansão dos *snacks* é aumentada de acordo com o aumento da velocidade do parafuso. Chinnaswamy e Hanna (1988) observaram que, quando o amido de milho extrudado a temperatura e umidade constantes, o índice de expansão aumenta com o incremento da velocidade do parafuso. A maior velocidade do parafuso causa um aumento na taxa de cisalhamento implicando em um maior grau de degradação e/ou cozimento do material. Porém, como consequência do aumento da velocidade, observa-se menor tempo de residência do material no canhão. Isso pode implicar em menor cozimento do material. Entretanto, todos os parâmetros devem ser estudados em conjunto a fim de se conseguir qualidade no produto final.

O mesmo efeito foi observado por Meng et al., (2010). Os autores avaliaram os efeitos da rotação do parafuso em *snacks* a base de grão de bico e verificaram que o aumento da velocidade do parafuso elevou os valores de índice de expansão destes produtos.

Da mesma forma, Ding et al., (2005) verificaram que a velocidade do parafuso foi fundamental e significativa nos resultados de expansão em extrudados a base de arroz.

Ainda com relação ao efeito das variáveis dependentes, nota-se por meio da Tabela 13 que a umidade exerceu um efeito linear negativo sobre o IER ( $p < 0,01$ ). Também foi observado um efeito quadrático ( $p < 0,01$ ). Estes resultados estão de acordo com os achados de Alvarez-Martinez et al., (1988). O aumento do teor de água, durante

o condicionamento da matéria-prima, provocou uma redução nos valores de índice de expansão radial. O aumento do conteúdo de água favorece, juntamente com o calor aplicado, a gelatinização do material. Entretanto, a água exerce um efeito lubrificante dentro do canhão reduzindo a taxa de cisalhamento, assim como a temperatura interna no extrusor. Com isso, pode ocorrer a redução do cozimento do material e consequentemente da sua expansão. Alvarez-Martinez et al., (1988) explicam que quando não há rompimento da cadeia de amilopectina durante o processo de extrusão observa-se um aumento da expansão radial. A adição de feijão à base de milho provocou um efeito linear negativo na expansão dos *snacks* ( $p < 0,01$ ). O feijão, apesar de ser um material amiláceo, possui em torno de 20% de proteínas, o que reduz o conteúdo total de amido na mistura. Com isso, comparando-se com o milho, o aumento do teor de feijão reduz a expansão dos extrudados. O mesmo efeito foi observado por Dokic et al., (2009) que, ao adicionarem amaranto à mistura com milho observaram uma redução no índice de expansão radial dos extrudados. Altan et al., (2008) verificaram redução nos valores de expansão ao aumentarem os teores de bagaço de tomate na mistura com bagaço de cevada para a elaboração de *snacks*. Porém, os valores de expansão verificados nestes extrudados foram muito inferiores (0,89 e 2,01) quando comparados aos extrudados de milho e feijão do presente estudo.

Cabe ressaltar ainda que, as interações entre rotação e umidade assim como umidade e feijão exerceram efeito significativo ( $p < 0,05$ ) na variável resposta em questão.

Nota-se ainda que, o intercepto fora significativo ( $p < 0,01$ ) indicando que o ponto central fora escolhido adequadamente. Além disso, não foi evidenciada falta de ajuste dos dados experimentais ao modelo quadrático aplicado ( $p > 0,05$ ).

**Tabela 13.** 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 (IER) dos extrudados expandidos de milho e feijão BRS pontal, em função da rotação do parafuso ( $X_1$ ), umidade ( $X_2$ ) e % de feijão ( $X_3$ )

Fator	Teste F	P	Coeficiente de Regressão	Estimativa dos efeitos
Intercepto	--	0,001215 **	12,8	12,8
$X_1$	150,4	0,006584 **	2,6	5,2
$X_1^2$	88,8	0,011077 *	2,2	4,4
$X_2$	1091,7	0,000915 ***	-6,9	-13,9
$X_2^2$	149,8	0,006610 **	2,8	5,7
$X_3$	640,6	0,001557 **	-5,3	-10,6
$X_3^2$	23,9	0,039397 *	1,1	2,3
$X_1 \cdot X_2$	0,2	0,717888 <sup>n.s.</sup>	0,1	0,2
$X_1 \cdot X_3$	58,6	0,016645 *	-2,1	-4,2
$X_2 \cdot X_3$	62,5	0,015624 *	-2,2	-4,3
Falta de ajuste	14,3	0,066471 <sup>n.s.</sup>	--	--
<b>R<sup>2</sup>: 0,96746</b>				
<b>F tab: 18,51</b>				

$X_1$ : Rotação do parafuso (rpm)

$X_2$ : Umidade (%)

$X_3$ : Feijão (%)

n.s.: não significativo

\* : significativo a 5% de probabilidade

\*\* : significativo a 1% de probabilidade

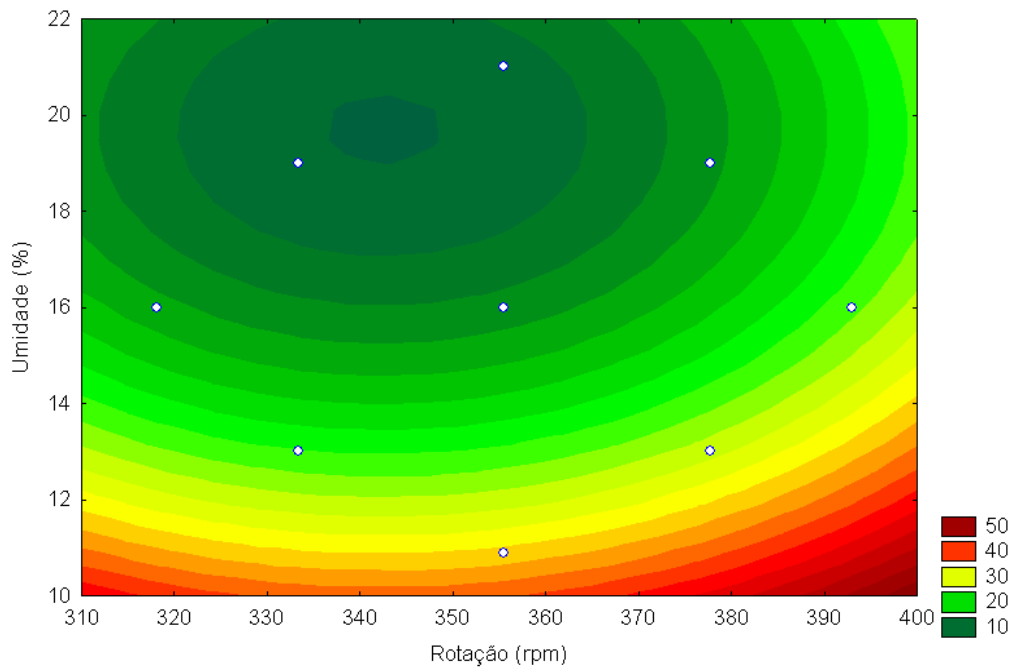
\*\*\*: significativo a 0,01% de probabilidade

Pelas considerações feitas por meio da análise de variância e fazendo uso dos coeficientes observados, a equação do modelo matemático proposta para as variáveis independentes fica rescrita como (Equação 12):

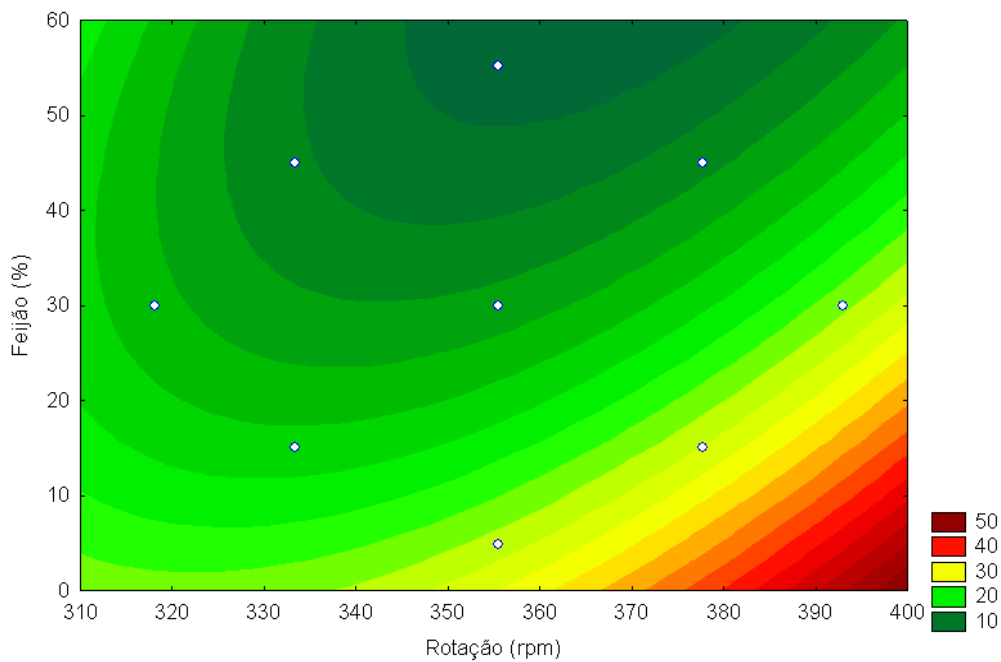
$$\text{IER} = 12,8 + 2,6 X_1 + 2,2 X_1^2 - 6,9 X_2 + 2,8 X_2^2 - 5,3 X_3 + 1,1 X_3^2 - 2,1 X_1 \cdot X_3 - 2,2 X_2 \cdot X_3$$

(Equação 12)

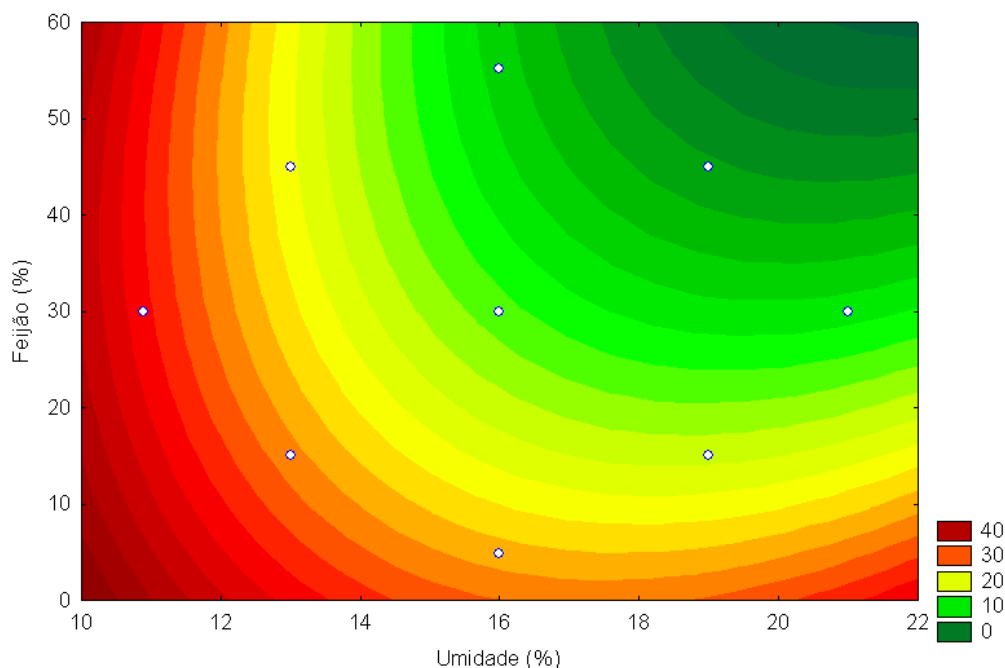
Por meio das Figuras 21, 22 e 23 podem ser observados os efeitos das variáveis quantitativas umidade e rotação, feijão e rotação assim como umidade e feijão no índice de expansão radial dos extrudados expandidos a base de milho e feijão. Estes efeitos são observados por meio de gráficos de superfície de contorno. Os valores de IER variaram entre 4,5 e 35 sendo que o valor máximo atingido está relacionado ao tratamento que apresentou maior rotação, menor umidade e conteúdo de feijão (tratamento 2: 378 rpm; 13% umidade e 15% feijão) e o menor valor relacionado ao tratamento com rotação reduzida, porém conteúdo elevado de umidade e feijão (tratamento 7: 333 rpm; 19% umidade e 45% feijão).



**Figura 21.** Efeito das variáveis quantitativas umidade (%) e rotação (rpm) no índice de expansão radial (IER) dos extrudados expandidos a base de milho e feijão



**Figura 22.** Efeito das variáveis quantitativas feijão (%) e rotação (rpm) no índice de expansão radial (IER) dos extrudados expandidos a base de milho e feijão



**Figura 23.** Efeito das variáveis quantitativas umidade (%) e feijão (%) no índice de expansão radial (IER) dos extrudados expandidos a base de milho e feijão

#### 2.4.4.2 Índice de expansão longitudinal (IEL)

O índice de expansão longitudinal pode ser explicado como sendo a razão entre a velocidade do material extrudado antes da saída da matriz e quando este deixa a matriz. De acordo com Alvarez-Martinez et al., (1988), o IEL é inversamente proporcional ao IER, ou seja, valores elevados de IER resultam em valores reduzidos de IEL. A razão para isso pode ser que, como os extrudados surgem a partir da matriz, o impulso para a expulsão do material favorece a expansão longitudinal.

Por meio da Tabela 14 verifica-se que, de acordo com a regressão quadrática aplicada 79% da variação total foi explicada pelo modelo, atribuindo 21% aos resíduos que podem estar relacionados à possíveis oscilações de umidade relativa do ambiente, embalagem plástica para coletar o material com problemas de troca de calor, estufa de circulação de ar instável, dentre outros.

É possível observar que nenhuma variável dependente exerceu efeito sobre o IEL ( $p > 0,05$ ). Ou seja, os valores de IEL não sofreram influência com as oscilações de rotação, umidade e do conteúdo de feijão.

Evidencia-se também que não houve falta de ajuste dos dados experimentais ao modelo quadrático aplicado podendo assim sugerir que o modelo seja preditivo para o presente estudo.

Carvalho et al., (2010) avaliando as propriedades físicas de extrudados produzidos com fubá verificaram que as amostras que possuíam valores elevados de IER apresentaram valores reduzidos para o IEL. Alvarez-Martinez et al., (1988) verificaram associações inversamente proporcionais entre o IEL e as variáveis umidade e temperatura na última zona do extrusor. Os autores sugerem que as características da cadeia de amilopectina podem talvez determinar o comportamento deste índice. Para os autores, o aumento do diâmetro do extrudado desfavorece o aumento longitudinal dos



mesmos. Além disso, foi verificado também que a redução do diâmetro da matriz interferiu de forma negativa nos valores de IEL, pois o comprimento dos extrudados foi menor quando comparados à expansão radial.

**Tabela 14.** 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 longitudinal (IEL) dos extrudados expandidos de milho e feijão BRS pontal, em função da rotação do parafuso ( $X_1$ ), umidade ( $X_2$ ) e % de feijão ( $X_3$ )

Fator	Teste F	P	Coefficiente de Regressão	Estimativa dos efeitos
Intercepto	--	0,009743 *	3,0	3,0
$X_1$	0,0	0,965239 <sup>n.s.</sup>	0,0	0,0
$X_1^2$	2,1	0,288004 <sup>n.s.</sup>	-0,2	-0,4
$X_2$	5,8	0,138389 <sup>n.s.</sup>	0,3	0,7
$X_2^2$	6,6	0,123833 <sup>n.s.</sup>	-0,4	-0,8
$X_3$	0,1	0,797235 <sup>n.s.</sup>	0,0	0,1
$X_3^2$	0,0	0,903904 <sup>n.s.</sup>	0,0	0,0
$X_1 \cdot X_2$	1,8	0,314189 <sup>n.s.</sup>	0,2	0,5
$X_1 \cdot X_3$	1,5	0,349995 <sup>n.s.</sup>	0,2	0,4
$X_2 \cdot X_3$	0,9	0,436911 <sup>n.s.</sup>	0,2	0,4
Falta de ajuste	0,5	0,761919 <sup>n.s.</sup>	--	--
<b>R<sup>2</sup>: 0,79558</b>				
<b>F tab: 18,51</b>				

$X_1$ : Rotação do parafuso (rpm)

$X_2$ : Umidade (%)

$X_3$ : Feijão (%)

n.s.: não significativo

\* : significativo a 5% de probabilidade

#### 2.4.4.3 Índice de expansão volumétrico (IEV)

O índice de expansão volumétrico é o produto dos índices de expansão radial e longitudinal. Ou seja, os fatores que afetam estes dois últimos índices, por sua vez, irão afetar o IEV.

Por meio da Tabela 15 verifica-se que 90% da variação total foi explicada pelo modelo, atribuindo 10% ao erro experimental. Deste modo verifica-se ainda que, tanto a umidade quanto o conteúdo de feijão na mistura exerceram um efeito linear negativo no IEV. Isso quer dizer que, tanto o aumento do conteúdo de umidade quanto o de feijão afetam os valores de IEV, reduzindo este índice. Como citado anteriormente, a expansão radial é afetada pelo conteúdo de umidade do material. A forte dependência do conteúdo de umidade sobre a expansão indica a importância do IER sobre o IEV.

Alvarez-Martinez et al. (1988) verificaram, em extrudados a base de milho que, a umidade assim como a temperatura foram as variáveis que mais influenciaram os valores de IEV.

Altan et al. (2009) verificaram que o tamanho das partículas das matérias-primas que afetaram significativamente a expansão e a densidade dos extrudados, é inversamente proporcional ao índice de expansão volumétrico e que favoreceu

desproporcionalmente a expansão longitudinal. De acordo com Carvalho et al. (2010) o índice de expansão volumétrico tende a reduzir com o aumento do tamanho de partícula das matérias-primas.

Além disso, pode-se verificar o intercepto fora significativo ( $p < 0,05$ ) sugerindo que o ponto central foi escolhido adequadamente. Também, não foi evidenciada falta de ajuste dos dados experimentais ao modelo aplicado.

**Tabela 15.** 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 volumétrico (IEV) dos extrudados expandidos de milho e feijão BRS pontal, em função da rotação do parafuso ( $X_1$ ), umidade ( $X_2$ ) e % de feijão ( $X_3$ )

Fator	Teste F	P	Coefficiente de Regressão	Estimativa dos efeitos
Intercepto	--	0,012275 *	38,7	38,7
$X_1$	3,7	0,193211 <sup>n.s.</sup>	3,9	7,9
$X_1^2$	1,2	0,391046 <sup>n.s.</sup>	2,4	4,9
$X_2$	19,7	0,047158 *	-9,0	-18,1
$X_2^2$	1,3	0,368138 <sup>n.s.</sup>	-2,6	-5,2
$X_3$	41,1	0,023464 *	-13,0	-26,1
$X_3^2$	1,4	0,362453 <sup>n.s.</sup>	2,6	5,2
$X_1, X_2$	3,3	0,212991 <sup>n.s.</sup>	4,8	9,6
$X_1, X_3$	0,2	0,735827 <sup>n.s.</sup>	-1,0	-2,1
$X_2, X_3$	2,5	0,251743 <sup>n.s.</sup>	-4,2	-8,5
Falta de ajuste	1,3	0,481260 <sup>n.s.</sup>	--	--
<b>R<sup>2</sup>: 0,89732</b>				
<b>F tab: 18,51</b>				

$X_1$ : Rotação do parafuso (rpm)

$X_2$ : Umidade (%)

$X_3$ : Feijão (%)

n.s.: não significativo

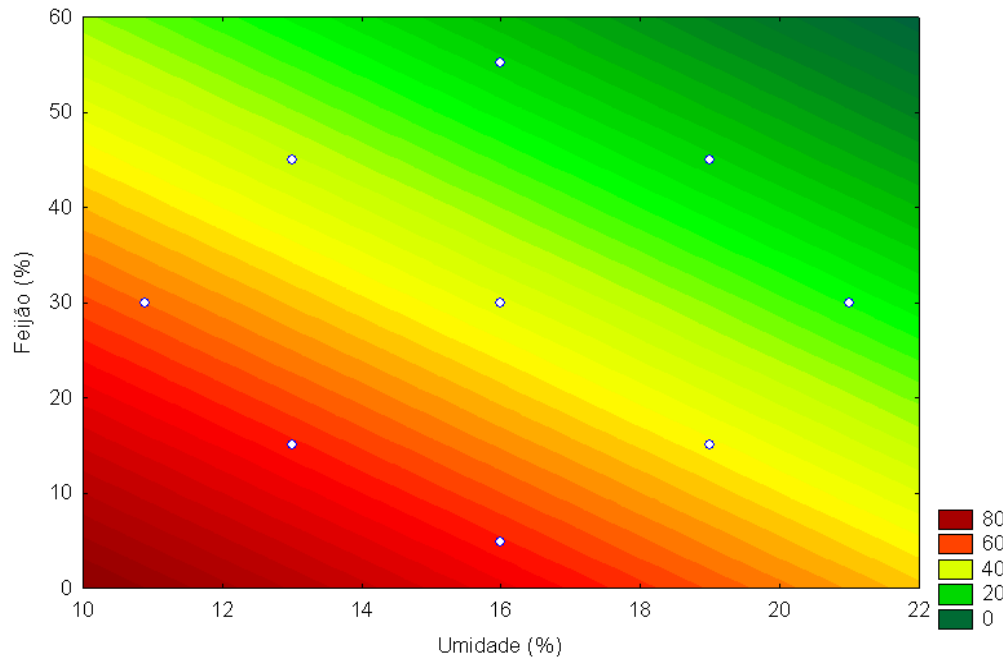
\* : significativo a 5% de probabilidade

Pelas considerações feitas por meio da análise de variância e fazendo uso dos coeficientes observados, a equação do modelo matemático proposta para as variáveis independentes fica rescrita como (Equação 13):

$$\text{IEV} = 38,7 - 9,0 X_2 - 13,0 X_3$$

(Equação 13)

Por meio da Figura 24 verificam-se os efeitos das variáveis quantitativas umidade e feijão nos valores de IEV. Estes efeitos são observados por meio de gráficos de superfície de contorno. Os valores de IEV variaram entre 10,8 e 67 sendo que o valor máximo atingido está relacionado ao tratamento que possui menor conteúdo de feijão (tratamento 19 = 4,8% feijão; 16% umidade), entretanto, o menor índice de expansão volumétrico (10,8) está relacionado ao tratamento com elevado teor de feijão e umidade (tratamento 7 = 45% feijão; 19% umidade).



**Figura 24.** Efeito das variáveis quantitativas umidade (%) e feijão (%) no índice de expansão volumétrico (IEV) dos extrudados expandidos a base de milho e feijão

#### 2.4.4.4 Densidade aparente (DAP) dos extrudados expandidos de milho e feijão

A densidade aparente geralmente está relacionada com o IER. Extrudados com altos índices de expansão radial tendem a apresentar menor densidade aparente, pois a formação de bolhas internas de ar na estrutura do material aumenta o volume do extrudado e conseqüentemente reduz o seu peso, aumentando assim, a crocância.

A densidade aparente é uma medida importante no desenvolvimento de *snacks* em nível industrial. Por meio da verificação do peso e volume dos extrudados pode-se planejar, por exemplo, o tamanho de embalagens, o tipo de material a ser utilizado na confecção das mesmas, o espaço ocupado pelo produto dentro de cada lote a ser encaminhado para o transporte, entre outros.

Sendo assim, de acordo com a análise de variância aplicada para os resultados de densidade aparente dos extrudados expandidos (Tabela 16), verifica-se que 97% da variação total foi explicada pelo modelo, atribuindo apenas 3% aos resíduos. Não é verificada falta de ajuste dos dados ao modelo quadrático aplicado podendo sugerir que o modelo seja preditivo para a análise da variável em questão. Nota-se, por meio do teste F da análise de variância que a umidade exerceu tanto um efeito linear positivo ( $p < 0,01$ ) quanto quadrático ( $p < 0,05$ ), na densidade aparente dos extrudados de milho e feijão. Isso quer dizer que, com o aumento linear do teor de umidade verifica-se o aumento da densidade aparente. A redução do teor de umidade inicial do material reduz o peso dos *snacks*, pela evaporação da água por diferença de pressão, na saída da matriz. Elevado conteúdo de água dificulta a evaporação da mesma no momento da saída do extrusor, provocando aumento de peso do extrudado. Nota-se ainda que, o aumento do conteúdo de feijão na mistura eleva a densidade aparente dos extrudados. A composição do feijão, por tratar-se de uma leguminosa com maior teor de proteínas e maior peso molecular, pode ocasionar o aumento da densidade do produto. Além disso, o maior teor de sólidos devido a quantidade de fibras, vitaminas e minerais presentes no feijão pode também contribuir para tal evento. Adicionalmente, a interação entre a umidade e o conteúdo de feijão também exerceram efeito significativo ( $p < 0,01$ ) na densidade aparente dos extrudados.

**Tabela 16.** Teste F da análise de variância, coeficiente de regressão, estimativa dos efeitos e respectivas probabilidades (P) do modelo de regressão quadrática aplicada a densidade aparente (DAP) dos extrudados expandidos de milho e feijão BRS pontal, em função da rotação do parafuso ( $X_1$ ), umidade ( $X_2$ ) e % de feijão ( $X_3$ )

Fator	Teste F	P	Coeficiente de Regressão	Estimativa dos efeitos
Intercepto	--	0,003233 **	0,2	0,2
$X_1$	0,2	0,694994 <sup>n.s.</sup>	0,0	0,0
$X_1^2$	9,4	0,091579 <sup>n.s.</sup>	0,0	0,0
$X_2$	748,4	0,001334 **	0,1	0,3
$X_2^2$	52,6	0,018483 *	0,0	0,1
$X_3$	358,7	0,002776 **	0,1	0,2
$X_3^2$	0,6	0,529642 <sup>n.s.</sup>	0,0	0,0
$X_1 \cdot X_2$	0,0	0,922266 <sup>n.s.</sup>	0,0	0,0
$X_1 \cdot X_3$	1,1	0,408407 <sup>n.s.</sup>	0,0	0,0
$X_2 \cdot X_3$	226,5	0,004386 **	0,1	0,2
Falta de ajuste	7,6	0,121068 <sup>n.s.</sup>	--	--
<b>R<sup>2</sup>: 0,97272</b>				
<b>F tab: 18,51</b>				

$X_1$ : Rotação do parafuso (rpm)

$X_2$ : Umidade (%)

$X_3$ : Feijão (%)

n.s.: não significativo

\* : significativo a 5% de probabilidade

\*\* : significativo a 1% de probabilidade

Ding et al., (2006) avaliando os efeitos de alguns parâmetros de extrusão na densidade aparente de extrudados expandidos a base de trigo observaram também que, a umidade inicial da matéria-prima foi a variável que obteve maior relação com a densidade aparente do produto. Da mesma forma que o observado com os *snacks* de milho e feijão deste estudo, os autores verificaram uma relação positiva da umidade com a densidade aparente. Ou seja, o aumento da umidade inicial influenciou positivamente no aumento da densidade dos expandidos. A rotação do parafuso assim como a temperatura também influenciaram na densidade dos extrudados, porém com menor intensidade.

Diversos autores afirmam que a umidade tem sido o principal fator relacionado aos valores de expansão e densidade (FAUBION e HOSENEY, 1982; LIU et al., 2000), o que consiste com os achados neste presente estudo.

Essa dependência da umidade com a densidade aparente e a expansão reflete sua influência nas características elásticas do material amiláceo. O aumento do teor de umidade durante a extrusão pode reduzir a elasticidade da massa, resultando inclusive em menores valores de energia mecânica específica e, além disso, reduz a capacidade de gelatinização do material, reduzindo a expansão e aumentando a densidade aparente (DING et al., 2006).

Esses mesmos autores, em 2005, ao avaliarem os efeitos de alguns parâmetros de extrusão nas características físicas de extrudados expandidos a base de arroz verificaram que, os valores da densidade aparente foram significativamente afetados pela umidade inicial das amostras.

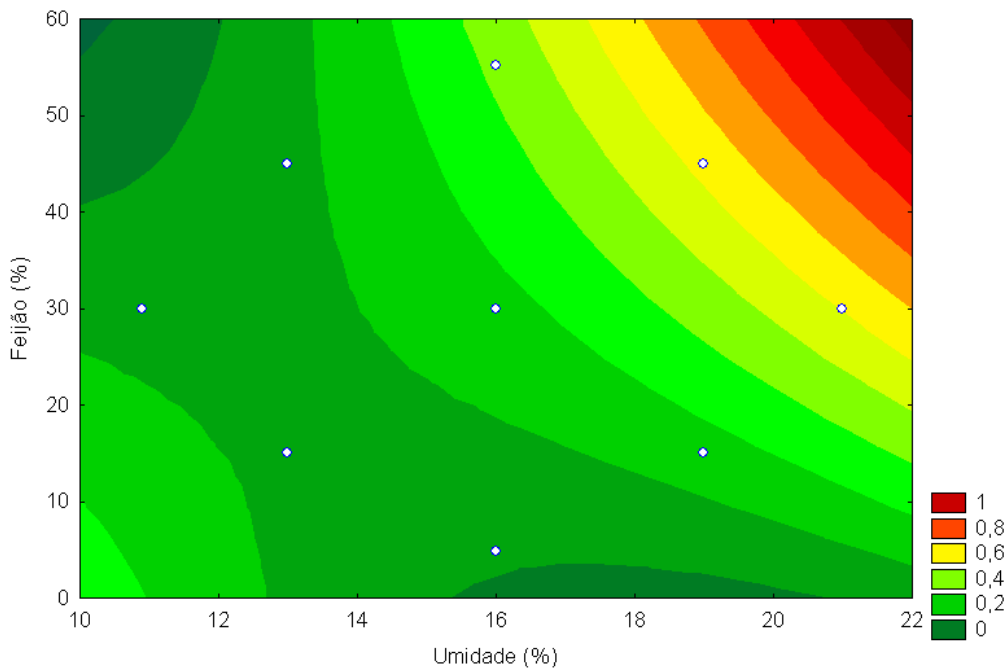
Foi observado também por Ding et al., (2006) que o aumento da rotação do parafuso resultou em extrudados com valores reduzidos de densidade aparente. Altas taxas de cisalhamento podem reduzir a viscosidade do material resultando na redução da densidade do extrudado.

Pelas considerações feitas por meio da análise de variância e fazendo uso dos coeficientes observados, a equação do modelo matemático proposta para as variáveis independentes fica rescrita como (Equação 14):

$$\text{DAP} = 0,2 + 0,1 X_2 + 0,0 X_2^2 + 0,1 X_3 + 0,1 X_2 \cdot X_3$$

(Equação 14)

Por meio da Figura 25 verificam-se os efeitos das variáveis quantitativas umidade e feijão nos valores de DAP. Os valores dessa variável oscilaram entre 0,05 e 0,55 g/cm<sup>3</sup> sendo que o valor máximo atingido está relacionado ao tratamento que possui elevado teor de umidade assim como de feijão (tratamento 8 = 45% feijão; 19% umidade), entretanto, o menor valor da densidade aparente (0,05 g/cm<sup>3</sup>) está relacionado ao tratamento com teor reduzido de umidade assim como de feijão (tratamento 1 = 15% feijão; 13% umidade).



**Figura 25.** Efeito das variáveis quantitativas umidade (%) e feijão (%) na densidade aparente (DAP) dos extrudados expandidos a base de milho e feijão

#### 2.4.4.5 Textura instrumental dos extrudados expandidos de milho e feijão

A intenção de compra de um produto tipo *snack* está relacionada à fatores sensoriais como textura, aparência e sabor, sendo a textura considerada um dos fatores mais importantes. A textura possui grande peso na comercialização de *snacks* e geralmente é influenciada pelas condições de processamento por extrusão.

Os parâmetros que controlam as propriedades mecânicas do material celular tais como a densidade, espessura da parede celular, tamanho e número de células são esperadas para prever a crocância dos produtos (GURAYA e TOLEDO, 1996).

Crocância é um atributo complexo relacionado por um lado a múltiplas sensações e por outro, a múltiplos parâmetros físicos combinando processos moleculares, estruturais, processamento assim como condições de estocagem (ROUDAUT et al., 2002).

A concepção de textura em extrudados, avaliando-se a crocância, coloca em evidência a sinergia entre avaliações físicas e sensoriais relacionadas a este atributo (BOUVIER et al., 1997). De acordo com o autor, a estrutura celular juntamente com características da parede celular determinam tanto propriedades físicas quanto mecânicas, acústicas e sensoriais.

Essas propriedades podem ser medidas objetivamente através dos métodos instrumentais. Quatro critérios foram descritos por Bouvier e colaboradores (1997) para analisar a crocância dos extrudados. São eles: frequência espacial de rupturas (Nsr), média da força específica das rupturas (Fsr), média da força de punctura (F) e trabalho de crocância (Wc).

A frequência espacial de rupturas (Nsr) assim como a força realizada durante a punctura (F) estão correlacionadas com a crocância e a dureza, sendo que esta última relacionada a testes sensoriais (ROUDAUT et al., 2002). A força de compressão avaliada isoladamente é insuficiente para descrever a textura de produtos crocantes (GURAYA e TOLEDO, 1996).

Por meio da Tabela 17 podem ser observados os resultados referentes à análise de textura, através do teste de punctura, dos extrudados expandidos de milho e feijão. Observa-se que, com relação a propriedade da frequência espacial de rupturas os resultados variaram entre 0,12 e 0,25 mm<sup>-1</sup>. Estes valores estão relacionados a energia mecânica específica aplicada durante o processamento. Os menores valores de Nsr estão relacionados aos tratamentos cuja EME gasta para processar o material foi menor. Por outro lado o maior valor de Nsr está associado ao tratamento com elevada EME (T5: EME: 51,96). Este achado encontra-se de acordo com o citado por Bouvier et al., (1997) onde extrudados produzidos com elevada energia mecânica específica apresentaram maiores valores de Nsr. Entretanto aqueles produzidos com menor energia mecânica específica apresentaram valores reduzidos com relação a esta propriedade.

Foi verificado também que, comparando com o valor referente a marca comercial de um *snack*, os tratamentos cuja a EME gasta para processar o material foi maior, não apresentaram diferença significativa, demonstrando uma relação similar entre esses extrudados de milho e feijão com a marca comercial analisada.

A EME é a energia gasta para processar o material no interior do equipamento. O aumento da energia interna pode favorecer a conversão do amido e com isso, desenvolver a estrutura de bolhas de ar no interior do extrudado aumentando a quantidade de células deste tipo. Extrudados com grande quantidade de células apresentam maiores valores de Nsr.

Pôde ser observado, quanto a média da força específica das rupturas (Fsr) que, os maiores valores referentes a esta propriedade estão relacionados aos tratamentos cuja

EME gasta para extrusar foi menor. Entretanto o contrário também pôde ser observado. Estes valores variaram entre 0,30 e 1,09 N (Tabela 17). Para avaliar se um extrudado possui crocância é necessário que a força gasta para o rompimento das células seja menor. Para isso é necessário que haja transformação da estrutura molecular do amido e consequentemente formação de bolhas de ar interna com paredes mais finas e maior número de células, o que geralmente é obtido com maior gasto de energia para processar o material. Também pôde ser verificado que, os *snacks* de milho e feijão produzidos com maior EME e, com valores de Fsr reduzidos não apresentaram diferença significativa com a marca comercial de snack.

A força de punctura (F) reflete a força exercida para atravessar, com o probe, a parede das células presentes nos extrudados. Quanto menor for a força exercida, pode-se sugerir que as células sejam rompidas com maior facilidade configurando assim um produto mais crocante. Sendo assim, de acordo com os resultados obtidos pôde-se verificar que estes variaram entre 0,09 e 0,35 N (Tabela 17). Não foi evidenciada uma relação direta entre as variáveis rotação do parafuso, umidade e conteúdo de feijão com os valores de força de punctura. Aparentemente, a maioria dos extrudados apresentou boas características de crocância, pois nota-se também que, as médias obtidas para cada tratamento, na maior parte, não obtiveram diferença significativa quando comparadas à marca comercial de snack.

Os resultados referentes ao trabalho de crocância ( $W_c$ ) das amostras extrusadas de milho e feijão variaram entre 0,43 e 2,80 N.mm (Tabela 17). Esta propriedade reúne informações referentes a F e Nsr e está diretamente relacionado com a crocância do material extrudado. Nota-se mais uma vez que, os tratamentos cuja EME gasta para extrusar a mistura foi menor, registraram maiores valores de  $W_c$ . Nota-se também que os parâmetros de extrusão considerados neste estudo, aparentemente não influenciam o trabalho de crocância. Entretanto alguns autores afirmam que o aumento do conteúdo de umidade da mistura pode ocasionar a redução da expansão por conseqüente reduzida formação de bolhas de ar e número de células internas no extrudado. Assim, esse aspecto pode estar relacionado com a redução da crocância do material. Por outro lado, a redução do conteúdo de água eleva a energia mecânica específica favorecendo a conversão do amido e consequentemente a degradação da estrutura molecular resultando em uma estrutura mais frágil e com ótima fraturabilidade (ROUDAUT et al., 2002).

Aparentemente foi observado que os níveis de feijão utilizados na mistura não afetaram as características de crocância dos expandidos, assim como a umidade e a rotação do parafuso. Entretanto pode ser que haja alguma correlação com os teores de umidade visto que o acréscimo de água ao material reduz sua expansão, porém o mesmo não foi evidenciado. Para se obter crocância, pode-se sugerir a utilização de níveis de feijão em até 45% para a elaboração de extrudados a base de milho.



**Tabela 17.** Média dos resultados da textura instrumental dos extrudados expandidos (*snacks*)\*

Tratamentos	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	Frequência Espacial de Rupturas: <i>Nsr</i> (mm <sup>-1</sup> )	Média da Força específica das rupturas: <i>Fsr</i> (N)	Média da Força de punctura: <i>F</i> (N)	Trabalho de crocância: <i>Wc</i> (N.mm)
1	333	13	15	0,18 <sup>bcd</sup>	0,64 <sup>abcd</sup>	0,14 <sup>ab</sup>	0,83 <sup>abc</sup>
2	378	13	15	0,19 <sup>cdef</sup>	0,64 <sup>abcd</sup>	0,32 <sup>e</sup>	1,72 <sup>d</sup>
3	333	19	15	0,21 <sup>efgh</sup>	0,76 <sup>abcd</sup>	0,10 <sup>a</sup>	0,50 <sup>a</sup>
4	378	19	15	0,14 <sup>abc</sup>	0,79 <sup>bcd</sup>	0,19 <sup>bc</sup>	1,43 <sup>bcd</sup>
5	333	13	45	0,25 <sup>h</sup>	0,30 <sup>a</sup>	0,13 <sup>ab</sup>	0,51 <sup>ab</sup>
6	378	13	45	0,20 <sup>cdef</sup>	0,60 <sup>abcd</sup>	0,22 <sup>cd</sup>	1,25 <sup>cd</sup>
9	355	16	30	0,16 <sup>abcd</sup>	0,75 <sup>cd</sup>	0,28 <sup>de</sup>	1,81 <sup>d</sup>
10	355	16	30	0,12 <sup>a</sup>	1,09 <sup>e</sup>	0,30 <sup>de</sup>	2,63 <sup>e</sup>
11	355	16	30	0,13 <sup>ab</sup>	0,96 <sup>de</sup>	0,35 <sup>e</sup>	2,80 <sup>e</sup>
12	355	16	30	0,20 <sup>efg</sup>	1,02 <sup>abc</sup>	0,14 <sup>ab</sup>	0,67 <sup>abc</sup>
13	355	16	30	0,20 <sup>efg</sup>	0,46 <sup>ab</sup>	0,13 <sup>ab</sup>	0,64 <sup>ab</sup>
14	355	16	30	0,20 <sup>defg</sup>	0,40 <sup>a</sup>	0,12 <sup>ab</sup>	0,61 <sup>ab</sup>
15	318,2	16	30	0,18 <sup>cdef</sup>	0,42 <sup>ab</sup>	0,14 <sup>ab</sup>	0,79 <sup>abc</sup>
16	392,9	16	30	0,19 <sup>cdefg</sup>	0,54 <sup>abcd</sup>	0,17 <sup>abc</sup>	0,93 <sup>abc</sup>
17	355	10,9	30	0,23 <sup>fgh</sup>	0,44 <sup>abc</sup>	0,17 <sup>abc</sup>	0,78 <sup>abc</sup>
19	355	16	4,8	0,22 <sup>fgh</sup>	0,59 <sup>abcd</sup>	0,09 <sup>a</sup>	0,43 <sup>a</sup>
Marca comercial A	-	-	-	0,24 <sup>gh</sup>	0,38 <sup>a</sup>	0,12 <sup>ab</sup>	0,53 <sup>ab</sup>
D.M.S.	-	-	-	0,04	0,04	0,08	0,71
CV (%)	-	-	-	22,06	48,53	49,16	72,67

X<sub>1</sub>: Rotação do parafuso (rpm); X<sub>2</sub>: Umidade (%); X<sub>3</sub>: Feijão (%). Foi escolhido um ponto de corte para a avaliação instrumental dos extrudados (IER>10). \* As médias, na mesma coluna, seguidas de letras diferentes, diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. D.M.S. (diferença mínima significativa) e CV (coeficiente de variação).

## 2.4.5 Otimização do processo de elaboração de extrudados expandidos

De acordo com características desejáveis para se otimizar um processo, necessita-se estabelecer valores (pesos) de desejabilidade ( $d_i$ ), para cada variável que se deseja avaliar. Sendo assim, valores de  $d_i$  iguais a 1 (um) foram estabelecidos para as variáveis independentes IER, IEL, IEV. Valores de  $d_i$  iguais a 0 (zero) para as variáveis independentes DAP e EME, descritas abaixo:

-Valor de  $d_i = 1$

Índice de expansão radial  $\geq 35$

Índice de expansão longitudinal  $\geq 2,5$

índice de expansão volumétrica  $\geq 40$

-Valor de  $d_i = 0$

Densidade aparente  $\leq 0,2$

EME  $\leq 50$

Os valores determinados para cada variável foram estabelecidos de acordo com a correlação que existe entre a variável IER e as demais variáveis, verificados por meio da aplicação de regressão linear. Esses valores são desejáveis para se obter snacks crocantes, porém, como a otimização é pontual, necessita-se de valores únicos das variáveis resposta para as variáveis independentes (rotação, umidade e feijão).

Nesse caso, foi aplicada a função desejabilidade do programa Statistica 6.0 para se obter esses valores referentes a otimização do processo (Tabela 18).

Tabela 18. Pontos ótimos considerados para a elaboração de *snacks*

Variáveis independentes		Variáveis resposta	
Rotação (rpm)	373,0	IER	32,30
Umidade (%)	15,0	IEL	2,30
Feijão (%)	4,8	IEV	73,20
		EME (kJ/kg)	49,30
		DAP (g/cm <sup>3</sup> )	0,03

O valor de desejabilidade foi de 0,951404, considerado um valor muito bom para otimização devido a proximidade do valor máximo 1 (um).

#### 2.4.6 Análise sensorial dos extrudados expandidos de milho e feijão Carioca

A análise de variância aplicada para os resultados obtidos por meio da análise sensorial de 9 amostras de extrudados expandidos permitiu observar que houve uma variação significativa ( $p < 0,01$ ) dentro de cada grupo avaliado.

A análise de comparação múltipla das médias obtidas por meio da avaliação sensorial dos extrudados expandidos permitiu avaliar as notas obtidas, para cada quesito, entre os grupos avaliados (Tabela 19).

Dos 107 julgadores que participaram da análise sensorial, 100% gostam e consomem *snacks* do tipo salgadinhos. Dentre esses, 18,7% consomem raramente; 51% esporadicamente; 29,2% frequentemente e 1% diariamente. Por meio da avaliação do nível de escolaridade dos participantes pôde-se observar a maior parcela dos julgadores eram universitários (83,3%). Apenas 1% possuía 2º grau incompleto; 4,2% universitário completo e 11,4% pós-graduados. 63,5% dos julgadores disseram que definitivamente gostam de experimentar novos produtos sendo que apenas 9% ainda estão indecisos quanto a esta questão. A média de idade dos julgadores foi de 23 anos sendo que 37,2% situavam-se a faixa etária entre 18-20 anos; 48,6% entre 21-25 anos; 4% entre 26-30 anos; 7% entre 31-40 anos e 2% entre 41-50 anos.

Por meio da Tabela 19 observam-se as médias de notas obtidas para cada quesito avaliado pelos julgadores durante a análise sensorial de extrudados expandidos de milho e feijão Carioca.

Observou-se que a amostra T2 obteve a maior nota para o quesito aparência ao passo que, a amostra T4 apresentou o pior aspecto quando comparado com os demais tratamentos. Com relação ao sabor, as amostras T5 e T9 obtiveram melhor avaliação quanto a este atributo, ao passo que a amostra T4 obteve a menor nota. Observa-se então que, a adição em até 45% de feijão foi bem aceita pelos julgadores, o que se torna um fato positivo, pois a adição de feijão à base de milho poderia resultar em “*bean flavor*”, o que significaria um sabor residual de feijão, porém o mesmo não foi observado.

As amostras T2 (15% feijão), T5 (45% feijão) e T9 (30% feijão) obtiveram a maior nota para a avaliação da aceitabilidade geral. A amostra T4 foi aquela que apresentou menor média para esse quesito.

A textura dos extrudados expandidos foi avaliada, segundo a opinião dos julgadores. Este quesito pode ser relacionado com a textura instrumental, possibilitando contrastar com todos os resultados obtidos. A textura avaliada sensorialmente permite prever o grau de crocância das amostras, avaliando-as em uma escala de textura ideal variando de 1 a 9 pontos onde, a nota 1 refere-se a um produto considerado muito duro, nota 5 a textura ideal e por fim, nota 9, a uma amostra considerada muito macia.

De acordo com esse atributo, as amostras T5 e T19 foram aquelas que mais se aproximaram da textura ideal, de acordo com a opinião dos julgadores. Cabe ressaltar que a amostra T2 também se aproximou na escala de ideal (5,6). A amostra T1 foi aquela que mais se aproximou da textura considerada muito macia e por fim, a amostra T4 considerada como a amostra mais dura, dentre os tratamentos avaliados. Os itens avaliados por meio da textura instrumental, tais como, o trabalho de crocância, a força de punctura e a frequência de rupturas permitem prever que, os extrudados que se aproximaram da textura sensorial considerada com o ideal, apresentaram maior conteúdo celular, ou seja, número de células (maior frequência espacial de rupturas) sendo que estas se apresentavam mais finas (menor força específica das rupturas e força de punctura), caracterizando um produto mais crocante. A amostra T2 apresentou maior número de células (por meio da frequência espacial de rupturas), porém estas

apresentaram paredes mais espessas (maior força específica das rupturas e força de punctura), avaliada por meio da textura instrumental. Mesmo assim, essa amostra se aproximou da textura ideal (por meio da análise sensorial) indicando que os julgadores também optaram por extrudados um pouco mais duros, porém ainda considerados crocantes. Cabe acrescentar que, a adição de feijão até 45% não afetou a opinião dos julgadores quanto a textura.

A intenção de compra do produto também foi um quesito avaliado pelos julgadores. Estes indicaram que as amostras T2 (15% feijão) e T5 (45% feijão) foram as favoritas em termos de intenção para a compra desses produtos sendo que, a amostra T4 seria aquela com a menor intenção de compra.

De acordo com todos os resultados obtidos pôde-se observar que, as amostras T2 (15% feijão, 378 rpm, 13% umidade), T5 (45% feijão, 333 rpm, 13% umidade) e T9 (30% feijão, 355 rpm, 16% umidade) se destacaram dentre os quesitos avaliados. Não foi observada relação direta com o aumento ou a redução da rotação do parafuso na avaliação sensorial dos *snacks*, entretanto amostras elaboradas com mais de 16% de umidade não obtiveram boa aceitação. Pode-se concluir também que, a adição de até 45% de feijão à mistura foi bem aceito pelos julgadores.

**Tabela 19.** Médias das notas obtidas por meio da avaliação da aceitabilidade dos extrudados expandidos de milho e feijão Carioca aromatizados\*

<b>Atributo sensorial</b>	T1	T2	T4	T5	T6	T9	T16	T17	T19	D.M.S	CV (%)
Aparência	6,3 <sup>bc</sup>	6,7 <sup>c</sup>	4,8 <sup>a</sup>	6,1 <sup>bc</sup>	6,1 <sup>bc</sup>	6,1 <sup>bc</sup>	5,5 <sup>ab</sup>	6,3 <sup>bc</sup>	5,8 <sup>b</sup>	0,79	32,45
Sabor	5,7 <sup>b</sup>	7,0 <sup>cd</sup>	4,2 <sup>a</sup>	7,1 <sup>d</sup>	6,1 <sup>b</sup>	7,1 <sup>d</sup>	6,3 <sup>bc</sup>	6,1 <sup>b</sup>	6,4 <sup>bcd</sup>	0,75	31,56
Aceitabilidade geral	5,6 <sup>b</sup>	6,9 <sup>c</sup>	4,0 <sup>a</sup>	6,9 <sup>c</sup>	6,3 <sup>bc</sup>	6,9 <sup>c</sup>	6,1 <sup>b</sup>	6,0 <sup>b</sup>	6,3 <sup>bc</sup>	0,76	32,50
Textura	6,9 <sup>f</sup>	5,6 <sup>e</sup>	1,4 <sup>a</sup>	4,7 <sup>d</sup>	3,6 <sup>c</sup>	4,5 <sup>d</sup>	2,8 <sup>b</sup>	4,3 <sup>cd</sup>	4,8 <sup>d</sup>	0,68	50,64
Intenção de compra	4,9 <sup>b</sup>	6,4 <sup>d</sup>	2,9 <sup>a</sup>	6,4 <sup>d</sup>	5,4 <sup>bc</sup>	6,3 <sup>cd</sup>	5,1 <sup>b</sup>	5,3 <sup>b</sup>	5,6 <sup>bcd</sup>	0,97	46,50

\*Extrudados escolhidos como melhores tratamentos baseado no IER >20. As médias, na mesma linha, seguidas de letras diferentes, diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. D.M.S. (diferença mínima significativa) e CV (coeficiente de variação).

Tratamentos: **T1** (15% feijão, 333 rpm, 13% umidade); **T2** (15% feijão, 378 rpm, 13% umidade); **T4** (15% feijão, 378 rpm, 19% umidade); **T5** (45% feijão, 333 rpm, 13% umidade); **T6** (45% feijão, 378 rpm, 13% umidade); **T9** (30% feijão, 355 rpm, 16% umidade); **T16** (30% feijão, 392,9 rpm, 16% umidade); **T17** (30% feijão, 355 rpm, 10,9% umidade); **T19** (4,8% feijão, 355 rpm, 16% umidade).

## 2.5 CONCLUSÕES

Por meio do estudo realizado pôde-se verificar que, a elaboração de extrudados expandidos de milho e feijão BRS Pontal tipo Carioca é possível. Os parâmetros utilizados no processamento por extrusão termoplástica foram: rotação do parafuso (318,2 a 392,9 rpm); umidade inicial na mistura (10,9 a 21%) e adição de feijão sem casca BRS Pontal do tipo Carioca (4,8 a 55,2%).

A expansão radial, relacionada com a crocância foi avaliada em extrudados contendo até 55% de feijão e por meio deste índice pôde-se verificar que a adição de feijão até 45% produziu extrudados com valores de expansão superiores, quando comparado com demais estudos, mesmo que a umidade e o teor de feijão tenham influenciado de forma negativa nos valores deste índice.

Nenhum parâmetro de extrusão afetou significativamente os valores do índice de expansão longitudinal, porém, a umidade e o conteúdo de feijão influenciaram negativamente o índice de expansão volumétrico dos *snacks*.

A densidade aparente, correlacionada com a expansão radial, foi avaliada e, por meio dos resultados obtidos pôde-se concluir que a adição de feijão e do conteúdo de umidade produziu extrudados mais densos, porém, os valores obtidos para esta variável não foram elevados, permitindo verificar que, extrudados com até 45% de feijão apresentaram-se leves e crocantes.

Os resultados obtidos por meio da caracterização física dos extrudados expandidos podem ser correlacionados com a análise sensorial onde, *snacks* com até 45% de feijão obtiveram boa aceitabilidade geral, aparência, sabor e textura considerada ideal. Amostras com mais de 16% de umidade não tiveram boa aceitabilidade. A aromatização utilizada também contribui para os aspectos positivos evidenciados nos produtos, assemelhando-os a produtos comerciais.

Sendo assim, é possível e recomendável a elaboração de extrudados expandidos com umidade em torno de 13% a 16% e adição de até 45% de feijão, produzindo produtos crocantes, saborosos e sem sabor residual, por meio de uma extrusora comercial de parafuso único. Além disso, favorece o aumento do teor de proteínas em produtos geralmente ricos em carboidratos.

## **2.6 RECOMENDAÇÕES**

Sugere-se, para que não haja desperdício e sim, o aproveitamento integral dos grãos de feijão, que sejam elaborados outros produtos, utilizando-se as cascas removidas dos grãos de feijão a fim de aproveitar as características nutricionais que esse alimento oferece. Sugere-se que sejam elaborados produtos onde não haja necessidade de expansão, como massas para pastéis, biscoitos, entre outros.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALI, Y.; HANNA, M.A.; CHINNASWAMY, R. Expansion characteristics of extruded cron grits. **Food Science and Technology-Lebensmittel-Wissenschaft and Technology**, n. 29, p. 702-707, 1996.

ALTAN, A.; McCARTHY, K.L.; MASKAN, M. Evaluation of snack foods from barley-tomato pomace blends by extrusion processing. **Journal of Food Engineering**, v.84, p. 231-242, 2008.

ALVAREZ-MARTINEZ, L.; KOUNDURY, K. P.; HARPER, J. M. A general model for expansion of extruded products. **Journal of Food Science**, Chicago, v.53, n. 2, p. 609-615, Mar./Apr. 1988.

**AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS (AACC)**. Approved methods of the AACC, 1995.

ANTON, A.A.; LUCIANO, F.B. Instrumental textural evaluation of extruded snack foods: a review. **Ciencia y Tecnologia Alimentaria**, 54, p. 245-251, 2007.

ARÊAS, J.A.G. Interações moleculares do amido durante o processo de extrusão. **Bol. SBCTA**, v.30, p. 28-30, 1996.

ASCHERI, J. L. R.; CIACCO, C. F.; RIAZ, M. N.; LUSAS, E. W. Efecto de la formulación sobre la expansión y viscosidad de *snacks* (pellets) producidos por extrusión termoplástica. **Alimentaria**, Madrid, v.286, n.12, p.111- 116, 1995.

ASCHERI, J.L.R.; CARVALHO, C.W.P. **Curso de processo de extrusão de alimentos: aspectos tecnológicos para o desenvolvimento e produção de alimentos para consumo humano e animal**. EMBRAPA, Abril, 2008, 81p.

**ASSOCIATION OF OFFICIAL AGRICULTURAL CHEMISTS (AOAC)**. Official Methods of Analysis of the Association of Official Agriculture Chemists. Washington, 2005.

BERRIOS, J. J. Extrusion cooking of legumes: dry bean flours. **Encyclopedia of Agricultural, Food and Biological Engineering**, 1, p. 1-8, 2006.

BOUVIER, J.M.; BONNEVILLE, R.; GOULLIEUX, A. Instrumental methods for the measurement of extrudate crispness. **Agro Food Industry Hi-Tech**, v.8, p. 16-19, 1997.

BOUZAZA, D.; ARHALIASS, A.; BOUVIER, J.M. Die design and dough expansion in low moisture extrusion-cooking process. **Journal of Food Engineering**, n. 29, p. 139-152, 1996.

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.

BRNCIC, M.; TRIPALO, B.; RIMAC BRNCIC, S.; KARLOVIC, S.; ZUPAN, A.; HERCEG, Z. Evaluation of textural properties for whey enriched direct extruded and puffed corn based products. **Bulgarian Journal of Agricultural Science**, v.15, n. 3, p. 204-214, 2009.

CAMIRE, M.E.; CAMIRE, A.; KHRUMAR, K. Chemical and nutritional changes in foods during extrusion. **Crit. Rev. Food Science Nutr.**, v.19, n.1, p. 35-57, 1990.

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**, n. 98, p. 103-109, 2010.

CHIANG, B.Y.; JOHNSON, J.A. Gelatinization of the starch in extruded products. **Cereal Chemistry**, v.54, n.3, p.436-443, 1977.

CHINNASWAMY, R.; HANNA, M.A. Relationship between amylase content and extrusion of maize grits: the role of the glass transition in determining product density and shape. **International Journal of Food Science and Technology**, n. 31, p. 55-65, 1988.

CHRISTOFIDES, V.; AINSWORTH, P.; IBANOGLU, S.; GOMES, F. Physical evaluation of a maize-based extruded snack with curry powder. **Nahrung**, v. 48, n.1, p. 61-64, 2004.

DERRINGER G. C.; SUICH, R. Simultaneous optimization of several responses variables. **J. Quality Tech.**, v. 12, n. 4, p. 214-219, 1980.

DING, Q.; AINSWORTH, P.; TUCKER, G.; MARSON, H. The effect of extrusion conditions on the physicochemical properties and sensory characteristics of rice-based expanded snacks. **Journal of Food Engineering**, n. 66, p. 283-289, 2005.

DING, Q.; AINSWORTH, P.; TUCKER, G.; MARSON, H. The effect of extrusion conditions on the functional and physical properties of wheat-based expanded snacks. **Journal of Food Engineering**, n. 73, p. 142-148, 2006.

DOKIC, L.P.; BODROZA-SOLAROV, M.I.; HADNADEV, M.S.; NIKOLIC, I. Properties of extruded snacks supplemented with amaranth grain grits. **Acta Periodica Technologica**, n.40, p. 17-24, 2009.

EERIKÄINEM, T.; LINKO, P. Extrusion cooking modeling, control and optimization. In: **Extrusion Cooking**, Mercier, C.; Linko, P.; Harper, J.M.; eds. American Association of Cereal Chemists, St. Paul, p.157, 1989.



EL-DASH, A.A. Application and control of thermoplastic extrusion of cereals for food and industrial uses. In: POMERANZ, Y.; MUNCH, L. **Cereals a renewable resource: theory and practice**. St. Paul: AACC, cap. 10, p. 165-216, 1982.

FAN, J.T.; MITCHELL, J.R.; BLANSHARD, J.M.V. The effect of sugars on the extrusion of maize grits: the role of the glass transition in determining product density and shape. **International Journal of Food Science and Technology**, v.31, p.55-65, 1996.

FAUBION, J. M.; HOSENEY, R. C. High temperature and short time. Extrusion-cooking of wheat starch and flour. Effect of moisture and flour type on extrudate properties. **Cereal Chemistry**, St. Paul, v.59, n.6, p. 529-533, 1982.

FELLOWS, P. J. **Tecnologia do processamento de alimentos: princípios e prática**. 2ª ed., Porto Alegre:Artmed, 2006, 602p.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (FAO). **Necessidades de energia e proteína**. São Paulo: Roca, 1998, 225p.

GOMES, F.P. **Curso de Estatística Experimental**. 2ª edição, São Paulo: ESALQ/USP, 2000.

GONZÁLEZ, R. J.; TORRES, R.L.; GREEF, D.M. Aplicación del método de la superficie de respuesta al estudio de la extrusión-cocción de sêmola de maíz. **Rev. Agroquim. Tecnol. de Alimentos**, v.27, n.2, 251-260, 1987.

GURAYA, H.S.; TOLEDO, R.T. Microstructural characteristics and compression resistance as índices of sensory texture in a crunchy snack product. **Journal of Texture Studies**, n. 27, p. 687-701, 1996.

GUTKOSKI, L.C. Extrusão de produtos de aveia. In: GUTKOSKI, L.C.; PEDÓ, I. **Aveia: composição química, valor nutricional e processamento**. São Paulo: Varela, cap.7, p.103-169, 2000.

HARPER, J.M. **Extrusion of foods**, vols. 1 and 2. CRC Press Boca Raton, FL, 1981.

JAMIN, F.F.; FLORES, R.A. Effect of separation and grinding of corn dry-milled streams on physical properties of single-screw low-speed extruded products. **Cereal Chemistry**, v. 75, p. 775-779, 1998.

JANSSEN, L.P.B. Models for cooking extrusion. In: **Food Engineering and Process Application, Unit Operations**. New York: Elsevier Applied Science Publishers, v.2, 1985.

LAUNAY, B.; KONE, T. Twin-screw extrusion-cooking of corn starch: flour properties of starch pastes. In: ZEUTHEN, P.; CHEFTEL, J.C.; ERICKSSON, C.; JUL, M.; LEE, E.Y.; RYU, G.; LIM, S. Effects of processing parameters on physical properties of corn starch extrudates expanded using supercritical CO<sub>2</sub> injection. **Cereal Chemistry**, v. 76, n. 1, p. 63-69, 1999.

LAZOU, A.; KROKIDA, M. Functional properties of corn and corn-lentil extrudates. **Food Research International**, n.43, p. 609-616, 2010.

LIU, Y.; HSIEH, F.; HEYMANN, H.; HUFF, H.E. Effect of process conditions on the physical and sensory properties of extruded oat-corn puff. **Journal of Food Science**, n. 65, p. 1253-59, 2000.

MENG, X.; THREINEN, D.; HANSEN, M.; DRIEDGER, D. Effects of extrusion conditions on system parameters and physical properties of a chickpea flour-based snack. **Food Research International**, n. 43, p. 650-658, 2010.

MESA, N.J.E.; ALAVI, S.; SINGH, N.; SHI, Y.; DOGAN, H.; SANG, Y. Soy protein-fortified expanded extrudates: baseline study using normal corn starch. **Journal of Food Engineering**, n.90, p. 262-270, 2009.

MINIM, V.P.R. (Ed.). **Análise sensorial: estudos com consumidores**. Viçosa: Editora UFV, Cap. 3, p. 66-83, 2006.

MULVANEY, S.J.; HSIEH, F.; ONWULATA, C. **Computer control and modeling of an extruder: Dynamics**. ASAE Meeting, Chicago, 3-88-6517, 1988.

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, p.679-687, 2001.

ONWULATA, C. I. Use of extrusion-texturized whey protein isolates in puffed corn meal. **Journal of Food Processing and Preservation**, n. 34, p. 571-586, 2010.

PÉREZ, A.A.; DRAGO, R.; CARRARA, C.R. ; DE GREEF, D.M. ; TORRES, R.L. ; GONZÁLEZ, R.J. Extrusion cooking of a maize/soybean mixture : factors affecting expanded product characteristics and flour dispersion viscosity. **Journal of Food Engineering**, n.87, p. 333-340, 2008.

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. **Ciênc. Tecnol. Aliment.**, Campinas, v.26, n.1, p. 179-187, 2006.

ROUDAUT, G.; DACREMONT, C.; PÁMIÉS, B.V.; COLAS, B.; MESTE, M. Crispness: a critical review on sensory and material science approaches. **Trends in Food Science and Technology**, n.13, p. 217-227, 2002.

RODRIGUES, M.I.; IEMMA, A.F. **Planejamento de experimentos e otimização de processos: uma estratégia seqüencial de planejamentos**. Ed. Campinas: São Paulo, 2005, 618p.

RUIZ-RUIZ, J.; MARTÍNEZ-AYALA, A.; DRAGO, S.; GONZÁLEZ, R.; BETANCUR-ANCONA, D.; CHEL-GUERRERO, L. Extrusion of a hard-to-cook bean (*Phaseolus vulgaris* L.) and quality protein maize (*Zea mays* L.) flour blend. **LWT – Food Science and Technology**, p. 1-9, 2008.

SILVA, D.J.; QUEIROZ, A.C. **Análise de alimentos. Métodos químicos e biológicos.** 3ª edição, Editora UFV: Universidade Federal de Viçosa, 2005, 235p.

STATSOFT, INC. (2001). STATISTICA (data analysis software system), version 6. [www.statsoft.com](http://www.statsoft.com).

TABELA BRASILEIRA DE COMPOSIÇÃO DE ALIMENTOS (TACO), 2ª edição, Unicamp, Campinas-SP, 2006.

TAHNOVEN, R.; HIETANEN, A.; SANKALO, T.; KORTANIEMI, V.M.; LAAKSO, P.; KALLIO, H. Snack foods. **Lebensmittel Untersuchung Forschung**, n. 206, p. 360-363, 1998.

TAN, J.; GAO, X.; HSIEH, F. Extrudate characterization by image processing. **Journal of Food Science**, v.59, p. 1247-1250, 1994.

VAN DER EINDE, R.M.; AKKERMANS, C.; VAN DER GOOT, A.J.; BOOM, R.M. Molecular breakdown of corn starch by thermal and mechanical effects. **Carbohydrate Polymers**, v.56, p.415-422, 2004.

VERONICA, A.O.; OLUSOLA, O.O.; ADEBOWALE, E.A. Qualities of extruded puffed snacks from maize/soybean mixture. **Journal of Food Processing Engineering**, n. 29, p. 149-161, 2006.

YACU, W. Process instrumentation and control in food extruders. **Cereal Foods World**, v.35, n.9, p.919-926, 1990.

YANNIOTIS, S.; PETRAKI, A.; SOUMPASI, E. Effect of pectin and wheat fibers on quality attributes of extruded corn starch. **Journal of Food Engineering**, n.80, p. 594-599, 2007.

### **CAPÍTULO III**

#### **CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DAS MATÉRIAS-PRIMAS CRUAS E EXTRUDADOS DE MILHO E FEIJÃO DO TIPO CARIOCA**

## RESUMO

A indústria de extrudados ainda enfrenta inúmeros problemas com os ingredientes utilizados, pois o processo de extrusão requer matéria-prima de boa qualidade para a fabricação de diferentes produtos em diferentes formatos. Nesse sentido, o objetivo desse trabalho foi analisar características químicas do milho, na forma de *grits*, feijão Carioca BRS Pontal descascado e moído e amostras extrudadas, quanto à composição centesimal, perfil de minerais e perfil de aminoácidos, classificando-os quanto ao seu escore. Foi verificado, por meio dos resultados que, o milho constitui-se um alimento basicamente amiláceo sendo que o feijão apresentou maiores teores de lipídeos, cinzas, fibra alimentar e menor valor calórico. Além disso, apresentou maiores teores de todos os minerais analisados (ferro, zinco, cálcio, cobre, manganês, magnésio e potássio) e alguns aminoácidos não-essenciais e essenciais, exceto pela glutamina, alanina, prolina e o aminoácido essencial leucina. Pôde-se concluir por meio da avaliação do escore que, a lisina foi considerada limitante tanto para a ingestão de milho quanto para feijão, em crianças até 10 anos de idade. Porém, de acordo com a recomendação para adultos, este aminoácido presente em ambas as matérias-primas foi considerado adequado. O mesmo pôde ser concluído para o teor dos aminoácidos sulfurados metionina e cisteína que também foram limitantes para crianças até 10 anos, porém com relação ao milho, estes aminoácidos continuaram a ser limitantes para adultos. Ao comparar os feijões do tipo Carioca notou-se que, a variedade BRS Pontal apresentou maiores teores de cálcio, manganês, ferro, cobre e zinco ao passo que, a variedade comercial apresentou maiores teores de magnésio e potássio. Com relação as amostras extrudadas pôde-se verificar que, quanto maior o teor de feijão presente nas misturas maior o conteúdo dos componentes nutricionais analisados. A complementação do milho com o feijão foi favorável, fornecendo nutrientes quanti- e qualitativamente de forma equilibrada. O processamento por extrusão não foi capaz de reduzir significativamente o teor dos nutrientes analisados nas diferentes misturas de milho e feijão BRS Pontal do tipo Carioca. O feijão BRS Pontal do tipo Carioca apresentou maior qualidade nutricional quando comparado ao feijão comercial.

**Palavras-chave:** Nutrientes, Matérias-primas, Composição química.

## ABSTRACT

The industry of extruded snacks still faces numerous problems with the used ingredients, because this process requires raw materials of good quality for the developing of different products in different formats. In this sense, the objective of this study was to analyze the chemical characteristics of maize grits, peeled Carioca type bean and extruded blends, as proximate composition, mineral profile and amino acid profile, classifying them according to their score. It was verified that maize is basically starch based and beans had higher levels of fat, ash, crude fiber and less calories. In addition, they presented higher concentrations of all analyzed minerals (iron, zinc, calcium, copper, manganese, magnesium and potassium) and some nonessential amino acids and essential ones, except for glutamine, alanine, proline and the essential amino acid leucine. It could be concluded by the score analysis that the essential amino acid lysine was limited both for maize and beans, for children under 10 years old. However, according to the recommendation for adults, this amino acid present in both raw materials was adequate. The same could be concluded for the content of sulfur amino acids methionine and cysteine which were also limiting for children up to 10 years, but related to maize grits, these amino acids were still limiting for adults. Among the analysed beans (Carioca and commercial) it was verified that the cultivar BRS Pontal (Carioca type) had higher concentrations of calcium, manganese, iron, copper and zinc while the commercial one presented higher contents of magnesium and potassium. Regarding the extruded blends could be verified that the higher the content of Carioca type bean in the blends higher is the content of nutritional components analyzed. It was concluded that, the complementation of maize with beans is positive, providing quantity and quality nutrients as a whole. The processing by extrusion was not able to reduce significantly the concentration of the analyzed nutrients in different blends of maize and Carioca type beans, BRS Pontal. These grains presented higher nutritional quality when comparing to the commercial ones.

**Keywords:** Nutrients, Raw materials, Chemical composition.

### 3.1 INTRODUÇÃO

A indústria de salgadinhos do tipo *snacks* (extrudados expandidos) ainda enfrenta inúmeros problemas com os ingredientes utilizados, pois o processo de extrusão requer matéria-prima de boa qualidade para a fabricação de diferentes produtos em diferentes formatos. Na maioria dos casos, a qualidade do milho utilizado para a produção de *snacks* dependerá do tipo de híbrido (duro, semiduro, dentado, semidentado, etc.) utilizado pela indústria moageira, bem como das boas práticas de fabricação, alcançando as características de *grits* (milho degerminado e fracionado) desejadas pela indústria de extrudados. O milho (*Zea mays* L.) em função de seu potencial produtivo, composição química e valor nutritivo, constitui-se em um dos mais importantes cereais cultivados e consumidos no mundo. Devido à sua multiplicidade de aplicações, quer na alimentação humana quer na alimentação animal, assume relevante papel sócio-econômico, além de constituir-se em indispensável matéria-prima impulsionadora de diversificados complexos agroindustriais.

O milho, além de ser um alimento de baixo custo de aquisição e largamente produzido no Brasil, constitui a base para a produção de salgadinhos do tipo *snacks* (extrudados expandidos). Dentre o grupo das leguminosas, o feijão, possui uma importante posição, sendo considerado como a “proteína dos pobres”, pois fornece diversos nutrientes, em especial, proteínas e aminoácidos essenciais. No entanto, os cereais apresentam deficiências de lisina e treonina, enquanto que as leguminosas apresentam deficiência no aminoácido metionina.

Sendo assim, o consumo em proporções adequadas de alimentos do grupo dos cereais (ex.: milho) aliado ao grupo das leguminosas (ex.: feijão) pode vir a complementar o perfil aminoacídico.

Atualmente, com o aumento da expectativa de vida, os consumidores estão mais interessados nos benefícios potenciais da nutrição para o controle e prevenção de doenças e passaram a exigir não somente sabor agradável, mas também alimentos que forneçam nutrientes essenciais e equilibrados para a manutenção do bem estar físico e de uma vida saudável.

#### 3.1.1 Objetivos

- Analisar características químicas do milho, na forma de *grits*, feijão Carioca BRS Pontal descascado e amostras extrudadas, quanto à composição centesimal, perfil de minerais e perfil de aminoácidos;
- Classificar as matérias-primas estudadas quanto ao escore de aminoácidos.
- Verificar se a extrusão termoplástica é capaz de influenciar significativamente os teores dos nutrientes analisados nas misturas de milho e feijão.

## 3.2 REVISÃO DE LITERATURA

### 3.2.1 Feijão (*Phaseolus vulgaris* L.)

O feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) é a espécie mais cultivada entre as demais do gênero *Phaseolus*. Considerando todos os gêneros e espécies englobadas como feijão nas estatísticas da FAO, este envolve cerca de 107 países produtores em todo o mundo. Considerando somente o gênero *Phaseolus*, o Brasil é o maior produtor, seguido do México (CNPAF, 2003).

Os grãos de leguminosas ocupam importante posição na nutrição humana, especialmente, participando na dieta padrão de pessoas do grupo de baixa renda de países em desenvolvimento e subdesenvolvidos, sendo considerados “a carne dos homens pobres” e, geralmente, boa fonte de nutrientes (THARANATHAN e MAHADEVAMMA, 2003). Cerca de 20 espécies de leguminosas são consumidas como grãos secos em quantidades apreciáveis na nutrição humana (COSTA et al., 2006). Entre essas, o feijão comum é uma fonte rica de nutrientes, principalmente, para pessoas de recursos limitados, em que, geralmente, predomina a desnutrição em graus variáveis (WELCH et al., 2000).

A especial importância do feijão no Brasil não está somente no fato de ser o maior produtor mundial (ROSTON, 1990), mas também por ser uma das principais fontes protéicas na dieta humana dos países em desenvolvimento das regiões tropicais e subtropicais, particularmente nas Américas (47% da produção mundial) e no leste e sul da África (10% da produção mundial).

No ano de 2009, o Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) realizou por meio da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB), o quinto levantamento da safra de grãos 2009/2010 (CONAB, 2010).

Considerando as safras de feijão para o ano de 2010, estima-se uma área plantada de 4 mil hectares. Em Janeiro de 2010 a produção de feijão foi em torno de 3.600 toneladas e, no mês de fevereiro, 3.500 toneladas, computando 1,6% a mais do que na última safra (CONAB, 2010).

Seu consumo *per capita* no Brasil situou-se, em 2001, em 14,9 kg/hab/ano, e, na década de 70, chegou a alcançar patamares de 23-24 kg/hab/ano, sendo esta redução atribuída, ao longo do tempo, a vários fatores (CNPAF, 2003). Os dados oficiais apontam para um aumento do consumo nacional de feijão de 2.500 mil toneladas em 1997/98 para 3.150 mil toneladas em 2005/06 (CONAB, 2006). Atualmente, o consumo de feijão é de 3.500 mil toneladas (CONAB, 2010). O panorama do abastecimento de feijão para o Brasil no período 1997/98 a 2005/06 mostra persistente aumento do consumo acompanhado pela resposta da produção.

Para os anos de 2008 a 2010, a Companhia Nacional de Abastecimento (2010) publicou o comparativo de área, produtividade e produção para o feijão de 1ª safra (Tabela 20).



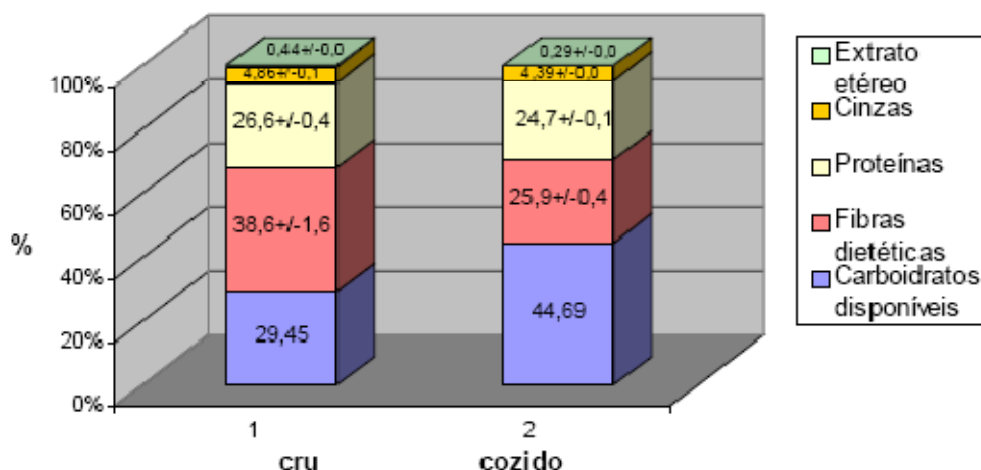
**Tabela 20.** Comparativo de área, produtividade e produção para feijão de 1ª safra

REGIÃO/UF	ÁREA (Em mil ha)			PRODUTIVIDADE (Em kg/ha)			PRODUÇÃO (Em mil t)		
	Safra 08/09	Safra 09/10	VAR. %	Safra 08/09	Safra 09/10	VAR. %	Safra 08/09	Safra 09/10	VAR. %
	(a)	(b)	(b/a)	(c)	(d)	(d/c)	(e)	(f)	(f/e)
<b>NORTE</b>	4,3	5,0	16,3	623	587	(5,8)	2,7	2,9	7,4
TO	4,3	5,0	16,3	623	587	(5,8)	2,7	2,9	7,4
<b>NORDESTE</b>	491,1	563,0	14,6	348	371	6,6	171,0	208,6	22,0
MA	40,8	41,1	0,7	395	390	(1,3)	16,1	16,0	(0,6)
PI	233,8	229,8	(1,7)	229	246	7,4	53,5	56,5	5,6
BA	216,5	292,1	34,9	468	466	(0,5)	101,4	136,1	34,2
<b>CENTRO-OESTE</b>	76,3	76,2	(0,1)	2.124	2.111	(0,6)	162,0	160,8	(0,7)
MT	5,0	10,5	110,0	2.075	1.925	(7,2)	10,4	20,2	94,2
MS	2,8	4,1	46,4	1.223	1.250	2,2	3,4	5,1	50,0
GO	55,9	50,1	(10,3)	2.122	2.200	3,7	118,6	110,2	(7,1)
DF	12,6	11,5	(8,7)	2.351	2.200	(6,4)	29,6	25,3	(14,5)
<b>SUDESTE</b>	301,1	315,3	4,7	1.366	1.336	(2,2)	411,4	421,2	2,4
MG	205,5	189,4	(7,8)	1.186	1.198	1,0	243,7	226,9	(6,9)
ES	7,7	7,5	(2,6)	782	745	(4,7)	6,0	5,6	(6,7)
RJ	1,6	1,7	6,3	901	917	1,8	1,4	1,6	14,3
SP	86,3	116,7	35,2	1.857	1.603	(13,7)	160,3	187,1	16,7
<b>SUL</b>	534,2	479,5	(10,2)	1.118	1.445	29,2	597,4	693,1	16,0
PR	362,0	321,6	(11,2)	1.036	1.510	45,8	375,0	485,6	29,5
SC	89,5	77,8	(13,1)	1.468	1.740	18,5	131,4	135,4	3,0
RS	82,7	80,1	(3,1)	1.100	900	(18,2)	91,0	72,1	(20,8)
<b>NORTE/NORDESTE</b>	495,4	568,0	14,7	351	373	6,3	173,7	211,5	21,8
<b>CENTRO-SUL</b>	911,6	871,0	(4,5)	1.284	1.464	14,0	1.170,8	1.275,1	8,9
<b>BRASIL</b>	1.407,0	1.439,0	2,3	956	1.033	8,1	1.344,5	1.486,6	10,6

Fonte: CONAB, 2010.

De acordo com a Tabela 20, nota-se que a região Sul possuiu a maior área plantada, assim como a produção de feijão, nas safras de 2008/2009 e 2009/2010. Porém, a região Nordeste se destacou com um aumento da sua área na safra de 2009/2010 contribuindo também, para o aumento na produção destes grãos.

O feijão (Figura 26) é um alimento não somente amiláceo, mas que contém uma quantidade significativa de fibras (38,6% no grão cru e 26% no grão cozido) e proteínas (26,6% no grão cru e 24,7% no grão cozido) (MECHI et al., 2005). Além disso, apresenta baixo teor de lipídeos e sódio, além de possuir vitaminas (principalmente do complexo B) e minerais (ROSTON, 1990).



**Figura 26.** Composição centesimal do feijão cru e cozido, em base seca (MECHI et al., 2005).

Segundo Lemos et al., (2004), o feijão comum possui uma faixa de 18 a 30% de proteína bruta, de acordo com a variedade, solo cultivado e outras condições ambientais. Silva et al., (2006) citam que os grãos de feijões possuem quantidades apreciáveis de fibras solúveis (pectinas, gomas e galactanas), que apresentam efeito hipocolesterolemizante e hipoglicêmico em humanos.

Nutricionalmente, alimentos a base de carboidratos, principalmente de grãos refinados, causam aumento do índice glicêmico após sua ingestão. Por outro lado, o consumo de feijões, por serem alimentos com baixo teor de lipídeos e ricos em proteínas, vitaminas, carboidratos complexos e minerais tem sido associado à redução de riscos de ataques cardíacos (WINHAM e HUTCHINS, 2007), obesidade (GEIL e ANDERSON, 1994) e até mesmo câncer (AZEVEDO et al., 2003).

Os feijões são alimentos que preenchem as principais recomendações dietéticas para a boa saúde: aumento do consumo de fibras, amido e outros carboidratos complexos e diminuição no consumo de lipídios e sódio. Assim, as principais instituições internacionais de apoio e promoção à saúde indicam a ingestão diária de uma ou mais porções de feijão (GEIL e ANDERSON, 1994).

Ribeiro et al., (2007) afirma que a proteína do feijão é de boa qualidade, pois várias cultivares de feijões disponíveis no Brasil, apresentaram teores de aminoácidos essenciais superiores ao padrão considerado adequado pela Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO), para suprir as necessidades diárias de um indivíduo adulto (FAO, 1998).

A qualidade protéica de um alimento está relacionada com sua composição de aminoácidos, principalmente os essenciais, e com sua digestibilidade (FERREIRA et al., 2005). Como citado anteriormente, o feijão representa um importante fonte de nutrientes, entretanto, Silva et al., (2006) expressam que as proteínas do feijão apresentam baixa digestibilidade e reduzidos teores de aminoácidos sulfurados.

Segundo Pires et al., (2006), dentre as proteínas de origem vegetal, o feijão teve como limitante os aminoácidos sulfurados, porém, mesmo contendo metade da quantidade de proteínas da soja, apresentou maior digestibilidade protéica. O milho possui como aminoácido limitante a lisina, apresentando em torno de 32 mg/g de proteína, segundo Onyango et al., (2004). Paredes-Lopez et al., (2000) ainda afirma também que, o milho, além da deficiência em lisina, apresenta deficiência em

triptofano, sendo considerado uma proteína de baixa qualidade necessitando de complementação.

É importante então o papel desempenhado pelas misturas de cereais e grãos de leguminosas. O milho e o feijão, importantes ingredientes na dieta dos índios pré-colombianos, ainda hoje constituem alimentos básicos em certas regiões da América Latina (VIEIRA, 1992).

Desta forma, a proporção mais adequada entre cereal e leguminosa que equilibraria as deficiências parece ser de 2,6:1. Isto foi demonstrado por Abd-El-Samei et al., (1984), que realizaram um estudo comparativo sobre a composição de aminoácidos em três variedades locais de sementes de *Phaseolus vulgaris*. Eles observaram que a composição de aminoácidos foi semelhante, sendo que todos apresentavam deficiência de aminoácidos sulfurados, um teor elevado de lisina (8,1 a 8,6 g/16g N), ausência de cistina, fenilalanina e tirosina no extrato das três variedades.

### 3.2.2 Milho (*Zea mays* L.)

O milho é uma planta herbácea da família das gramíneas, utilizado tanto para a alimentação humana, quanto na alimentação animal. O consumo do milho em países com predomínio de grupos de baixa renda está relacionado também a fatores econômicos, provavelmente devido às facilidades de plantio, armazenamento, transporte e produtividade a baixo custo (PEREIRA et al., 1998).

Apesar de não ter uma participação muito grande no uso de milho em grão, a alimentação humana, com derivados de milho, constitui fator importante de uso desse cereal em regiões com baixa renda. Em algumas situações, o milho constitui a ração diária de alimentação, por exemplo: no Nordeste do Brasil, o milho é a fonte de energia para muitas pessoas que vivem no semi-árido; outro exemplo está na população mexicana, que tem no milho o ingrediente básico para sua culinária (CNPMS, 2006).

Os maiores países produtores de milho são os Estados Unidos, China e Brasil, que, em 2005, produziram: 280,2; 131,1 e 35,9 milhões de toneladas, respectivamente.

Atualmente, calculou-se que a produção de milho no Brasil foi em torno de 53.000 toneladas, para este ano de 2010, até o mês de julho (CONAB, 2010). O consumo foi calculado em torno de 45.000 toneladas sendo o restante, destinado a exportação.

Na cadeia produtiva de suínos e aves, são consumidos aproximadamente 80 % do milho produzido no Brasil, sendo que apenas 5 % são destinados ao consumo humano (DUARTE et al., 2007).

Sendo assim nota-se que, a maior parte da produtividade do milho no Brasil destina-se ao uso para a fabricação de ração animal e que, o restante da produção é direcionado ao consumo humano, principalmente na forma de produtos derivados. Atualmente, a utilização do milho tem-se voltado também para a produção de etanol. Com base nisso, a elaboração de novos produtos alimentícios pode incentivar o aumento do consumo deste grão por parte da população, uma vez que a produtividade no Brasil é relativamente grande.

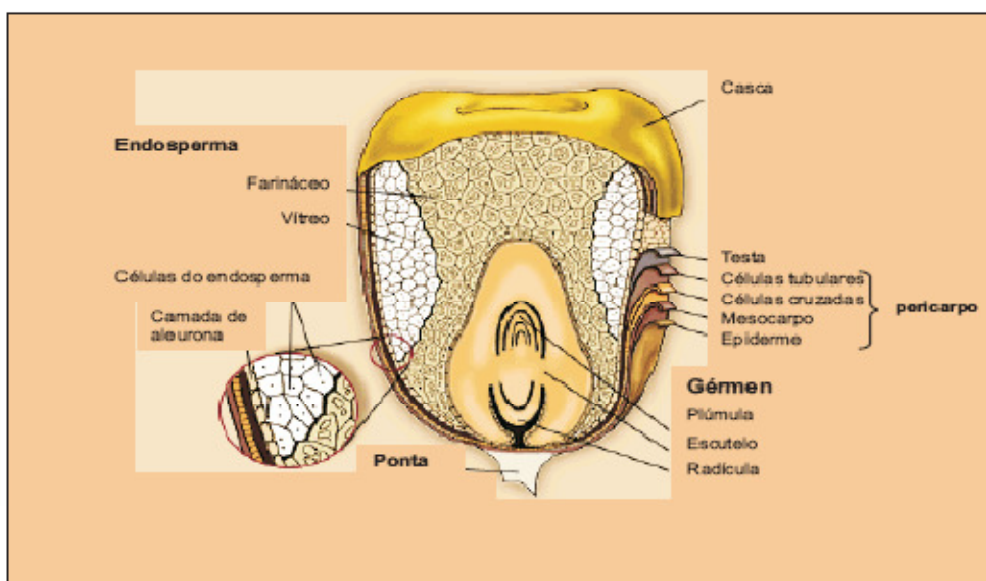
Mesmo para o consumo humano, o milho necessita de alguma transformação. Pode ser industrializado através dos processos de moagem úmida e seca, sendo que, este último é o mais utilizado no Brasil. Desse processo resultam subprodutos como a farinha de milho, o fubá, a quirera, farelos, óleo e farinha integral desengordurada, envolvendo escalas menores de produção e menor investimento industrial. O processamento industrial do milho rende, em média, 5% do seu peso na forma de óleo. Através do processo de moagem úmida o principal subproduto obtido é o amido, cujo nome do produto foi praticamente substituído pela designação comercial de Maizena® (DUARTE et al., 2007).

Devido à complexidade de seu processamento, e à necessidade de capital envolvido, estes produtos são oriundos de empresas de grande porte (DUARTE et al., 2007).

### 3.2.3 Anatomia e composição química do milho

Os grãos do milho são, geralmente, amarelos ou brancos, podendo apresentar colorações variando desde o preto até o vermelho. Sua composição média em base seca é 72% de amido, 9,5% proteínas, 9% fibra (quando não são processados) e 4% de óleo (quando presente o gérmen). Conhecido botanicamente como uma cariopse, o grão de milho é formado por quatro principais estruturas físicas: endosperma, gérmen, pericarpo

(casca) e ponta (Figura 27), as quais diferem em composição química e também na organização dentro do grão (PAES, 2006).



**Figura 27.** Estrutura anatômica do grão de milho (PAES, 2006).

O endosperma representa aproximadamente 83% do peso seco do grão, consistindo principalmente de amido (88%), organizado na forma de grânulos. No endosperma estão também presentes as proteínas de reserva (8%) do tipo prolaminas, chamadas zeínas. Essas proteínas formam os corpos protéicos que compõem a matriz que envolve os grânulos de amido dentro das células no endosperma (PAES, 2006).

Sabe-se, no entanto, que alimentos de origem vegetal apresentam limitações quanto ao seu valor nutricional, principalmente relacionado às proteínas. O milho, apesar de ter um percentual de proteínas relativamente elevado (cerca de 10 % do grão), possui baixa qualidade protéica, pois a zeína, proteína que representa a maior fração das proteínas no grão (50 a 60 %) contém teores reduzidos de lisina e triptofano, enquanto que a fração glutelina (em menor proporção) detém maior quantidade destes aminoácidos (PEREIRA et al., 1998). Sendo assim, confere um valor biológico de 50 % à sua proteína, em relação a uma proteína de referência (NAVES et al., 2004).

No endosperma, especificamente, na camada de aleurona e no endosperma vítreo, estão presentes os carotenóides, substâncias lipídicas que conferem a cor aos grãos de milho. Zeaxantina, luteína, betacriptoxantina, alfa e beta-carotenos são os principais carotenóides nos grãos de milho. O gérmen representa 11% do grão de milho e concentra quase a totalidade dos lipídeos (óleo e vitamina E) (83%) e dos minerais (78%) do grão, além de conter quantidades importantes de proteínas (26%) e açúcares (70%) (PAES, 2006). Porém, o tipo de milho utilizado para o processo de extrusão não apresenta o gérmen, devido a degerminação que precede a obtenção do *grits*.

A porção amilácea do grão (endosperma) é constituída de amido e apenas traços de minerais e gordura. Já o tegumento e a ponta são constituídos de apenas carboidratos, embora apresentem menos amido e cerca de 15 % de fibra bruta (SBRT, 2007).

Ainda são escassas as informações publicadas sobre a composição química do milho brasileiro, baseada em um número representativo de amostras. As tabelas publicadas pela Embrapa Suínos e Aves, na década de 90, ainda é a fonte de dados com maior detalhamento nas informações. Nota-se a grande variação nos resultados

encontrados, possivelmente devido a alguns fatores ambientais, diferenças entre cultivares, fatores genéticos, dentre outros.

A caracterização química do milho pode ser verificada por meio das Tabelas 21, 22 e 23.

**Tabela 21.** Médias de composição centesimal de diferentes amostras de milhos analisados no Laboratório de Análises Físico Químicas da Embrapa Suínos e Aves no período de 1979 a 1997. Valores expressos em base natural

Parâmetro	N (amostras)	Média	Mediana	Moda	Mínimo	Máximo	Desvio Padrão	Erro Padrão
Proteína bruta, %	637	8.49	8.39	8.34	6.43	10.99	0.81	0.03
Extrato etéreo, %	356	3.67	3.66	3.49	1.41	6.09	0.87	0.05
Cinza, %	305	1.15	1.16	1.04	0.24	2.00	0.31	0.02
Fibra bruta, %	362	2.25	2.15	2.13	1.10	3.48	0.43	0.02
Energia bruta (Kcal)	347	3944	3950	3950	3430	4427	113	6

Fonte: Lima (2007)

**Tabela 22.** Médias de minerais de diferentes amostras de milho analisados no Laboratório de Análises Físico Químicas da Embrapa Suínos e Aves no período de 1979 a 1997. Valores expressos em base natural

Parâmetro	N (amostras)	Média	Mediana	Moda	Mínimo	Máximo	Desvio Padrão	Erro Padrão
Ca, %	273	0.04	0.03	0.05	0.01	1.05	0.08	0.00
P, %	281	0.26	0.25	0.23	0.11	0.88	0.07	0.00
Mg, %	23	0.10	0.10	0.10	0.08	0.12	0.01	0.00
K, %	10	0.35	0.35	0.30	0.30	0.41	0.03	0.01
Na, %	3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cu, mg/100g*	47	0.46	0.36	0.17	0.09	1.93	0.37	0.05
Fe, mg/100g*	43	5.86	4.85	3.43	2.24	18.20	3.21	0.49
Mn, mg/100g*	44	0.73	0.69	0.11	0.11	0.20	0.32	0.04
Zn, mg/100g*	47	2.73	2.17	2.14	1.39	15.18	2.02	0.29

\*Dados referentes aos minerais Cobre (Cu), Ferro (Fe), Manganês (Mn) e Zinco (Zn) expressos em mg/100g para que houvesse compatibilidade com os demais resultados e expressão numérica.

Fonte: Lima (2007).

A maior parte dos minerais presentes no grão de milho estão concentrados no gérmen (78%), embora estejam também presentes na camada de aleurona, a última camada do endosperma. Os minerais que se destacaram por serem encontrados em maior quantidade no milho foram o fósforo e o potássio.

Dentre os aminoácidos presentes nas diferentes amostras de milho analisadas destacam-se a lisina (0,24%) e o triptofano (0,05%) por apresentarem as menores quantidades, no endosperma (Tabela 23).

**Tabela 23.** Médias de aminoácidos de diferentes amostras de milho analisados no Laboratório de Análises Físico Químicas da Embrapa Suínos e Aves no período de 1979 a 1997. Valores expressos em base natural

Parâmetro	N (amostras)	Média	Mediana	Moda	Mínimo	Máximo	Desvio Padrão	Erro Padrão
Alanina, %	95	0.63	0.61	0.55	0.48	0.78	0.08	0.01
Arginina, %	92	0.37	0.36	0.31	0.27	0.55	0.07	0.01
Cistina, %	75	0.28	0.27	0.26	0.18	0.37	0.04	0.01
Fenilalanina, %	90	0.40	0.38	0.34	0.24	0.56	0.07	0.01
Fenilalanina + tirosina, %	92	0.66	0.65	0.68	0.40	0.96	0.13	0.01
Glicina, %	88	0.32	0.31	0.31	0.25	0.40	0.03	0.00
Glicina + serina, %	93	0.71	0.72	0.76	0.57	0.85	0.07	0.01
Histidina, %	88	0.24	0.24	0.24	0.18	0.40	0.05	0.01
Isoleucina, %	93	0.28	0.27	0.26	0.17	0.37	0.05	0.01
Leucina, %	93	1.00	1.00	1.20	0.72	1.32	0.15	0.02
Lisina, %	95	0.24	0.24	0.24	0.19	0.31	0.03	0.00
Metionina, %	74	0.21	0.20	0.18	0.14	0.27	0.04	0.00
Metionina + cistina, %	75	0.48	0.48	0.45	0.32	0.62	0.08	0.01
Prolina, %	93	0.81	0.78	0.70	0.54	1.13	0.13	0.01
Serina, %	92	0.39	0.39	0.38	0.30	0.48	0.04	0.00
Tirosina, %	91	0.27	0.26	0.20	0.16	0.43	0.07	0.01
Treonina, %	92	0.27	0.27	0.30	0.22	0.33	0.03	0.00
Triptofano, %	119	0.05	0.06	0.03	0.02	0.14	0.02	0.00
Valina, %	92	0.37	0.36	0.36	0.23	0.49	0.07	0.01

Fonte: Lima (2007).

A elaboração de extrudados expandidos se faz a partir da utilização do milho na forma de *grits*. A obtenção de produtos como *grits* é precedida pela produção de canjica por degerminação e esta por redução em canjiquinha. Para melhor redução do grão nesses produtos, com grau de conservação sem desenvolvimento de ranço e garantia de textura nos produtos derivados para o consumo, é necessária a eliminação do pericarpo (ASCHERI e CARVALHO, 2008).

Com isso, o milho ideal seria então, aquele que combina propriedades que permitem a fácil remoção do pericarpo, proporção da estrutura cristalina e amorfa do amido de tal forma que seja cem por cento aproveitado no processamento ao mesmo tempo em que contribua nutricionalmente (ASCHERI e CARVALHO, 2008).

Apesar da degerminação acarretar em uma redução do teor de lipídeos e minerais do milho, a utilização de *grits* para a elaboração de extrudados é fundamental devido às condições tecnológicas que oferece, principalmente no que diz respeito a expansão do material.

### **3.2.4 O efeito do processamento nas características químicas dos alimentos**

Alguns estudos têm mostrado que o processamento térmico tal como a fritura, secador de tambor e cozimento tradicional empregados na produção de alimentos, resultam em perdas nutricionais significativas (RAMOS et al., 2001; VIEIRA et al., 2007). O processo de extrusão termoplástica, devido ao curto período de permanência do material no canhão, promove além do aumento da digestibilidade e inativação enzimática, menores perdas de nutrientes, quando comparado a processos convencionais de aplicação de calor. As alterações nas propriedades físicas e químicas dos alimentos extrudados dependem das características do tratamento térmico e são utilizadas como estratégia para melhorar a qualidade do produto (TH, 1990).

O tratamento térmico sobre as leguminosas inativa enzimas e melhora o sabor e aroma além do aumento do valor nutricional. De acordo com Canniatti-Brazaca (1997), a ação do calor destrói total ou parcialmente a ação tóxica de algumas substâncias antinutricionais.

A extrusão termoplástica é reconhecida como um processo capaz de reduzir a concentração de fatores antinutricionais em produtos alimentares. Esse processo tem sido aplicado largamente em leguminosas sendo considerado então uma boa alternativa para a produção de novos alimentos. Além disso, possui menor custo quando comparado com outras tecnologias (POLTRONIERI et al., 2000).

Altas temperaturas e a presença de açúcares causam o escurecimento do extrudado pela reação de Maillard e, conseqüentemente, redução na qualidade das proteínas. Baixas temperaturas e concentração de açúcares resultam em um aumento da digestibilidade da proteína devido à reorganização da estrutura protéica (FELLOWS, 2006). Sabe-se ainda que a cocção por extrusão pode gerar amido com maior digestibilidade do que no cozimento convencional (GALLIARD, 1987).

Quanto ao valor nutricional, a perda de vitaminas nos extrudados varia de acordo com o tipo de matéria-prima, teor de umidade que apresentam, temperatura e o tempo de processo. Geralmente as perdas são minimizadas na extrusão a frio. As condições de alta temperatura por curto tempo na extrusão e o rápido resfriamento do produto quando emerge da matriz, causam perdas relativamente pequenas de vitaminas e aminoácidos essenciais (FELLOWS, 2006).

Produtos a base de cereais são boas fontes de vitaminas do complexo B, porém, dependendo do processamento térmico aplicado, o conteúdo destes nutrientes pode ser



significativamente reduzido. Por isso, Athar et al., (2006) avaliaram a retenção de vitaminas em produtos extrudados e concluíram que essas vitaminas do complexo B não foram afetadas pelo processo de extrusão termoplástica, porém ressaltam que, para que isto ocorra, se faz necessário o uso de um equipamento com um canhão de menor comprimento.

No entanto, Bertipaglia et al., (2008) analisando as características bromatológicas de extrudados de milho e soja verificaram que, o processo de extrusão alterou as características do produto final, pois aumentou a disponibilidade da fração lipídica pela ruptura da parede celular com a aplicação de calor e a redistribuição dos componentes da fração fibrosa. Os teores de proteína bruta das misturas avaliadas não foram afetados pela temperatura do processo, porém, foi observado que a digestibilidade *in vitro* das proteínas foi aumentada. Foi também observada redução nos inibidores de tripsina, nas misturas submetidas à extrusão termoplástica. Além disso, o uso de baixo teor de umidade durante de extrusão pode ser uma das causas da ineficiência do processo, assim como o curto período de permanência do produto sob cozimento no canhão da extrusora. Essas alterações, em sua maioria, dependem da temperatura de processamento e da proporção de matérias-primas utilizadas.

A fração cinza praticamente não é alterada com o processamento, assim, os minerais provavelmente não são afetados. O máximo de perdas minerais ocorre durante a cocção podendo chegar a 3% (KARMAS e HARRIS, 1988).

O processo de extrusão pode promover alterações no amido, formando uma fração resistente à ação de enzimas do trato gastrointestinal, hidrólise de polissacarídeos ou complexação com outros polímeros e degradação de estruturas de baixo peso molecular, podendo diminuir o conteúdo de fibra dietética. Segundo Asp e Björck (1989), a extrusão afeta o teor de óleo natural dos alimentos, fato justificado pelo aumento na extratibilidade da fração lipídica, resultante da ação física do processo de moagem e do cozimento sob alta pressão.

O conteúdo de fibras pode ser reduzido devido a degradação da fibra alimentar em fragmentos moleculares de menor peso, enquanto sua composição pode modificar em resposta a modificação do amido, que forma frações resistentes ao ataque enzimático (RUIZ-RUIZ et al., 2008).

Alguns autores (Gomes et al., 2006; Ruiz-Ruiz et al., 2008) evidenciaram que o conteúdo lipídico das amostras extrudadas decresceu conforme o aumento da velocidade do parafuso (>300 rpm) e da temperatura (>200°C).

Embora os minerais possam não ser perdidos durante o processamento, a combinação com outros nutrientes ou componentes alimentares pode tornar o mineral não disponível para absorção, portanto, o efeito oposto também pode ocorrer, ou seja, o aumento da biodisponibilidade por causa da destruição de ligantes (KARMAS e HARRIS, 1988).

Lasekan et al., (1996) estudaram os efeitos do processo de cocção por extrusão nas características nutricionais e no tempo de prateleira de *snacks* de milho e verificaram que, com a aplicação do calor durante o processamento (135°C na zona 5), os extrudados sofreram apenas uma pequena perda na disponibilidade de lisina (10%).

O valor nutritivo da proteína de grãos de feijão (*Phaseolus vulgaris L.*) é aumentado pelo processamento térmico, especialmente pelo calor úmido. Isso decorre, provavelmente, da desnaturação das proteínas e dos fatores antinutricionais de natureza protéica, já que, para exercer os seus efeitos biológicos, estes fatores precisam manter a sua integridade estrutural. Além disso, o aumento do valor nutricional pode ser resultante de maior acessibilidade das proteínas do feijão ao ataque enzimático, devido à desnaturação térmica. O processo térmico deve garantir suficiente inativação dos fatores

antinutricionais, ao mesmo tempo em que previne a degradação de aminoácidos essenciais (SILVA et al., 2006).

### 3.3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.3.1 Matéria – prima

As matérias-primas utilizadas neste estudo foram: *grits* de milho obtidos no comércio do Rio de Janeiro (Figura 28) e feijão do tipo Carioca, BRS Pontal, fornecido pela Embrapa Arroz e Feijão – Goiânia (Figura 29). Todas as análises subsequentes foram realizadas nas dependências da Embrapa Agroindústria de Alimentos – Rio de Janeiro, utilizando grãos de feijões sem casca, de acordo com o procedimento adotado no capítulo 1.



**Figura 28.** Grits de milho convencional (créditos: Erika M.M.da Silva)



**Figura 29.** Feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) BRS Pontal, do tipo Carioca (créditos: Erika M.M.da Silva)

### 3.3.2 Caracterização química

#### 3.3.2.1 Composição centesimal

Foram realizadas análises de:

- umidade (AOAC, 2005, método 934.01);
- extrato etéreo (AOAC, 2005, método 945.38), utilizando éter de petróleo e extrator Soxhlet.
- nitrogênio total (AACC, 1995, método 46-13), pelo método tradicional Kjeldahl, utilizando mistura de catalisador Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, CuSO<sub>4</sub> e Se. Para a titulação foi utilizado H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, na concentração de 0,1N;
- cinzas (AOAC, 2005, método 923.03), com incineração em mufla;
- fibra bruta, conforme Silva e Queiroz (2005);

#### 3.3.2.2 Minerais

Foram realizadas análises para a quantificação de magnésio, potássio, cálcio, manganês, ferro, cobre e zinco de acordo com a metodologia proposta pela AOAC (2005) através da digestão do material com ácido nítrico e ácido perclórico (HNO<sub>3</sub>:HClO<sub>4</sub>) em bloco digestor (método 975.03, item 3.2.05). A quantificação dos minerais foi realizada em espectrofotômetro de emissão de plasma ICP *Spectroflama flame* (Alemanha), de acordo com a metodologia da AOAC (2005) – método 990.08, item 9.2.39.

#### 3.3.2.3 Aminoácidos

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

Com base nos teores de aminoácidos, foi calculado o escore dos aminoácidos essenciais (EAAE), 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 estão de acordo com a metodologia de Pires et al., (2006), descritos na Equação 15.

$$EAAE = \frac{\text{mg de aminoácido por g de proteína teste}}{\text{mg de aminoácido por g de proteína padrão da FAO (1998)}}$$

(Equação 15)

### **3.3.3 Análise estatística**

As médias obtidas dos resultados de composição centesimal e minerais, nas amostras cruas de milho e feijão assim como as misturas extrudadas foram comparadas por meio do teste Tukey considerando um intervalo de confiança de 95%. Os dados foram analisados pelo programa *STATISTICA* versão 6.0 (STATSOFT INC., 2001).

### 3.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.4.1 Caracterização química das matérias-primas cruas e extrudados a base de milho e feijão do tipo Carioca

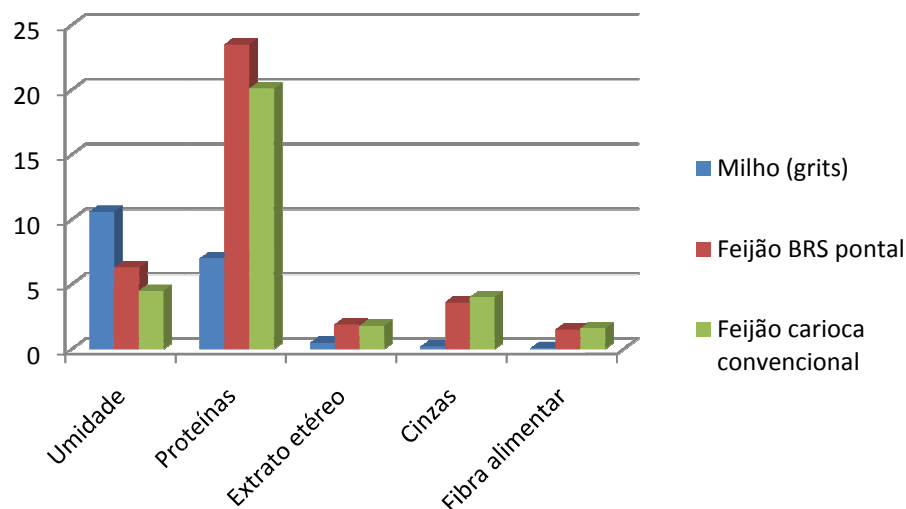
##### 3.4.1.1 Composição centesimal

Por meio da Figura 30 e Tabela 24 podem ser observados os resultados da composição centesimal do milho na forma de *grits*, feijão BRS Pontal e convencional, ambos do tipo Carioca e sem cascas.

Nota-se que, o milho constitui-se basicamente de um material amiláceo (81,6 g/100g de carboidratos) assim como observado por Silva (2007) que encontrou valores semelhantes ao do presente estudo referente a composição centesimal dessa matéria-prima. Por outro lado, tanto o feijão BRS Pontal quanto o feijão convencional possuem maiores teores de proteínas (23,5 e 20,1 g/100g respectivamente); lipídios em extrato etéreo (1,9 e 1,8 g/100g, respectivamente); cinzas (3,6 e 4,0 g/100g); fibra alimentar (1,5 e 1,6g/100g, respectivamente) e valor calórico (363 e 368 Kcal, respectivamente).

Os valores referentes a composição centesimal preconizados pela USDA (2001) para feijão são: proteínas (21,6 %), lipídios (1,42 %), carboidratos (62,3 %), fibra alimentar (15,2 %) e cinzas (3,6 %), semelhantes aos valores encontrados no presente estudo, exceto para fibra alimentar, pois a avaliação centesimal das amostras fora realizada com a ausência de tegumento (cascas). Para o milho, na forma de *grits*, os valores preconizados pela USDA (2001) são: proteínas (5,59 %), lipídios (1,39 %), carboidratos (82,75 %), fibra alimentar (1,9 %) e cinzas (0,46%), semelhantes aos valores referidos no presente trabalho, exceto por lipídios e fibra alimentar cujos valores são superiores aos observados nesse estudo.

Quando comparado com o feijão convencional, foi observado que o tipo BRS Pontal apresentou maior conteúdo de proteínas. Cabe ressaltar que este tipo de feijão é proveniente de estudos de melhoramento convencional agrônômico, com o intuito em aumentar os teores de ferro, zinco e também, melhorando a resistência contra agentes agressores externos, o que pode levar ao fortalecimento da estrutura celular e o aumento do conteúdo de alguns nutrientes. Além disso, o cruzamento realizado entre distintas variedades, com genes diferentes, pode gerar sementes com maior conteúdo de nutrientes específicos.



**Figura 30.** Teores de nutrientes e componentes alimentares nas matérias-primas cruas

Ainda com relação ao teor de proteínas nota-se que, a proporção deste nutriente é diretamente proporcional à proporção de feijão na mistura das amostras extrudadas indicando que o processamento por extrusão não reduziu o teor de proteínas nas misturas.

As amostras extrudadas tiveram valores de lipídios (extrato etéreo) bem variados entre si (0,1 a 1,3 g/100g). Foi observado, em algumas amostras extrudadas que, o teor deste nutriente fora reduzido, podendo indicar que o processamento por extrusão foi capaz de alterar o valor deste componente. O mesmo foi evidenciado por Gomes et al., (2006) ao analisarem teores de lipídios em amostras extrudadas de feijão.

O conteúdo de cinzas reflete a quantidade de matéria mineral presente nas amostras. O teor desse componente nas amostras extrudadas variou entre 0,4 e 1,9 g/100g sendo diretamente proporcional ao conteúdo de feijão na mistura.

Quanto ao conteúdo de fibras nas amostras extrudadas observa-se que este variou entre 0,4 e 0,7 g/100g, sendo bem semelhantes entre os distintos tratamentos, não tendo relação direta com o conteúdo de feijão.

O teor de carboidratos entre as amostras extrudadas variou entre 79 e 86,3 g/100g sendo este inversamente proporcional ao conteúdo de feijão nas misturas. O valor calórico calculado para todas as amostras extrudadas variou entre 371,7 e 389,3 Kcal sendo também, inversamente proporcional ao conteúdo de feijão nas misturas.

Gomes et al., (2006) analisando a composição centesimal de amostras extrudadas de feijão observaram valores para proteínas (26,38 %), lipídios (0,52 %), cinzas (4,28 %) e carboidratos totais incluindo fibras (68,81 %).

Neste sentido, pôde ser observado que, o processamento das matérias-primas por extrusão, nas condições atuais do presente estudo, não foi capaz de alterar de forma significativa os teores dos nutrientes e componentes alimentares analisados, exceto para lipídios onde foi observada uma redução do teor deste nutriente em algumas amostras extrudadas, inclusive abaixo do valor de lipídios encontrado para milho.

**Tabela 24.** Composição centesimal (%) do milho (*grits*), feijão Carioca BRS Pontal, feijão Carioca convencional e amostras extrudadas de milho e feijão BRS Pontal (base seca)\*

Amostras****	Umidade	Proteínas**	Extrato etéreo	Cinzas	Fibra alimentar	Carboidratos****	Valor calórico (Kcal/100g)
Milho ( <i>grits</i> )	10,6 <sup>h</sup>	7,0 <sup>a</sup>	0,5 <sup>d</sup>	0,2 <sup>a</sup>	0,1 <sup>a</sup>	81,6 <sup>e</sup>	358,9 <sup>a</sup>
Feijão BRS pontal (sem casca)*****	6,3 <sup>g</sup>	23,5 <sup>g</sup>	1,9 <sup>g</sup>	3,6 <sup>e</sup>	1,5 <sup>e</sup>	63,2 <sup>a</sup>	363,9 <sup>b</sup>
Feijão Carioca convencional (sem casca)	4,5 <sup>b</sup>	20,1 <sup>f</sup>	1,8 <sup>g</sup>	4,0 <sup>f</sup>	1,6 <sup>e</sup>	68,0 <sup>b</sup>	368,6 <sup>c</sup>
T1	5,2 <sup>cde</sup>	9,4 <sup>c</sup>	0,4 <sup>bcd</sup>	1,0 <sup>bc</sup>	0,6 <sup>bcd</sup>	83,4 <sup>f</sup>	374,8 <sup>fg</sup>
T2	5,5 <sup>ef</sup>	9,4 <sup>c</sup>	0,3 <sup>bc</sup>	0,9 <sup>b</sup>	0,4 <sup>b</sup>	83,5 <sup>fg</sup>	374,3 <sup>fg</sup>
T3	5,3 <sup>de</sup>	9,4 <sup>c</sup>	0,3 <sup>bc</sup>	0,9 <sup>b</sup>	0,5 <sup>bcd</sup>	83,6 <sup>fg</sup>	374,7 <sup>fg</sup>
T4	4,4 <sup>b</sup>	9,6 <sup>c</sup>	0,2 <sup>ab</sup>	0,9 <sup>b</sup>	0,6 <sup>bcd</sup>	84,3 <sup>g</sup>	377,4 <sup>h</sup>
T5	5,0 <sup>cd</sup>	13,2 <sup>e</sup>	0,4 <sup>cd</sup>	1,9 <sup>d</sup>	0,4 <sup>bc</sup>	79,1 <sup>cd</sup>	372,8 <sup>de</sup>
T6	4,9 <sup>c</sup>	13,3 <sup>e</sup>	0,3 <sup>bc</sup>	1,9 <sup>d</sup>	0,6 <sup>bcd</sup>	79,0 <sup>c</sup>	371,9 <sup>d</sup>
T9	5,3 <sup>de</sup>	11,1 <sup>d</sup>	0,1 <sup>a</sup>	1,4 <sup>c</sup>	0,5 <sup>bcd</sup>	81,6 <sup>e</sup>	371,7 <sup>d</sup>
T15	5,1 <sup>cd</sup>	11,3 <sup>d</sup>	0,4 <sup>bcd</sup>	1,4 <sup>c</sup>	0,6 <sup>bcd</sup>	81,2 <sup>e</sup>	373,6 <sup>ef</sup>
T16	4,5 <sup>b</sup>	11,6 <sup>d</sup>	0,8 <sup>e</sup>	1,3 <sup>c</sup>	0,6 <sup>bcd</sup>	81,2 <sup>e</sup>	378,4 <sup>h</sup>
T17	5,7 <sup>f</sup>	11,4 <sup>d</sup>	1,2 <sup>f</sup>	1,2 <sup>c</sup>	0,7 <sup>d</sup>	79,8 <sup>d</sup>	375,6 <sup>g</sup>
T19	3,3 <sup>a</sup>	8,1 <sup>b</sup>	1,3 <sup>f</sup>	0,4 <sup>a</sup>	0,6 <sup>bcd</sup>	86,3 <sup>h</sup>	389,3 <sup>i</sup>
D.M.S.	0,3	0,8	0,2	0,3	0,2	1,3	0,0
CV (%)	29,9	37,6	83,1	70,8	60,5	7,8	1,8

\* As médias, na mesma coluna, seguidas de letras diferentes, diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. \*\*Fator utilizado: 6,25 (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2003). \*\*\* Tratamentos: **T1** (15% feijão, 333 rpm, 13% umidade); **T2** (15% feijão, 378 rpm, 13% umidade); **T3** (15% feijão, 333 rpm, 19% umidade); **T4** (15% feijão, 378 rpm, 19% umidade); **T5** (45% feijão, 333 rpm, 13% umidade); **T6** (45% feijão, 378 rpm, 13% umidade); **T9** (30% feijão, 355 rpm, 16% umidade); **T15** (30% feijão, 318,2 rpm, 16% umidade); **T16** (30% feijão, 392,9 rpm, 16% umidade); **T17** (30% feijão, 355 rpm, 10,9% umidade); **T19** (4,8% feijão, 355 rpm, 16% umidade) \*\*\*\*Calculado por diferença (100-umidade-proteína-extrato etéreo- cinzas-fibra alimentar).\*\*\*\*\* Descascamento referente ao tratamento 4, citado no capítulo 1 (4 horas de maceração e secagem a 100°C por 1 hora). D.M.S. (diferença mínima significativa) e CV (coeficiente de variação).



### 3.4.1.2 Minerais

Por meio da Tabela 25 pode-se observar que, definitivamente o feijão apresenta maiores teores de magnésio, potássio, cálcio, manganês, ferro, cobre e zinco, quando comparado ao milho. Por outro lado, comparando-se os feijões do tipo Carioca nota-se que, a variedade BRS Pontal possui maiores teores de cálcio, manganês, ferro, cobre e zinco ao passo que, a variedade comercial apresenta maiores teores de magnésio e potássio.

Nas amostras extrudadas, o teor de magnésio variou entre 20,93 e 89,10 mg/100g sendo este diretamente proporcional ao conteúdo de feijão acrescido à mistura.

Desta forma foi observado que, o mesmo acontecimento foi verificado para todos os demais teores de minerais sendo estes: potássio, que variou entre (166,7 e 774,75 mg/100g); cálcio (4,54 e 24,32 mg/100g); manganês (0,19 e 1,10 mg/100g); ferro (1,29 e 3,47 mg/100g); cobre (0,10 e 0,49 mg/100g) e zinco (0,53 e 1,95 mg/100g).

As misturas extrudadas contendo 45% de feijão foram aquelas que mais se aproximaram da recomendação diária de ingestão de minerais tanto para crianças quanto para adultos (IOM, 1997, 2001, 2004). Sendo assim, por meio dos resultados obtidos, pode-se concluir que o processamento por extrusão termoplástica foi capaz de manter a integridade das amostras extrudadas quanto ao conteúdo mineral analisado, indicando que houve uma variação diretamente proporcional entre os minerais analisados e o conteúdo de feijão acrescido à mistura.

De acordo com a recomendação diária destes minerais para crianças pôde-se observar que, as amostras extrudadas de milho e feijão Carioca atingem entre 16 e 69% das recomendações para magnésio, 4 a 20% para potássio, 1 a 3% para cálcio, 13 e 73% para manganês, 13 e 35% para ferro, 25 e 123% para cobre e 11 e 39% para zinco.

Para adultos, essas amostras atingem entre 6 e 25% das recomendações diárias para magnésio, 4 e 17% para potássio, 0 e 2% para cálcio, 10 e 55% para manganês, 9 e 23 para ferro, 11 e 54% para cobre e 5 e 20% para zinco.

A máxima recomendação diária atingida para a ingestão dos minerais analisados, tanto para crianças quanto para adultos, pôde ser observada nas amostras extrudadas com maior percentual de feijão (45%).

Observa-se assim que, as amostras extrudadas com maior teor de feijão são capazes de suprir boa parte da parcela das necessidades diárias de quase todos os minerais analisados, exceto para cálcio.

**Tabela 25.** Média\* dos minerais (mg/100g) presentes no milho (*grits*), feijão Carioca BRS Pontal, feijão Carioca convencional e amostras extrudadas de milho e feijão BRS Pontal (base seca) e ingestão recomendada para crianças e adultos de acordo com a DRI (IOM, 1997, 2001, 2004)

<b>Amostras**</b>	<b>Magnésio</b>	<b>Potássio</b>	<b>Cálcio</b>	<b>Manganês</b>	<b>Ferro</b>	<b>Cobre</b>	<b>Zinco</b>
Milho ( <i>grits</i> )	6,59 <sup>a</sup>	17,33 <sup>a</sup>	1,20 <sup>a</sup>	NR	0,13 <sup>a</sup>	0,22 <sup>bc</sup>	0,20 <sup>a</sup>
Feijão Carioca (BRS Pontal) sem casca***	168,05 <sup>f</sup>	1365,02 <sup>f</sup>	59,14 <sup>j</sup>	1,98 <sup>f</sup>	6,55 <sup>h</sup>	1,11 <sup>g</sup>	3,41 <sup>g</sup>
Feijão Carioca convencional sem casca***	178,55 <sup>g</sup>	1572,65 <sup>g</sup>	42,52 <sup>i</sup>	1,51 <sup>e</sup>	5,18 <sup>g</sup>	0,94 <sup>f</sup>	2,79 <sup>f</sup>
T1	41,64 <sup>c</sup>	346,45 <sup>c</sup>	13,22 <sup>e</sup>	0,46 <sup>b</sup>	2,05 <sup>cd</sup>	0,22 <sup>b</sup>	0,95 <sup>c</sup>
T2	37,39 <sup>c</sup>	325,05 <sup>c</sup>	9,56 <sup>c</sup>	0,43 <sup>b</sup>	1,84 <sup>bc</sup>	0,21 <sup>b</sup>	0,88 <sup>c</sup>
T3	39,05 <sup>c</sup>	325,70 <sup>c</sup>	10,78 <sup>d</sup>	0,43 <sup>b</sup>	1,49 <sup>bc</sup>	0,19 <sup>ab</sup>	0,88 <sup>c</sup>
T4	40,33 <sup>c</sup>	344,55 <sup>c</sup>	10,55 <sup>d</sup>	0,47 <sup>b</sup>	1,59 <sup>bc</sup>	0,22 <sup>b</sup>	0,92 <sup>c</sup>
T5	85,70 <sup>e</sup>	746,35 <sup>e</sup>	23,87 <sup>h</sup>	1,06 <sup>d</sup>	3,00 <sup>ef</sup>	0,45 <sup>de</sup>	1,86 <sup>e</sup>
T6	89,10 <sup>e</sup>	774,75 <sup>e</sup>	24,32 <sup>h</sup>	1,10 <sup>d</sup>	3,47 <sup>f</sup>	0,49 <sup>e</sup>	1,95 <sup>e</sup>
T9	65,55 <sup>d</sup>	554,95 <sup>d</sup>	19,07 <sup>g</sup>	0,79 <sup>c</sup>	2,75 <sup>e</sup>	0,35 <sup>cd</sup>	1,43 <sup>d</sup>
T15	62,45 <sup>d</sup>	536,15 <sup>d</sup>	16,76 <sup>f</sup>	0,74 <sup>c</sup>	2,62 <sup>de</sup>	0,32 <sup>c</sup>	1,37 <sup>d</sup>
T16	64,45 <sup>d</sup>	554,95 <sup>d</sup>	17,32 <sup>f</sup>	0,78 <sup>c</sup>	3,12 <sup>ef</sup>	0,35 <sup>cd</sup>	1,46 <sup>d</sup>
T17	63,15 <sup>d</sup>	557,85 <sup>d</sup>	16,67 <sup>f</sup>	0,76 <sup>c</sup>	2,61 <sup>de</sup>	0,34 <sup>c</sup>	1,34 <sup>d</sup>
T19	20,92 <sup>b</sup>	166,70 <sup>b</sup>	4,54 <sup>b</sup>	0,19 <sup>a</sup>	1,29 <sup>b</sup>	0,09 <sup>a</sup>	0,53 <sup>b</sup>
D.M.S.	4,88	64,55	0,69	0,07	0,61	0,10	0,26
CV (%)	71,11	71,91	77,42	66,50	58,67	69,92	57,92
<b>Recomendação (mg/dia) crianças (4-8 anos)</b>	<b>130</b>	<b>3800</b>	<b>800</b>	<b>1,5</b>	<b>10</b>	<b>0,4</b>	<b>5</b>
<b>Recomendação (mg/dia) adultos</b>	<b>350</b>	<b>4500</b>	<b>1000</b>	<b>2,0</b>	<b>15</b>	<b>0,9</b>	<b>10</b>

\*As médias, na mesma coluna, seguidas de letras diferentes, diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.\*\* Tratamentos: **T1** (15% feijão, 333 rpm, 13% umidade); **T2** (15% feijão, 378 rpm, 13% umidade); **T3** (15% feijão, 333 rpm, 19% umidade); **T4** (15% feijão, 378 rpm, 19% umidade); **T5** (45% feijão, 333 rpm, 13% umidade); **T6** (45% feijão, 378 rpm, 13% umidade); **T9** (30% feijão, 355 rpm, 16% umidade); **T15** (30% feijão, 318,2 rpm, 16% umidade); **T16** (30% feijão, 392,9 rpm, 16% umidade); **T17** (30% feijão, 355 rpm, 10,9% umidade); **T19** (4,8% feijão, 355 rpm, 16% umidade). \*\*\* Descascamento referente ao tratamento 4, citado no capítulo 1 (4 horas de maceração e secagem a 100°C por 1 hora). NR: **não realizado**

**DRI:** *Dietary Reference Intakes*. D.M.S. (diferença mínima significativa) e CV (coeficiente de variação).

O feijão do tipo Carioca, da variedade BRS Pontal é conhecido dentre os programas de biofortificação, por meio de melhoramento convencional, por ser promissor para o aumento dos teores de ferro e zinco.

Pires et al., (2005) analisaram a concentração de diferentes elementos minerais em variedades distintas de feijão (*Phaseolus vulgaris*, L.). Estes autores puderam observar que a concentração de ferro variou de 4,46 a 6,40 mg/100 g de amostra para as variedades analisadas. Estes valores estão bem próximos daquele encontrado no presente estudo, para a variedade BRS Pontal, do tipo Carioca (6,55g/100g de amostra). E cabe ressaltar ainda que, os valores encontrados neste estudo estão relacionados ao feijão BRS Pontal do tipo Carioca, sem a presença de cascas que também contribuem para o aumento do teor de minerais.

Barampama e Simard (1993), estudando quatro variedades de feijão, encontraram valores do conteúdo de ferro entre 6,02 e 9,49 mg/100 g de feijão seco. Maldonado e Sammám (2000) verificaram que os teores de ferro variaram entre 8,81 (feijão Carioca) e 76,03 mg/100 g de matéria seca, para diferentes variedades estudadas. Oliveira (1997), estudando uma variedade de feijão vermelho cozido e seco encontrou teores de ferro de 7,70 mg/100 g de amostra. Dados do USDA (2001) informam que grãos de feijão cru (*Phaseolus vulgaris* L.) contém aproximadamente 5,02 mg de ferro em cada 100 g de amostra, inferior à variedade BRS Pontal analisada no presente estudo.

O teor de zinco encontrado para a variedade BRS Pontal foi de 3,41 mg/100g. Pires et al., (2005) encontraram valores para este mineral entre 2,34 e 3,35 mg/100g, semelhante ao presente estudo. Barampama e Simard (1993), analisando diferentes variedades verificaram teores de zinco entre 6,33 e 8,79 mg/100 g de feijão seco. Por outro lado, Maldonado e Sammám (2000) encontraram teores de zinco que variaram entre 2,50 e 6,08 mg/100 g de feijão seco, para diferentes cultivares estudados.

Para os demais elementos, Pires et al., (2005) encontraram valores de cálcio entre (122,53 a 207,41 mg/100 g); manganês (1,31 a 2,16 mg/100 g); magnésio (164,56 a 239,47 mg/100 g); cobre (1,22 a 2,74 mg/100 g) e potássio (1172,55 e 1542,45 mg/100 g), bem semelhantes aos valores encontrados para a variedade BRS Pontal, exceto para cálcio, pois a remoção do tegumento (cascas) dos grãos de feijão favoreceu a redução deste mineral cuja concentração maior se encontra nesta estrutura.

De acordo com informações da USDA (2001), 100g de feijão (*Phaseolus vulgaris*, L.) apresentam teores de cálcio (123 mg); ferro (5,02 mg); magnésio (171 mg); potássio (1483 mg); zinco (3,65 mg); cobre (0,8 mg) e manganês (1,06 mg) próximos aos encontrados para a variedade BRS Pontal, exceto para cálcio. Foi observado também que, a variedade em questão apresentou maior teor para ferro (6,55 mg/100g).

Já para o milho, na forma de *grits*, os valores informados pela USDA, em 100g de amostra, para os minerais analisados são: cálcio (2 mg); ferro (0,91 mg); magnésio (18 mg); potássio (90 mg); zinco (0,37 mg), cobre (0,1 mg) e manganês (0,05 mg). Estes valores são superiores aos encontrados para o milho na forma de *grits* utilizado na mistura extrusada desse estudo, exceto para cobre cujo valor encontrado foi de 0,22 mg/100g.

Silva (2007) analisando o teor de minerais em milho degerminado encontrou valores muito semelhantes ao do presente estudo, para cálcio (1,2 mg/100g), cobre (0,22 mg/100g), ferro (0,12 mg/100g), magnésio (6,58 mg/100g), potássio (17,3 mg/100g) e zinco (0,2 mg/100g).

### 3.4.1.3 Aminoácidos

As proteínas de origem animal são formadas por aminoácidos, em proporções e qualidade ótimas para a nutrição humana, enquanto que as de origem vegetal raramente são completas em sua composição (BOBBIO e BOBBIO, 2003). Entretanto, considerando os diferentes tipos de dietas no mundo, tais proteínas são importantes por serem, em muitos casos, a principal ou única fonte de aminoácidos essenciais na alimentação.

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. O feijão (*Phaseolus vulgaris*, L.) apresenta cerca da metade do teor de proteína em relação à soja, porém é de maior digestibilidade protéica (78,70%) (PIRES et al., 2006).

A proteína considerada de boa qualidade ou de alto valor biológico é aquela que fornece maior digestibilidade e quantidades adequadas de aminoácidos essenciais (PIRES et al., 2006). Para o ser humano, são essenciais os aminoácidos: isoleucina, leucina, lisina, metionina, fenilalanina, treonina, triptofano, histidina e valina (FRANCO, 2005). A ausência ou a deficiência de um aminoácido interfere de tal forma no processo de constituição da proteína que pode levar à caracterização da dieta como aprotéica (SZARFARC et al., 1980).

Por meio da Tabela 26 podem ser verificados os valores obtidos para a análise do perfil de aminoácidos do milho na forma de *grits* e feijão BRS Pontal do tipo Carioca. Nota-se que, o feijão BRS Pontal do tipo Carioca apresentou maiores teores para quase todos os aminoácidos analisados, exceto glutamina, alanina e prolina assim como a leucina, quando comparado com o *grits* de milho.

De acordo com Cruz et al. (2003) um dos maiores problemas do feijão é representado pelo baixo valor nutricional de suas proteínas decorrente, por um lado, da sua baixa digestibilidade e, de outro, dos reduzidos teores e biodisponibilidade de aminoácidos sulfurados. Porém, o escore químico irá predizer o quão significativo será a quantidade total de aminoácidos apresentada em cada matéria-prima, para diferentes faixas etárias.

**Tabela 26.** Composição em aminoácidos (mg aminoácido/g de proteína), em base seca, do *grits* de milho, feijão BRS Pontal com casca, sem casca e recomendações da FAO/WHO, para crianças de 2 a 5 anos, 10 a 12 anos e adultos

Aminoácidos	<i>Grits</i> de Milho	Feijão BRS Pontal sem casca*	FAO/WHO (2 a 5 anos)	FAO/WHO (10 a 12 anos)	FAO/WHO (Adultos)
Asparagina	57,14	85,53	-	-	-
Serina	30,00	40,43	-	-	-
Glutamina	128,57	93,62	-	-	-
Glicina	17,14	29,36	-	-	-
Histidina	21,43	25,96	19	19	16
Arginina	35,71	44,68	-	-	-
Treonina	21,43	33,19	34	28	9
Alanina	45,71	30,64	-	-	-
Prolina	107,14	35,32	-	-	-
Tirosina	21,43	29,79	-	-	-
Valina	34,29	39,57	35	25	13
Lisina	20,00	28,09	58	44	16
Isoleucina	31,43	37,45	28	28	13
Leucina	87,14	53,19	66	44	19
Fenilalanina	32,86	42,55	-	-	-
Triptofano	NR	NR	11	09	05
Fenilalanina+tirosina	54,29	72,34	63	22	19
Metionina+cisteína	10,00	19,15	25	25	17

NR: não realizado

\* Descascamento referente ao tratamento 4, citado no capítulo 1 (4 horas de maceração e secagem a 100°C por 1 hora).

Para o cálculo do escore, os valores de aminoácidos foram transformados em mg/g de proteína e divididos pelo valor (mg/g de proteína) recomendado pela FAO/WHO (1985) para crianças entre 2 e 5 anos, 10 a 12 anos e adultos. Uma proteína que apresenta escore maior que o valor 1,0 para todos os aminoácidos é considerada de alto valor nutricional. O aminoácido que apresentar escore menor que 1,0 é considerado limitante.

Por meio das Tabelas 27, 28 e 29 podem ser observados os resultados do escore de aminoácidos, de acordo com as recomendações da FAO/WHO (1998), para o *grits* de milho e feijão BRS pontal utilizados na elaboração dos extrudados.

Nota-se que os aminoácidos lisina e treonina foram considerados limitantes, tanto para o *grits* de milho quanto para o feijão BRS Pontal, de acordo com a recomendação da FAO para crianças de 2 a 5 anos de idade. Foi observado também que, a leucina foi considerada limitante para o feijão, na faixa etária em questão. E por fim, os aminoácidos sulfurados fenilalanina + tirosina, foram considerados limitantes, apenas para o milho na forma de *grits*. Porém, os sulfurados metionina e cisteína foram limitantes tanto para o *grits* de milho quanto para o feijão BRS Pontal, assim como verificado por Pires et al., (2006).

Onyango et al., (2004) verificaram que a lisina é o aminoácido limitante da proteína de milho, encontrando um teor deste aminoácido de 32 mg/g de proteína,

superior ao encontrado neste trabalho que foi de 20 mg/g de proteína. Esses valores são inferiores ao recomendado pela FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (1998), que é de 58 mg de lisina por grama de proteína. De acordo com estes autores, a proteína do milho é de baixa qualidade, pois é deficiente nos aminoácidos essenciais lisina e triptofano.

Pires et al., (2006) verificaram também que, os aminoácidos sulfurados do feijão foram considerados limitantes para crianças de 2 a 5 anos de idade, de acordo com a FAO (1998). Estes autores encontraram valores de 19,95 mg/g de proteína para metionina + cisteína, similar ao encontrado no presente estudo (19,15 mg/g de proteína).

**Tabela 27.** Escore de aminoácidos do *grits* de milho e feijão BRS Pontal, segundo as recomendações da FAO/WHO (1998) para crianças de 2 a 5 anos de idade

<b>Aminoácidos</b>	<b>Grits de milho</b>	<b>Feijão BRS Pontal (sem casca)*</b>
Histidina	1,13	1,37
Treonina	0,63	0,98
Valina	0,98	1,13
Lisina	0,34	0,48
Isoleucina	1,12	1,34
Leucina	1,32	0,81
Fenilalanina+tirosina	0,86	1,15
Metionina + cisteína	0,40	0,76

\* Descascamento referente ao tratamento 4, citado no capítulo 1 (4 horas de maceração e secagem a 100°C por 1 hora).

Com relação a recomendação para crianças de 10 a 12 anos de idade, observa-se por meio da Tabela 28 que, a treonina passa a ser apenas limitante para o *grits* de milho, porém a lisina ainda continua sendo considerada limitante tanto para milho quanto para o feijão. Ainda para essa faixa etária, nota-se que os aminoácidos sulfurados metionina+cisteína são considerados limitantes tanto para o *grits* de milho quanto para o feijão.

**Tabela 28.** Escore de aminoácidos do *grits* de milho e feijão BRS Pontal, segundo as recomendações da FAO/WHO (1998) para crianças de 10 a 12 anos de idade

Aminoácidos	<i>Grits</i> de milho	Feijão BRS Pontal (sem casca)*
Histidina	1,13	1,37
Treonina	0,77	1,19
Valina	1,37	1,58
Lisina	0,45	0,64
Isoleucina	1,12	1,34
Leucina	1,98	1,21
Fenilalanina+tirosina	2,47	3,29
Metionina + cisteína	0,40	0,76

\* Descascamento referente ao tratamento 4, citado no capítulo 1 (4 horas de maceração e secagem a 100°C por 1 hora).

Com relação a recomendação de aminoácidos essenciais para adultos nota-se, por meio da Tabela 29 que, apenas os aminoácidos sulfurados metionina+cisteína foram considerados limitantes para *grits* de milho.

Silva (2007) verificou, ao analisar o perfil aminoacídico de milho na forma de *grits* que, a lisina foi considerada limitante para este cereal, nas faixas etárias entre 2 e 5 anos, assim como para crianças entre 10 e 12 anos de idade. Não foi evidenciado que este aminoácido tenha sido limitante para adultos.

A mistura de milho e feijão pode ser recomendada para ingestão por adultos, devido a complementação aminoacídica que a mistura dessas matérias-primas oferece. Entretanto, para as demais faixas etárias explicitadas neste estudo, recomenda-se a complementação com outras fontes, por exemplo, as de origem animal. Cabe ressaltar que, em uma dieta, geralmente outras fontes protéicas são consumidas. Desta forma, a elaboração de produtos a base de milho e feijão não possui como o principal objetivo suprir carências protéicas, mas sim, manter o equilíbrio nutricional estimulando o consumo de cereais e leguminosas, o que contribuem para uma alimentação saudável.

Além disso, 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 protéica.

**Tabela 29.** Escore de aminoácidos do *grits* de milho e feijão BRS Pontal, segundo as recomendações da FAO/WHO (1998) para adultos

<b>Aminoácidos</b>	<b><i>Grits</i> de milho</b>	<b>Feijão BRS Pontal (sem casca)*</b>
Histidina	1,34	1,62
Treonina	2,38	3,69
Valina	2,64	3,04
Lisina	1,25	1,76
Isoleucina	2,42	2,88
Leucina	4,59	2,80
Fenilalanina+tirosina	2,86	3,81
Metionina + cisteína	0,60	1,12

\* Descascamento referente ao tratamento 4, citado no capítulo 1 (4 horas de maceração e secagem a 100°C por 1 hora).



### 3.5 CONCLUSÕES

O milho constitui-se um alimento basicamente amiláceo enquanto que o feijão apresentou maiores teores de lipídios, cinzas, fibra alimentar e menor valor calórico. Além disso, apresentou maiores teores de todos os minerais analisados e alguns aminoácidos não-essenciais e essenciais, exceto pela glutamina, alanina, prolina e o aminoácido essencial leucina. Pôde-se concluir por meio da avaliação do escore que, a lisina foi considerada limitante tanto para a ingestão de milho quanto para o feijão, em crianças até 12 anos de idade. Porém, de acordo com a recomendação para adultos, este aminoácido presente em ambas as matérias-primas foi adequado. O mesmo pôde ser concluído para o teor dos aminoácidos sulfurados metionina e cisteína que também foram limitantes para crianças até 12 anos, porém com relação ao milho, esses aminoácidos continuaram a ser limitantes para adultos.

Ao comparar os feijões do tipo Carioca observou-se que, a variedade BRS Pontal apresentou maiores teores de cálcio, manganês, ferro, cobre e zinco ao passo que, a variedade comercial apresentou maiores teores de magnésio e potássio.

Com relação as amostras extrudadas pôde-se verificar que, quanto maior o teor de feijão presente nas misturas maior o conteúdo dos componentes nutricionais analisados.

Pode-se concluir que, a complementação do milho com o feijão é favorável, fornecendo nutrientes quanti- e qualitativamente de forma equilibrada. O processamento por extrusão não foi capaz de reduzir significativamente o teor dos nutrientes analisados nas diferentes misturas de milho e feijão BRS Pontal do tipo Carioca. O feijão BRS Pontal do tipo Carioca apresentou maior qualidade nutricional quando comparado ao feijão comercial.

### **3.6 RECOMENDAÇÕES**

Sugere-se para os próximos estudos a realização de avaliações da qualidade protéica de extrudados de milho e feijão Carioca, tais como a digestibilidade de proteínas e a sua avaliação biológica.

Complementando, sugere-se também a avaliação de compostos antinutricionais, como fitatos e inibidores de tripsina para que mais conclusões a cerca da qualidade nutricional do produto possam ser evidenciadas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABD-EL-SAMEI, M.H.; LASZTITY, R. Comparative study on the aminoacids composition in three local *P. vulgaris* seeds varieties. **Z. Lebensm. Forsch**, v.178, n.1, p. 24-26, 1984.

**AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS (AACC)**. Approved methods of the AACC, 1995.

ASCHERI, J.L.R.; CARVALHO, C.W.P. **Curso de processo de extrusão de alimentos: aspectos tecnológicos para o desenvolvimento e produção de alimentos para consumo humano e animal**. EMBRAPA, Abril, 2008, 81p.

**ASSOCIATION OF OFFICIAL AGRICULTURAL CHEMISTS (AOAC)**. Official Methods of Analysis of the Association of Official Agriculture Chemists. Washington, 2005.

ASP, N.; BJÖRCK, I. Nutrition properties of extruded foods. In: MERCIER, C.; LINKO, D.; HARPER, J.M. (Eds.) **Extruding cooking**. Minnesota: American Association of Cereal Chemistry, p.399-434, 1989.

ATHAR, N.; HARDACRE, A.; TAYLOR, G.; CLARK, S.; HARDING, R.; McLAUGHLIN, J. Vitamin retention in extruded food products. **Journal of Food Composition and Analysis**, n.19, p. 379-383, 2006.

AZEVEDO, A., GOMES, J. C., STRINGHETA, P. C., GONTIJO, A. M. C., PADOVANI, C. R., RIBERIO, L. R. Z. Black bean (*Phaseolus vulgaris* L.) as a protective agent against DNA damage in mice. **Food and Chemical Toxicology**, v. 41, p. 1671–1676, 2003.

AZEVEDO, R.A.; LANCIEN, M.; LEA, P.J. The aspartic acid metabolic pathway, an exciting and essential pathway in plants. **Amino Acids**, New York, v. 30, p. 143-162, 2006.

BARAMPAMA, Z.; SIMARD, R. E. Nutrient composition, protein quality and antinutritional factors of some varieties of dry beans (*Phaseolus vulgaris*) grown in Burundi. **J. Food Chem.**, v. 47, p.159-167, 1993.

BERTIPAGLIA, L.M.A.; MELO, G.M.P.; SUGOHARA, A.; MELO, W.J.; BERTIPAGLIA, L.A. Alterações bromatológicas em soja e milho processados por extrusão. **R. Bras. Zootec.**, v.37, n.11, p.2003-2010, 2008.

BOBBIO, F.O.; BOBBIO, P. **Introdução à química de alimentos**. 3ª edição. São Paulo:Livraria Varela, 2003, 238p.

CANNIATTI-BRAZACA, S.G. Antinutricionais em alimentos. In: OETTERER, M. **Processamento e qualidade nutricional dos alimentos**: Palestras. Piracicaba: ESALQ, Departamento de Ciência e Tecnologia Agroindustrial, p. 1-23, 1997.

CARVALHO, C.W.P.; ASCHERI, J.L.R. Effect of dry-milling on physicochemical characteristics of white corn extrudates. **Alimentaria**, n.305, p. 115-119, 1999.

CNPAF – Centro Nacional de Pesquisas em Arroz e Feijão, Embrapa, 2003. Disponível em <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br>>. Acesso em 15 de julho de 2006.

CNPMS – Centro Nacional de Pesquisas em Milho e Sorgo, Embrapa, 2006. Disponível em <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br>>. Acesso em 15 de julho de 2006.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Indicadores Agropecuários. Balança Comercial do Agronegócio. Balança Importação. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/download/indicadores/0206-balancaimportacao.pdf>>. Acesso em 23 jan. 2006.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento da safra brasileira: 2009-2010. Disponível em <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/969898a66ca1ceede424d5853d3f8543.pdf>. Acesso em 20 de julho de 2010.

COSTA, G., QUEIROZ-MONICI, K., REIS, S., OLIVEIRA, A. Chemical composition, dietary fiber and resistant starch contents of raw and cooked pea, common bean, chickpea and lentil legumes. **Food Chem.**, v.94, n.3, p. 327-330, 2006.

CRUZ, G.A.D.R.; OLIVEIRA, M.G.A.; PIRES, C.V.; GOMES, M.R.A.; COSTA, N.M.B.; BRUMANO, M.H.N.; MOREIRA, M.A. Protein quality *in vivo* digestibility of different varieties of bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **Brazilian Journal of Food Technology**, v.6, n.2, p.157-162, 2003.

DUARTE, J.O.; CRUZ, J.C.; GARCIA, J.C.; MATTOSO, M.J. Economia da produção e utilização do milho. Sistemas de Produção. Versão eletrônica, 3ª edição, Setembro, 2007. Disponível em <<http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/milho/economiadaprodu.htm>>. Acesso em 19 de fevereiro de 2009.

FELLOWS, P. J. **Tecnologia do processamento de alimentos: princípios e prática**. 2ª ed., Porto Alegre: Artmed, 2006, 602p.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (FAO). **Necessidades de energia e proteína**. São Paulo: Roca, 1998, 225p.

FRANCO, G. **Tabela de composição química dos alimentos**. 9.ed. Rio de Janeiro: Atheneu, 2005. 307p.

GALLIARD, T. Starch availability e utilization. In: GALLIARD, T. **Starch: properties and potencial**. Chichester: John Wiley & Sons, cap.1, p.1-15, 1987.

GEIL, P.B., ANDERSON, J.W. Nutrition and health implications of dry beans: a review. **J.Am. Col.Nutr.**,v.13, n.6, p.549-558, 1994.

GOMES, J.C.; SILVA, C.O.; COSTA, N.M.B.; PIROZI, M.R. Desenvolvimento e caracterização de farinhas de feijão. **Revista Ceres**, v.53, p. 548-558, 2006.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, **POF – Programa de Orçamento Familiar** (cd), 2003.

INSTITUTE OF MEDICINE. **Dietary reference intakes for Calcium, Phosphorous, Magnesium, Vitamin D, and Fluoride**, 1997.

INSTITUTE OF MEDICINE. **Dietary Reference Intakes for Vitamin A, Vitamin K, Arsenic, Boron, Chromium, Copper, Iodine, Iron, Manganese, Molybdenum, Nickel, Silicon, Vanadium, and Zinc**, 2001.

INSTITUTE OF MEDICINE. **Dietary Reference Intakes for Water, Potassium, Sodium, Chloride, and Sulfate**, 2004.

KARMAS, E.; HARRIS, R.S. **Nutritional evaluation of food processing**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1988, 786p.

LASEKAN, O.O.; LASEKAN, W.; IDOWU, M.A.; OJO, O.A. Effect of extrusion cookig conditions on the nutritional value, storage stability and sensory characteristics of a maize-based snacks food. **Journal of Cereal Science**, n.24, p. 79-85, 1996.

LEMOS, L.B. OLIVEIRA, R.S.; PALOMINO, E.C.; SILVA, T.R.B. Características agronômicas e tecnológicas de genótipos de feijão do grupo comercial Carioca. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, n.2, p.319-326, fev., 2004.

LIMA, G.J.M.M. Qualidade nutricional do milho: situação atual e perspectivas. Disponível em <[http://www.cnpsa.embrapa.br/sgc/sgc\\_artigos/artigos\\_c3h18x3r.html](http://www.cnpsa.embrapa.br/sgc/sgc_artigos/artigos_c3h18x3r.html)>. Acesso em 3 de março de 2007.

MALDONADO, S.; SAMMÁN, N. Composición química y contenido de minerales de leguminosas y cereales producidos en el noroeste argentino. **Arch. Latinoam. Nutr.**, v.50, n.2, p.195-199, 2000.

MECHI, R.; CANIATTI-BRAZACA, S.G.; ARTHUR, V. Avaliação química, nutricional e fatores antinutricionais do feijão preto (*Phaseolus vulgaris*, L.) irradiado. **Ciênc. Tecnol. Aliment.**, v.25, n. 1, p. 109-114, 2005.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. Resolução nº 360 de 23 de Dezembro de 2003. Aprova o regulamento técnico sobre rotulagem nutricional de alimentos embalados. Disponível em [http://www.anvisa.gov.br/legis/resol/2003/rdc/360\\_03rdc.htm](http://www.anvisa.gov.br/legis/resol/2003/rdc/360_03rdc.htm). Acesso em 23 de julho de 2010.

NAVES, M.M.V.; SILVA, M.S.; CERQUEIRA, F.M.; PAES, M.C.D. Avaliação química e biológica da proteína do grão em cultivares de milho de alta qualidade protéica. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.34, n.1, p.1-8, 2004.

ONYANGO, C.; HORST NOETZOLD, H.; BLEY, T.; HENLE, T. Proximate composition and digestibility of fermented and extruded uji from maize-finger millet blend. **Lebensm-Wiss**, v.37, p.827-832, 2004.

OLIVEIRA, L. F. A. **Efeito da ingestão da mistura arroz e feijão na biodisponibilidade de ferro e cálcio**. 1997. 135f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1997.

PAES, M.C.D. **Aspectos químicos, físicos e tecnológicos do grão de milho**. Circular Técnica n° 75. Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG, Dezembro, 2006.

PAREDES-LOPEZ, O.; SERNA-SALDIVAR, S.O.; GUZMAN-MALDONADO, H. In: El Colegio de Sinaloa (Ed.). **Los alimentos mágicos de Las Culturas Indígenas de Mexico – el caso de la tortilla Culiacan**. Sinaloa, Mexico, 2000.

PEREIRA, M.V.L.; BOAVENTURA, G.T.; ASCHERI, J.L.R.; CORREIA, B.F.; OLIVEIRA, P.C. Avaliação biológica da farinha de milho QPM obtida por extrusão. **Revista do Centro de Ciências Médicas**. UFF. Janeiro/Abril, v.2, n.2, 1998.

PIRES, C.V.; OLIVEIRA, M.G.A.; CRUZ, G.A.D.R.; MENDES, F.Q.; DE REZENDE, S.T.; MOREIRA, M.A. Composição físico-química de diferentes cultivares de feijão (*Phaseolus vulgaris*). **Alim. Nutr.**, v.16, n.2, p.157-162, 2005.

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. **Ciênc. Tecnol. Aliment.**, Campinas, v.26, n.1, p. 179-187, 2006.

POLTRONIERI, F.; ARÊAS, J.A.G.; COLLI, C. Extrusion and iron bioavailability in chickpea (*Cicer arietinum* L.). **Food Chemistry**, v.70, p.175-180, 2000.

RAMOS, M.I.L.; UMAKI, M.C.S.; HIANE, P.A.; FILHO, M.M.R. Efeito do cozimento convencional sobre os carotenóides pró-vitamínicos A da polpa do piqui (*Caryocar brasiliense* Camb). **B. Ceppa**, v.19, n.1, p. 23-32, 2001.

RIBEIRO, N.D.; LONDERO, P.M.G.; CARGNELUTTI FILHO, A.; JOST, E.; POERSH, N.L.; MALLMANN, C.A. Composição de aminoácidos de cultivares de feijão e aplicações para o melhoramento genético. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.42, n.10, p.1393-1399, out., 2007.

ROSTON, A.J. Feijão. **Boletim Técnico CATI**, n. 199, Campinas (SP), p. 1-18, 1990.  
SILVA, D.J.; QUEIROZ, A.C. **Análise de alimentos. Métodos químicos e biológicos**. 3ª edição, Editora UFV: Universidade Federal de Viçosa, 2005, 235p.

RUIZ-RUIZ, J.; MARTÍNEZ-AYALA, A.; DRAGO, S.; GONZÁLEZ, R.; BETANCUR-ANCONA, D.; CHEL-GUERRERO, L. Extrusion of a hard-to-cook bean (*Phaseolus vulgaris* L.) and quality protein maize (*Zea mays* L.) flour blend. **LWT – Food Science and Technology**, p. 1-9, 2008.

SILVA, C.O.; GOMES, J.C.; COSTA, N.M.B.; ANDRADE, N.J.; MINIM, V.P.R. **Caracterização nutricional de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) após processamento térmico.** Revista Ceres, p. 528-538, 2006.

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.** Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos). Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007, 118p.

SISTEMA BRASILEIRO DE RESPOSTAS TÉCNICAS (SBRT). Disponível em <<http://sbrt.ibict.br/upload/sbrrt1128.pdf>>. Acesso em 03 de março de 2007.

STATSOFT, INC. (2001). STATISTICA (data analysis software system), version 6. www.statsoft.com.

SZARFARC, S.C.; MARTINS, I.S.; MAZZILLI, R.N.; CAVALCANTI, M.L.F.; GANDRA, Y.R. Qualidade protéica de dietas avaliadas segundo os padrões FAO, 1968 e FAO, 1973. **Revista de Saúde Pública**, v.14, p.151-160, 1980.

TH, J. Residence time distributions in twin-screw cooking extruders. In: SPIESS, W.E.L.; SCHUBERT, H. (Eds.) **Engineering and food advanced process.** New York: Elsevier Applied Science, v.3, p.290-297, 1990.

THARANATHAN, R.N., MAHADEVAMMA, S. A review: grain legumes a boon to human nutrition. Trends in **Food Science and Technology**, v.14, 507-518, 2003.

USDA Nutrient Database for Standard Reference, Release 14 (Julho 2001). Disponível em <http://www.unifesp.br/dis/servicos/nutri/>. Acesso em 21 de julho de 2010.

VIEIRA, C. Leguminosas de grãos: importância na agricultura e na alimentação humana. **Informe Agropecuário**, v.16, n.174, p.5-11, 1992.

VIEIRA, J.O.; BRESSAN, M.C.; FARIA, P.B.; FERREIRA, M.W.; FERRÃO, S.P.B.; SOUZA, X.R. Efeito dos métodos de cocção na composição centesimal e colesterol do peito de frangos de diferentes linhagens. **Ciênc. agrotec.**, v. 31, n. 1, p. 164-170, 2007.

WELCH, R., HOUSE, W., BEEBE, S., CHENG, Z. Genetic selection for enhanced bioavailable levels of iron in bean (*Phaseolus vulgaris* L.) seeds. **J. Agric. Food Chem.**, v.48, p.3576- 3580, 2000.

WINHAM, D. M., HUTCHINS, A. M. Baked bean consumption reduces serum cholesterol in hypercholesterolemic adults. **Nutrition Research**, v. 27, p. 380-386, 2007.

ZHANG, W.; HOSENEY, R.C. Factors affecting expansion of corn meals with poor and good expansion properties. **Cereal Chemistry**, n.75, v.75, p. 639-643, 1998.

## **CAPÍTULO IV**

### **ELABORAÇÃO DE FARINHAS PRÉ-GELATINIZADAS DE MILHO E FEIJÃO CARIOCA PARA O PREPARO DE SOPAS**



## RESUMO

Atualmente, os consumidores buscam por produtos que tenham conveniência na preparação, tornando assim necessário que a indústria produza alimentos prontos, semiprontos e instantâneos de boa qualidade. Esta tendência pode ser alcançada por meio do processo de extrusão. Por meio desta tecnologia, variando alguns parâmetros de processamento, podem ser obtidas farinhas pré-cozidas a partir de misturas de matérias-primas enriquecidas e com valor nutricional equilibrado. Nesse sentido, o objetivo desse trabalho foi elaborar farinhas pré-gelatinizadas obtidas por meio da extrusão termoplástica com o intuito de elaborar sopas de milho, com diferentes proporções de feijão do tipo Carioca, variedade BRS Pontal e assim, avaliar os efeitos dos parâmetros de extrusão nas características finais desses produtos. Os parâmetros utilizados no processamento por extrusão termoplástica foram: rotação do parafuso (318,2 a 392,9 rpm); umidade inicial na mistura (10,9 a 21%) e adição de feijão sem casca BRS Pontal do tipo Carioca (4,8 a 55,2%). Esses parâmetros foram estabelecidos, nos seus devidos níveis, por meio de um delineamento experimental composto rotacional de segunda ordem onde, as variáveis respostas estudadas foram índice de solubilidade em água (ISA), índice de absorção de água (IAA), viscosidade máxima inicial (V25), viscosidade máxima a 95°C (VMax), viscosidade final (VF), densidade absoluta ( $\rho_{\text{abs}}$ ) e volume total de poros (TP). Além disso, as sopas elaboradas foram submetidas a avaliação de aceitabilidade, por análise sensorial. Por meio do estudo realizado pôde-se verificar que, a obtenção de farinhas pré-gelatinizadas para o preparo de sopas de milho e feijão BRS Pontal tipo Carioca foi possível obtendo-se produtos com características aceitáveis pelos consumidores. As farinhas que propiciaram a elaboração das sopas de melhor aceitabilidade foram aquelas que apresentaram partículas de aproximadamente 200  $\mu\text{m}$ . O aumento do conteúdo de feijão nas amostras elevou a solubilidade das farinhas extrudadas, entretanto não afetou de forma significativa os valores de absorção em água. A viscosidade de pasta apresentada pelas farinhas está condizente com a característica de pré-gelatinizada, sendo solubilizadas sem a necessidade de cozimento. Além disso, permitiu verificar que as farinhas pré-gelatinizadas de milho e feijão apresentaram-se viscosas, homogêneas e com pouca tendência a retrogradação. Isso quer dizer que o processo de extrusão e os parâmetros aplicados permitiram elaborar produtos com boas características para o preparo de sopas. Isto foi verificado por meio da opinião dos julgadores, na análise sensorial. Não foi evidenciada diferença significativa entre as amostras analisadas permitindo concluir que a adição de até 45% de feijão, para a produção de farinhas mistas pré-gelatinizadas com o intuito de elaborar sopas, não influenciou de forma significativa a aceitabilidade das sopas, sendo que nenhum sabor residual foi evidenciado.

**Palavras-chave:** Sopas, Farinhas, Viscosidade.

## ABSTRACT

Nowadays, consumers look for products that have convenience in preparation, making it necessary for the foodservice industry to produce, semi ready and instant products with good quality. This trend can be achieved by the extrusion process. By this technology, varying some processing parameters can be obtained pre-cooked flours from blends of different enriched raw materials with nutritional values balanced. In this way, the objective of this study was to develop pre-gel flours obtained by extrusion cooking in order to prepare soups from maize-based with different proportions of Carioca type bean, cultivar BRS Pontal and to evaluate the effects of extrusion parameters in the final characteristics of these products. The parameters used in this process, by extrusion cooking were: screw speed (318.2 to 392.9 rpm), initial moisture content in the blend (10.9 to 21%) and the addition of peeled Carioca type beans (4.8 to 55.2%). These parameters were set in levels, by a second order experimental composite rotational design where the response variables studied were water solubility index (WSI), water absorption index (WAI), initial viscosity (V25), maximum viscosity at 95 ° C (VMax), final viscosity (FV), absolute density ( $\rho_{abs}$ ) and total porosity volume (TP). In addition, the prepared soups were subjected to acceptability test. It was observed that the development of pre-gel flours in order to prepare soups with maize and beans was feasible resulting in products with good acceptance by consumers. The selected flours which showed better acceptability presented particle size around 200 micrometers. The increase of beans levels increased the solubility of extruded flour, but did not affect significantly the values of water absorption. The flours viscosity profile is consistent with the characteristic of semi-instant products, being dissolved without needing to cook. Moreover, it was concluded that the pre-gel flours from maize and beans blends presented viscous, homogeneous and with low capacity of retrogradation. This means that the extrusion process and the used parameters allowed the development of products with good characteristics for the preparation of soups. This was verified through the opinions of the judges by sensory analysis. There was no significant difference between the analyzed samples, allowing to conclude that the addition of 45% of beans did not influence significantly the acceptability of soups and no residual taste was observed.

**Keywords:** Soups, Flours, Viscosity.

## 4.1 INTRODUÇÃO

Atualmente, os consumidores buscam por produtos que tenham conveniência na preparação, tornando assim necessário que a indústria produza alimentos de fácil preparação e de boa qualidade. Esta tendência pode ser alcançada por meio do processo de extrusão. Por meio desta tecnologia, variando alguns parâmetros de processamento, podem ser obtidas farinhas pré-cozidas a partir de misturas de matérias-primas enriquecidas e com valor nutricional equilibrado.

O feijão é geralmente adquirido na forma de grãos secos e crus, demandando longo tempo para o preparo, o que o torna pouco competitivo em relação aos produtos semiprontos ou prontos para o consumo. Esta leguminosa faz parte do cardápio de milhões de brasileiros. Entretanto, pode ser verificado que seu consumo tenha sofrido uma redução devido a consequência da rotina alimentar de muitos trabalhadores, do avanço da inserção da mulher no mercado de trabalho e, com isso, o tempo reduzido para a dedicação a alimentação caseira.

Há algumas décadas atrás, as farinhas que continham feijão eram elaboradas por meio de tecnologias tais como secadores de tambor ou *spray dryer* sendo que os grãos eram submetidos previamente à maceração, cozimento, amassamento e depois a secagem, o que tornava o trabalho oneroso e cansativo.

Com o avanço da tecnologia de alimentos, o aumento da oferta de produtos rápidos para o consumo nas prateleiras e o acesso à informações, o consumidor passa a elevar o seu nível de exigência quanto a qualidade sensorial e nutricional dos produtos adquiridos. Com isso, se faz necessário ofertar produtos com elevado padrão de qualidade associado a baixo custo de aquisição. Neste sentido, a extrusão termoplástica permite desenvolver produtos utilizando a mistura de matérias-primas, fontes de diversos nutrientes, permitindo assim obter produtos com maior teor de elementos nutritivos. Além disso, essa tecnologia é conhecida por inativar componentes antinutricionais, disponibilizando os nutrientes pertinentes a cada ingrediente e assim, produzir em larga escala produtos usualmente consumidos, como as sopas instantâneas, de forma rápida e prática.

Atualmente, a oferta de produtos prontos para o consumo, em geral na forma de farinhas prontas para dissolver, sopas prontas em sachês ou até mesmo produtos congelados, não são tão atrativos sensorialmente, possuindo alto teor de sódio, gorduras e conservantes.

As farinhas pré-cozidas possuem aplicação na elaboração de produtos semiprontos como sopas e caldos, que têm como uma de suas principais características a praticidade e rapidez de preparo, podendo também ser utilizadas como ingredientes em diversas formulações sendo alternativas para enriquecimento, haja vista sua boa aceitação junto à população. Estes produtos podem ser elaborados sem a adição de conservantes e gorduras visto que a extrusão permite a redução do conteúdo de água, aumentando a vida-de-prateleira de produtos geralmente consumidos na forma *in natura*.

#### 4.1.1 Objetivos

- Determinar os parâmetros de extrusão para o desenvolvimento de farinhas pré-gelatinizadas, a base de milho acrescido de feijão BRS Pontal do tipo Carioca, por meio da extrusão termoplástica;
- Avaliar os efeitos desses parâmetros nas características funcionais das farinhas mistas extrudadas quanto ao índice de absorção de água, índice de solubilidade em água, viscosidade de pasta, tamanho de partícula, densidade absoluta e volume total de poros;
- Determinar o melhor tipo de moagem na obtenção de farinhas extrudadas para a elaboração de sopas;
- Avaliar sensorialmente a aceitabilidade das sopas elaboradas.

## 4.2 REVISÃO DE LITERATURA

### 4.2.1 A extrusão e o desenvolvimento de farinhas

O feijão geralmente é adquirido na forma de grãos secos e crus, demandando um longo período de tempo para seu preparo, aproximadamente de uma hora, ou mais, o que o torna pouco competitivo em relação aos produtos semiprontos ou prontos para o consumo (CARNEIRO, 2001).

Desta forma, o feijão *in natura* vem se tornando menos competitivo que os produtos prontos para o consumo (CARNEIRO, 2001). Com o lançamento de diversas sopas desidratadas à base de feijão, massas, legumes e verduras desidratadas, o consumo de farinha de feijão aumentou expressivamente (OLIVEIRA, 1996).

Uma série de tecnologias alternativas tem sido propostas para a cocção do feijão duro para o cozimento, em particular a extrusão, pois essa já é amplamente utilizada para incorporação de sementes de cereais de difícil cozimento que são então empregados para produção de farinhas pré-cozidas (RUIZ-RUIZ et al., 2008).

A pré-gelatinização de farinhas pode ser obtida em escala industrial por utilização de *spray dryer*, secagem em rolos e por extrusão. O processo de extrusão apresenta-se como um dos mais vantajosos para substituir o processo convencional na produção de farinhas pré-gelatinizadas, porque apresenta controle mais rigoroso do grau de gelatinização, onde pequenas modificações no equipamento e/ou na matéria-prima podem levar a diferentes resultados finais na qualidade do produto (EL-DASH, 1982).

O estudo de Clerice e El-Dash (2010), mostrou a viabilidade na obtenção de farinhas pré-gelatinizadas de arroz por extrusão com características tecnológicas diferenciadas para produtos que podem variar de mingaus, sopas, cremes a alimentos infantis, sendo que essa diferenciação foi proveniente da influencia das variáveis umidade e temperatura de extrusão.

Segundo Ascheri et al. (2004), em testes realizados utilizando *grits* de milho e amaranto foram obtidas farinhas pré-gelatinizadas de boa qualidade e sabor para uso em sopas de preparação rápida. Dentre os benefícios oferecidos pelo processo de extrusão, em alguns casos também se verifica uma complementação no valor nutricional de farinhas extrudadas.

Segundo Vieira (2006), farinhas obtidas a partir de resíduos da produção de palmito proveniente da palmeira-real possuem elevado teor de fibras alimentares, quantidades razoáveis de vitaminas e minerais, pequenas quantidades de lipídios e compostos antinutricionais (fitatos e taninos).

Outro subproduto que também pode ser utilizado como matéria-prima para produção de farinhas extrudadas é a quirera de arroz, visto que apresenta propriedades como não alergenicidade e ampla faixa de teor de amilose, além de não provocar reações alérgicas em celíacos (SILVA e ASCHERI, 2009).

Além disso, a extrusão também é capaz de melhorar características sensoriais do alimento, como foi verificado no trabalho de Wang et al.(2005), onde a farinha mista de trigo e soja extrusada apresentou melhor aceitabilidade quando comparada a farinha crua obtida da mesma matéria-prima.

Deste modo, diversos estudos têm sido realizados utilizando o processo de extrusão com o intuito de formular alimentos mais saudáveis a base de farinhas, ricas em fibras e outros componentes (SILVA et al., 2008). São alguns exemplos desses alimentos: farinha pré-cozida de milho e soja (FERNANDES et al., 2003), farinhas

instantâneas elaboradas a base de milho, caseína e extrato e de leveduras (ALVIM, 2001), mingaus de arroz com casca de soja (MAIA et al., 1999), entre outros.

A aplicação da extrusão para a obtenção de farinhas de leguminosas é uma área de investigação relativamente nova, com exceção da soja (LAZOU e KROKIDA, 2010).

As modificações físicas que ocorrem por meio da extrusão termoplástica são uma alternativa para melhorar as propriedades do amido nativo sem que haja modificações químicas e também para melhorar características negativas oriundas da retrogradação que ocorre durante o armazenamento de produtos amiláceos. Além disso, amidos modificados fisicamente são considerados materiais com baixo risco (HAGENIMANA et al., 2006).

#### **4.2.2 Sopas**

Dadas às mudanças de hábitos alimentares do mundo moderno, a produção de alimentos prontos e de rápido preparo e instantâneo têm sido alvo da indústria de alimentos (CÓRDOBA et al., 1994).

Sopas em pó são alimentos simples conhecidas por saciar o apetite e prover nutrientes de forma rápida. As sopas em pó são fáceis de manipular, armazenar, preparar e servir; usadas como ingrediente versátil para massas, molhos e alimentos similares. Além disso, os ingredientes podem ser facilmente incorporados à sopa, proporcionando benefícios à saúde. As sopas começam com apenas o caldo, o qual é acentuado com a adição de vários ingredientes para fornecer uma ampla gama de perfis de sabor. As sopas do tipo creme dependem do amido como o principal componente responsável pela viscosidade, um critério importante que contribui para a aceitação do produto. Outros ingredientes podem ser acrescentados como espessantes e estabilizantes, para fornecer textura, viscosidade e sólidos em suspensão, além de regular e aperfeiçoar o processo e as propriedades sensoriais (RAVINDRAN e MATIA-MERINO, 2009).

Do ponto de vista reológico, as sopas são complexos sistemas viscoelásticos por causa das interações entre amido e demais componentes (tais como proteínas e gorduras). A produção comercial de sopas depende do seu fluxo e comportamento de textura durante e após o processamento. Portanto, é importante entender essas interações que são essenciais e referem-se aos aspectos funcionais de sopas (RAVINDRAN e MATIA-MERINO, 2009).

No trabalho de Gomes et al., (2006) foi observado que as farinhas de feijão desenvolvidas têm aplicação na elaboração de produtos semiprontos, como sopas e caldos, podendo também ser utilizadas como ingredientes em diversas formulações e alternativas para enriquecimento, haja vista sua boa aceitação junto a população.

É importante ressaltar que a remoção do tegumento se torna um ponto positivo com relação as características sensoriais de sopas visto que as cascas formam um precipitado que prejudica a estética do produto. Além disso, a presença de cascas na mistura necessita de maior tempo para obter completo cozimento do material.

Conforme o estudo desenvolvido por Stevanato et al., (2007), a farinha de resíduos de tilápia elaborada na forma de sopa apresentou excelente aceitação por alunos do ensino fundamental de uma escola pública, os quais foram provadores voluntários na sua pesquisa.

De acordo com Monteiro et al., (2001), as sopas-creme produzidas à base de coração de palmeira e de palmito também foram bem aceitas por alunos de uma escola estadual pelo teste de análise sensorial e teste estatístico.

No estudo de Córdoba et al., (1994), os autores destacam a importância de que novas formulações de produtos alimentícios apresentem bons aspectos nutricionais e sensoriais, sendo a propriedade sensorial de sopas cremosas considerada um requisito importante na sua formulação. Em concordância com um desses critérios, Ascheri et al., (2004) apontaram que a substituição do milho por amaranto em farinhas mistas elevou a qualidade nutricional desta para a produção de sopas cremosas instantâneas, visto que a proteína do amaranto é de alta qualidade biológica, devido ao alto teor de lisina e outros aminoácidos essenciais.

O lançamento de produtos industrializados obtidos a partir do processamento do feijão, no Brasil, inicialmente chocou-se com os critérios de qualidade, conforme percebidos pelos consumidores. Primeiro, os produtos à base de grãos; as feijoadas encontraram resistência por utilizar grãos velhos, cujo tegumento estava endurecido, não alcançando o cozimento adequado. Em um segundo momento, na década de 70 e início dos anos 80 foram as farinhas pré-cozidas que tiveram as mesmas dificuldades, pois utilizavam matérias-primas de baixa qualidade. De um modo geral, a indústria abordou a elaboração destes produtos como o aproveitamento de grãos que não mais serviam para o uso culinário. A terceira fase é a dos produtos congelados, com limitações de preço ao consumidor e dos grãos cozidos e esterilizados em embalagens flexíveis, mas cuja aparência não é atrativa (GOMES et al., 2006).

#### **4.2.3 Propriedades funcionais dos extrudados**

As principais propriedades funcionais dos extrudados são a absorção de água, solubilidade em água, viscosidade e densidade (LAZOU e KROKIDA, 2010). O aumento de solubilidade do material é a base para a elaboração de alimentos de fácil reconstituição, como é o caso das sopas, por exemplo. Sendo assim, após a cocção por extrusão, as farinhas de alguns cereais são comercializadas como farinhas pré-gelatinizadas.

O efeito da extrusão termoplástica e seus parâmetros aplicados, nas propriedades funcionais de diversos produtos têm sido investigado (DING et al., 2006; DING et al., 2005). Geralmente, as propriedades funcionais de extrudados estão relacionadas com modificações moleculares que ocorrem durante o processamento. Além disso, o efeito da adição de proteínas nas propriedades funcionais de extrudados a base de cereais tem sido investigado mais recentemente (LAZOU e KROKIDA, 2010; RUIZ-RUIZ et al., 2008; ATIENZO-LAZOS et al., 2009; ANTON et al., 2008). As proteínas mais utilizadas para o processamento por extrusão são as de soja (FERNANDES et al., 2003), caseínas (ALVIM, 2001), proteínas do leite (ONWULATA, 2010) e leguminosas como feijões (ANTON et al., 2008) e grãos-de-bico (MENG et al., 2010). Portanto, são necessárias investigações referentes as propriedades funcionais de extrudados elaborados com leguminosas, devido ao alto interesse no valor nutricional desses produtos.

Segundo Hidalgo (1977); Borderias e Montero (1988), a propriedade funcional pode ser definida como uma propriedade tecnológica específica que influencia na aparência física e no comportamento de um produto alimentar de maneira característica e que resulta da natureza intrínseca físico-química da matéria protéica. As propriedades funcionais dependem muito do peso molecular, composição de aminoácidos, estrutura e reatividade da proteína. Em muitos casos os componentes não protéicos afetam também as propriedades funcionais.

Segundo Ascheri et al. (1995), a literatura científica sobre extrusão tem descrito principalmente sobre as propriedades físicas e químicas dos produtos extrudados, os quais resultam do uso de condições específicas de extrusão em diversos tipos de extrusores.

O Índice de Absorção de Água (IAA) indica a quantidade de água absorvida pelos grânulos de amidos de uma determinada amostra submetida a um tratamento térmico (ANDERSON et al., 1969). Correlaciona-se com a viscosidade de pasta a frio, pois apenas os grânulos de amido danificados absorvem água à temperatura ambiente, resultando no aumento da viscosidade. Após atingir um máximo, com relação ao grau de amido danificado, o IAA diminui com o início da dextrinização (ASCHERI, 1997).

O Índice de Solubilidade em Água (ISA) indica a intensidade do tratamento térmico e conseqüente desramificação da estrutura amilácea (ANDERSON et al., 1969). Expressa a porcentagem da matéria-prima seca recuperada após evaporação do sobrenadante da determinação de absorção de água e está relacionado com a quantidade de moléculas solúveis na amostra seca e mede a dextrinização (ASCHERI, 1997).

Ascheri (1997) afirma que o ISA está relacionado com a quantidade de moléculas solúveis no produto extrudado, servindo desta forma, para medir o grau de dextrinização durante o processo de extrusão.

As características de solubilidade servem como índices para otimizar os efeitos do calor nas proteínas durante os processos, de modo que sejam mostradas as vantagens e desvantagens de seus usos nos alimentos a base de milho, com adição de uma leguminosa, como é o caso do feijão. Quanto maior for o valor de solubilidade para uma proteína, melhor será a indicação do potencial de seu uso em sistemas alimentares (FERNANDES et al., 2003).

Chinnaswamy e Hanna (1988) constataram que, a solubilidade em água diminuiu com o aumento no conteúdo de umidade, quando o amido de milho contendo 25 % de amilose é extrudado a diferentes umidades (10-30 °C) e temperaturas (110-200 °C). O aumento no conteúdo de umidade favorece a um aumento na viscosidade de pasta do amido extrudado.

Mercier e Feillet (1975) estudaram a influência dos diferentes parâmetros envolvidos no processo de extrusão termoplástica (temperatura, conteúdo de umidade e amilose) de diferentes cereais tais como: milho com diferentes conteúdos de amilose, trigo e arroz, e constataram que sob temperaturas de 170 e 200 °C ocorre solubilização do amido e maltodextrina. Sob estas condições, o amido de milho ceroso (rico em amilopectina) apresentou maior solubilidade, seguido do milho normal, trigo e arroz. A quantidade de amido solúvel aumentou com o aumento da temperatura de extrusão e com a redução do conteúdo de umidade do produto antes da extrusão. Porém, inversamente, diminuiu com o aumento do conteúdo de amilose do amido.

A viscosidade a 25 °C, também chamada de viscosidade de pasta a frio, indica a capacidade das farinhas de absorver água a temperatura ambiente e formar uma pasta, gel ou líquido viscoso, sendo expressa em Unidades Amilográficas (UA), em Unidades Brabender (UB), unidades RVA ou ainda em cP (centipoise), quando é utilizado o *Rapid Visco Analyzer*.

A viscosidade de pasta a 95 °C é um parâmetro que mede a resistência do grânulo de amido ao colapso resultante da ação da temperatura e do atrito mecânico no viscoamilógrafo (CARVALHO et al., 2002).

Durante o ciclo de aquecimento até 95 °C ocorre intumescimento e gelatinização dos grânulos de amido, atingindo o pico máximo nessa etapa. No processo de extrusão, dependendo das condições do processo, o tratamento térmico pode destruir a estrutura cristalina do amido, de tal forma que, no ciclo de aquecimento, o viscoamilograma



apresenta ausência de pico e valores muito baixos de viscosidade. Porém, se os tratamentos não são tão severos, determinada concentração de amido pode ter conservado parte da estrutura amilácea. Nessa condição, observam-se valores relativamente altos de viscosidade de pasta, pois há maior número de grânulos em condição de intumescimento (CARVALHO et al., 2002).

Silveira et al., (1981) constatou que o amido é o principal componente responsável pela viscosidade. Outro fator que também pode contribuir para o decréscimo da viscosidade é a diminuição da água disponível para a gelatinização do amido por sua interação com a proteína.

El-Dash et al., (1983) verificou que, extrudados com menor teor de amilose sob alta temperatura resulta em um extrudado caracterizado pelo menor grau de retrogradação, enquanto amido extrudado com um moderado aumento no teor de umidade (19-26 %), extrudado a uma temperatura moderada (125-190 °C), produziram um extrudado com alto grau de retrogradação, implicando em um aumento na viscosidade final.

Levine (1983) verificou que a uma rotação e umidade constante, aumento na temperatura reduz a viscosidade. A viscosidade da pasta de farinha de arroz é também afetada pela extensão da gelatinização. A baixa temperatura e/ou curto tempo de residência no extrusor, a gelatinização é incompleta e apresenta baixa viscosidade. O início da gelatinização com aumento da temperatura de extrusão aumenta a viscosidade aparente. Depois de completa a gelatinização, a viscosidade aparente reduz com o aumento da temperatura.

Chinnaswamy et al., (1985) avaliaram as propriedades reológicas do arroz expandido e do floco de arroz, preparados com arroz parboilizado e constataram que, o comportamento do arroz e de seus produtos refletiu largamente o comportamento de seu amido. Estes produtos que durante o processamento sofreram um alto grau de tratamento térmico e/ou mecânico, mostraram um alto grau de gelatinização, indicando propriedades semelhantes àsquelas do amido pré-gelatinizado. O arroz expandido e o floco de arroz tiveram alta capacidade de absorção de água e boas propriedades de intumescimento a frio. Sob condições de umidade adequada, estes produtos sofreram retrogradação e apresentaram hidratação e viscosidade reduzidas.

## **4.3 MATERIAL E MÉTODOS**

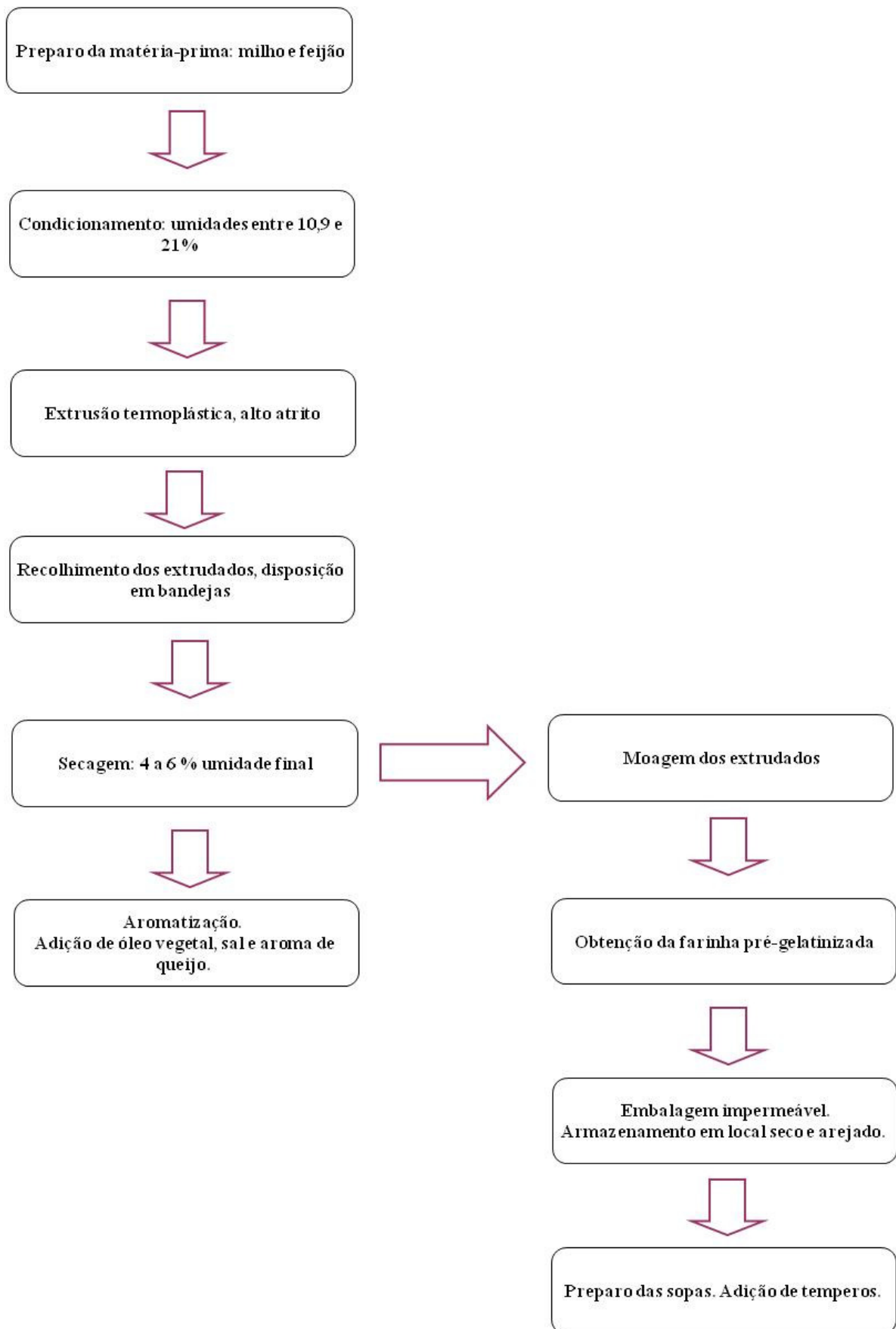
### **4.3.1 Matéria – prima**

Foi utilizado como base para a elaboração das farinhas, milho comercial na forma de grits. A esta matéria-prima foram acrescentados diferentes proporções de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), BRS Pontal, do tipo Carioca, fornecidos pela Embrapa Arroz e Feijão (Goiânia). Os testes, assim como o desenvolvimento das farinhas foram realizados na planta piloto de cereais da Embrapa Agroindústria de Alimentos. A farinha de feijão foi obtida através da moagem em moinho de discos da marca Perten, Laboratory Mill 3600 (Sweden), com abertura dos discos no nível zero do equipamento.

### **4.3.2 Condições do processo para a elaboração de farinhas pré-gelatinizadas**

Para a elaboração das farinhas pré-gelatinizadas de milho e feijão do tipo Carioca seguiu-se os mesmos critérios e métodos adotados para a elaboração dos extrudados expandidos (*snacks*), assim como o mesmo delineamento experimental e análises estatísticas.

Por meio da Figura 31 pode-se verificar o fluxograma da obtenção das farinhas pré-gelatinizadas de milho e feijão e preparo das sopas. Observa-se que as farinhas são produtos obtidos por meio da moagem dos extrudados expandidos.



**Figura 31.** Fluxograma para a obtenção das farinhas pré-gelatinizadas de milho e feijão (créditos: Erika M.M. da Silva)

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

A determinação do ISA e IAA foi realizada conforme os princípios básicos do método descrito por Anderson et al. (1969), modificado. Foram realizadas análises em quadruplicata, de todos os tratamentos, com o objetivo de verificar a absorção e a solubilidade em água do material extrudado. O IAA indica a quantidade de água absorvida pelos grânulos de amido de uma determinada amostra submetida a um tratamento térmico. O ISA indica a intensidade do tratamento térmico e a conseqüente desramificação da estrutura amilácea.

Para estas análises foram pesados cerca de 1 g de amostra em base seca, de cada tratamento (com granulometria inferior a 250 µm), em tubos de centrífuga previamente tarados. Assim, foi adicionado 5 mL de água destilada, homogeneizada e em seguida adicionado mais 5mL (pipeta volumétrica) e os tubos agitados em agitador mecânico tipo Vortex que permite a homogeneização completa das amostras. Em seguida, as amostras foram colocadas em um agitador horizontal mecânico, da marca Eberback 625 do tipo Shaker Bath, por aproximadamente 30 minutos. Logo após, os tubos foram colocados em uma centrífuga (marca Hermle modelo Z383) durante 15 minutos a 3000 rpm.

Após a centrifugação das amostras, os líquidos sobrenadantes foram colocados em placas de Petri, previamente taradas e submetidas ao processo de secagem em estufa Fabbe- Primar (São Paulo, SP, Brasil) com circulação de ar durante 4 horas a 105 °C. As placas foram colocadas em dessecador por 30 minutos até temperatura ambiente e logo após, foram pesadas.

A equação para o cálculo do índice de solubilidade em água (ISA) é:

$$\text{ISA} = \frac{\text{Peso do resíduo evaporado (g)}}{\text{Peso da amostra (g)}} \\ \text{(Equação 16)}$$

Após a retirada do líquido sobrenadante, os tubos de centrífuga foram pesados e assim, calculado o IAA, de acordo com a seguinte equação adaptada por Hashimoto e Grossmann (2003):

$$\text{IAA} = \frac{\text{Peso do resíduo centrifugado (g)}}{\text{Peso da amostra (g)}} = g \frac{\text{gel}}{\text{g}} \text{ matéria seca} \\ \text{(Equação 17)}$$

#### 4.3.4 Viscosidade de pasta

A viscosidade de pasta foi determinada em um “Rapid Visco Analyser (RVA)”, seguindo-se a sua metodologia para materiais extrudados. De acordo com Becker et al., (2001) a diferença no tamanho de partículas entre as amostras pode ocasionar má interpretação dos resultados. Sendo assim, os autores recomendam que o material seja peneirado obtendo-se partículas entre 125 e 250  $\mu\text{m}$  aproximadamente. Seguindo esta metodologia, as amostras extrudadas e secas foram moídas em moinho de disco e peneiradas em agitador de peneiras RO-TAP modelo RX-29-10, sendo que a fração retida entre as peneiras de 210 e 105  $\mu\text{m}$  foi utilizada para esta análise, em duplicata, para cada tratamento.

Para a análise no RVA, 3 g de farinha extrusada com umidade corrigida para 14 % (em base úmida) será adicionada de água destilada até peso final de 28 g (ASCHERI et al., 2006).

O perfil de análise utilizado foi “extrusion 1 no-alcohol”, caracterizado da seguinte maneira: inicialmente o sistema foi mantido a 25 °C durante 2 minutos. O aquecimento ocorreu logo em seguida e atingiu a temperatura máxima (95 °C) aos 7 minutos, onde permaneceu durante 3 minutos. Logo após, iniciou-se o resfriamento até a temperatura de 25 °C novamente, totalizando de 20 minutos de análise.

Para a interpretação dos amilogramas, foram utilizados os seguintes parâmetros:

- a) Temperatura da viscosidade máxima: é a temperatura em °C, calculada em base do tempo de funcionamento do viscoamilógrafo, correspondente ao ponto mais alto da curva do amilograma durante o ciclo de aquecimento;
- b) Viscosidade máxima a 25°C (ou viscosidade a frio): é o valor máximo da viscosidade em cP (Centipoise) atingido na temperatura de 25 °C;
- c) Viscosidade máxima: é o valor da viscosidade no ponto máximo da curva, a 95°C, expresso em cP;
- d) Viscosidade final no ciclo de resfriamento: é o valor da viscosidade em cP, ao final da análise (a 25 °C).

#### 4.3.5 Densidade absoluta ( $\rho_{abs}$ ) e volume total de poros (TP)

Para a avaliação da densidade absoluta e do total de poros das matérias-primas extrudadas, foi utilizado um picnômetro a gás (Micromeritics – Accu Pyc II – 1340, Austrália). 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, com um valor máximo atingido em cada purga de até 19 psig.

O picnômetro a gás determina o volume verdadeiro de um sólido, mesmo que poroso, por variação de pressão de gás numa câmara de volume conhecido (WEBB e ORR, 1997). Normalmente, utiliza-se hélio porque esse 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).

O picnômetro de hélio é constituído por duas câmaras de volumes conhecidos (por calibração prévia): a câmara onde se coloca a amostra e a câmara de expansão, ligadas por uma válvula (válvula de expansão).

Antes de iniciar a análise propriamente dita, a amostra, colocada na respectiva câmara, é sujeita a um processo de desgaseificação que consiste em repetidas purgas com hélio, para remoção de impurezas que eventualmente possa conter.

Depois de levado todo o sistema à pressão atmosférica, isola-se a câmara de expansão, fechando a válvula de expansão e pressuriza-se a câmara que contém a amostra até uma pressão  $P_1$  (cerca de 17-19 psig). Seguidamente, a válvula de expansão é aberta e, em pressão para  $P_2$ . Admitindo comportamento ideal do hélio, o volume do sólido pode ser calculado a partir da seguinte Equação (SMITH, 1996):

Equação 18:

$$P_1(V_a - V_s) = P_2(V_a - V_s + V_e)$$

onde,

$$V_s = V_a - \frac{V_e}{\frac{P_1}{P_2} - 1}$$

em que:

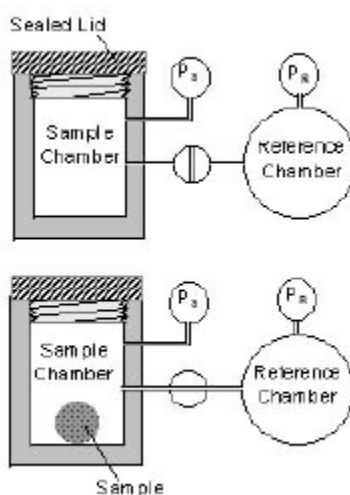
$V_a$ : volume da câmara da amostra

$V_e$ : volume da câmara de expansão

$V_s$ : volume do sólido

A massa volúmica é automaticamente calculada pelo aparelho, através da relação entre a massa do sólido (introduzida como dado de entrada) e o volume derivado da Equação acima.

Por meio da Figura 32 pode-se verificar a representação dos elementos essenciais da operação de um picnômetro a gás.



**Figura 32.** Elementos essenciais referente a operação de um picnômetro a gás (WEBB, 2001).

O picnômetro a gás é o mais indicado à mistura de sólido em pó, visto que existe uma diferença de granulometria onde o gás quando inserido no sistema possui a capacidade de penetrar nos poros e diminuir a interferência do ar (OLIVEIRA, 2006).

Devido à estrutura das matérias-primas, a picnometria de hélio, embora mais rápida que outras metodologias, apenas determina a densidade “verdadeira” se todos os poros forem acessíveis ao gás (MOURA e FIGUEIREDO, 2002). Para isso, os materiais analisados foram moídos em moinho de discos (*Perten, Laboratory Mill 3600, Sweden*) com abertura entre discos, no equipamento, situada no nível zero (abertura de discos equivalente a aproximadamente 1,0 mm). As amostras foram previamente submetidas à secagem em estufa a 105°C por 24 horas e as análises foram conduzidas em duplicata.

Além disso, foram analisadas duas amostras de sopas comerciais, denominadas A e B.

#### **4.3.6 Teste utilizando as farinhas extrudadas para a elaboração de sopas**

##### **4.3.6.1 Teste de moagem dos extrudados para obtenção das farinhas**

O teste inicial para verificar a solubilidade e o comportamento das farinhas extrudadas mediante dissolução em água foi conduzido em duplicata, com as farinhas provenientes da moagem dos extrudados expandidos. Estes extrudados foram moídos em três diferentes granulometrias a fim de verificar a dissolução com diferentes tamanhos de partículas. O primeiro grupo de amostras foi moído em moinho de discos (*Perten, Laboratory Mill 3600, Sweden*) com abertura de discos no equipamento equivalente ao nível zero. O segundo grupo foi moído no mesmo moinho citado, porém com abertura de discos no equipamento equivalente ao nível quatro, obtendo-se assim, farinhas mais grossas. O terceiro grupo foi moído em moinho de faca (*Perten 3600, Sweden*) dotado de peneira com menor abertura (aproximadamente 0,8 mm) obtendo assim, farinhas mais finas. Farinhas obtidas por meio desta última moagem foram utilizadas e encaminhadas para as análises de índice de solubilidade em água, índice de absorção de água e viscosidade de pasta.

##### **4.3.6.2 Reconstituição e comportamento das farinhas**

Para determinar o tempo de reconstituição das farinhas, 10 g de cada amostra foi derramada em 50 ml de água destilada em um copo de 250 ml a uma temperatura ambiente (aproximadamente 30 °C) e agitada continuamente. O tempo necessário para se desintegrar e solubilizar completamente as amostras foi monitorado por meio de um cronômetro e descrito como sendo o tempo de reconstituição (OMOBUWAJO et al., 2000).

As amostras foram verificadas novamente após 30 minutos de repouso, a fim de observar possíveis transformações como a separação de fases.

##### **4.3.7 Distribuição granulométrica**

A distribuição granulométrica das farinhas mistas extrudadas foi determinada por um analisador de partículas da marca *Fritsch* modelo *Analissette 22*, utilizando como meio de dispersão álcool isopropílico. A análise dos resultados foi gerada pelo software do equipamento e os resultados foram expressos em gráficos. A análise foi conduzida

em duplicata, apenas nas amostras que apresentaram melhores resultados no teste de dissolução, para a elaboração das sopas.

#### **4.3.8 Análise sensorial**

A avaliação sensorial das sopas de milho e feijão, escolhidas como melhores tratamentos, foi conduzida no laboratório de Análise Sensorial da Universidade Federal do Espírito Santo no Centro de Ciências Agrárias, Alegre – ES.

##### **4.3.8.1 Preparo da sopa**

As farinhas escolhidas por meio do teste de dissolução em água foram temperadas de acordo com a ficha elaborada (ANEXO E). Para a elaboração das sopas utilizou-se temperos frescos e naturais como cebola, tomate, alho, óleo vegetal e sal. Foram realizados testes preliminares para avaliar a quantidade utilizada de cada ingrediente. Estes testes foram realizados no Laboratório de Técnica Dietética do Campus da Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre – ES.

##### **4.3.8.2 Avaliação da aceitabilidade de sopas de milho e feijão**

As sopas foram submetidas ao teste sensorial de aceitabilidade, de acordo com Minim (2006), em dois dias consecutivos. Para o teste, foi utilizada escala hedônica de 9 pontos, variando de 1 (desgostou extremamente) a 9 (gostou extremamente) para a avaliação da aceitabilidade geral e do sabor. Além destes foi avaliada a intenção de compra do produto, em escala de 9 pontos (1 = certamente não compraria; 9 = certamente compraria), assim como questões abertas sobre o que mais gostou e o que menos gostou da amostra servida (ANEXO F). Além disso, foi entregue ao julgador uma ficha de estudo sobre o produto (ANEXO B).

Os testes foram realizados em cabines individuais, sob iluminação branca, sendo as amostras servidas em copos pequenos descartáveis e codificadas. Os julgadores receberam as amostras de forma aleatória, onde cada uma recebeu um código de três dígitos, não repetitivos e aleatórios. Junto às amostras foi servida água mineral e as fichas conforme o teste realizado.

##### **4.3.8.3 Cuidados éticos**

A descrição metodológica referente a análise sensorial deste estudo foi submetida e aprovada pelo Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) do Centro Universitário Norte do Espírito Santo (CEUNES) sob parecer de nº 002/2010 (ANEXO C).

Os voluntários que participaram desta etapa assinaram um Termo de Consentimento Livre e Esclarecido – TCLE - (ANEXO D) elaborado de acordo com a Resolução nº 196/96 do Conselho Nacional de Saúde.



#### **4.3.8.4 Critérios de inclusão**

Foram incluídos no estudo, alunos, professores e demais funcionários que:

- Apresentaram idade igual ou acima de 18 anos;
- Assinaram o TCLE;
- Retornaram no segundo dia de análise.

## 4.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.4.1 Resultados do teste de reconstituição das farinhas extrudadas para a elaboração de sopas

Por meio da Figura 32 pode-se verificar o teste realizado com as farinhas.



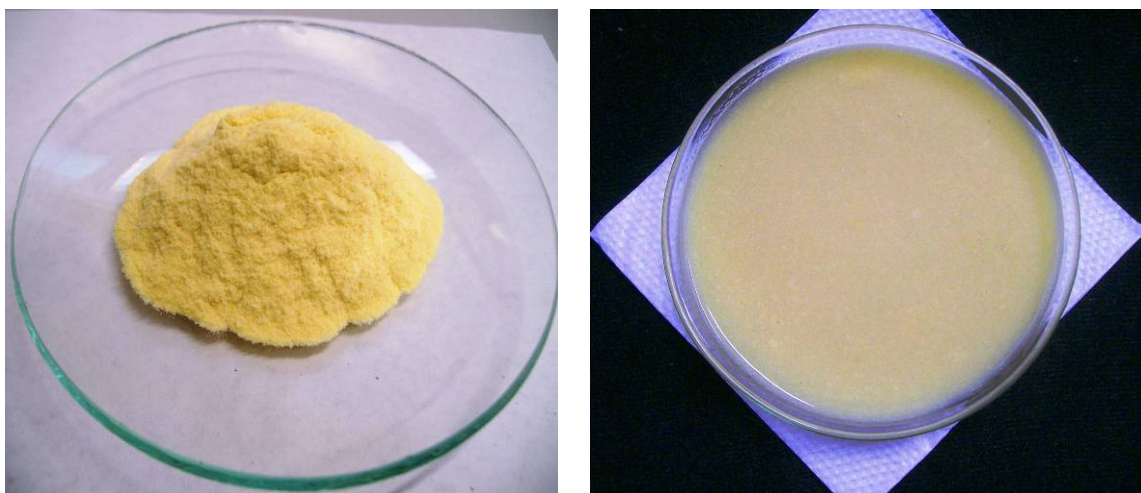
**Figura 33.** Teste realizado com as farinhas mistas extrudadas para a elaboração de sopas (créditos: Erika M.M. da Silva)

Os melhores tratamentos, dentre aqueles do delineamento, foram: **T2, T3, T6, T9, T15, T17 e T19**. Esses tratamentos apresentaram os melhores tempos de reconstituição (Tabela 30) assim como melhor aspecto geral não havendo separação de fases após 30 minutos de repouso. Os demais tratamentos apresentaram tempos de reconstituição superiores a 79 segundos. Além disso, não apresentaram características desejáveis para a elaboração de sopas, como a formação de grumos e separação de fases. As farinhas escolhidas como melhores tratamentos foram aquelas submetidas a moagem em moinho de discos (*Perten, Laboratory Mill 3600, Sweden*) com abertura no equipamento correspondente ao nível zero. As sopas e respectivas farinhas podem ser observadas nas Figuras 34 a 40.

**Tabela 30.** Tempo de reconstituição das farinhas pré-gelatinizadas

Tratamentos*	Tempo de reconstituição (segundos)
T2	56
T3	75
T6	59
T9	72
T15	79
T17	62
T19	67

\*Tratamentos: **T2** (15% feijão, 378 rpm, 13% umidade); **T3** (15% feijão, 333 rpm, 19% umidade); **T6** (45% feijão, 378 rpm, 13% umidade); **T9** (30% feijão, 355 rpm, 16% umidade); **T15** (30% feijão, 318,2 rpm, 16% umidade); **T17** (30% feijão, 355 rpm, 10,9% umidade); **T19** (4,8% feijão, 355 rpm, 16% umidade).



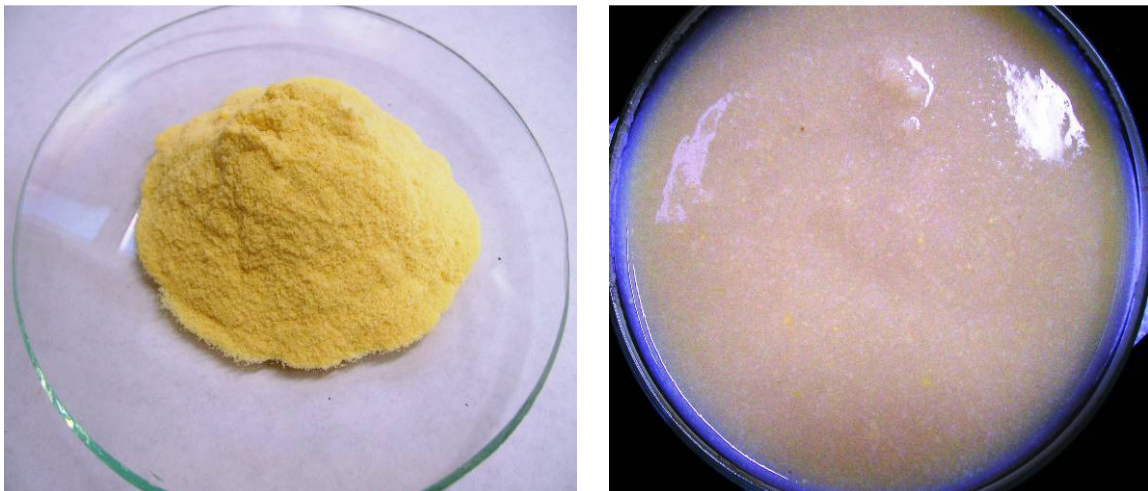
**Figura 34.** Farinha extrudada e respectiva preparação de sopa referente ao tratamento T2 (378 rpm; 13% umidade; 15% feijão) (créditos: Erika M.M. da Silva)



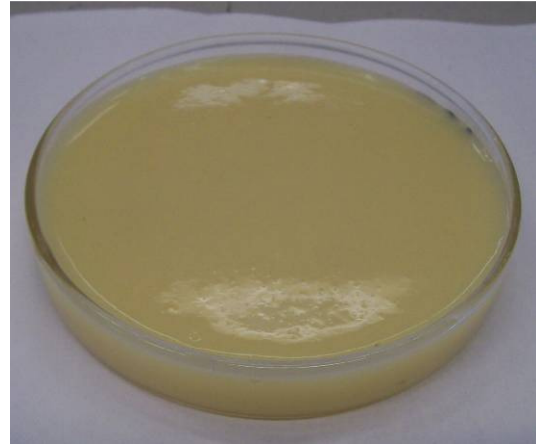
**Figura 35.** Farinha extrudada e respectiva preparação de sopa referente ao tratamento T3 (333 rpm; 19% umidade; 15% feijão) (créditos: Erika M.M. da Silva)



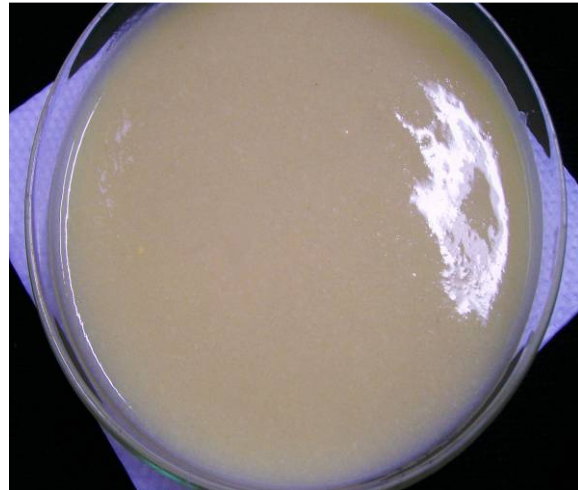
**Figura 36.** Farinha extrudada e respectiva preparação de sopa referente ao tratamento T6 (378 rpm; 13% umidade; 45% feijão) (créditos: Erika M.M. da Silva)



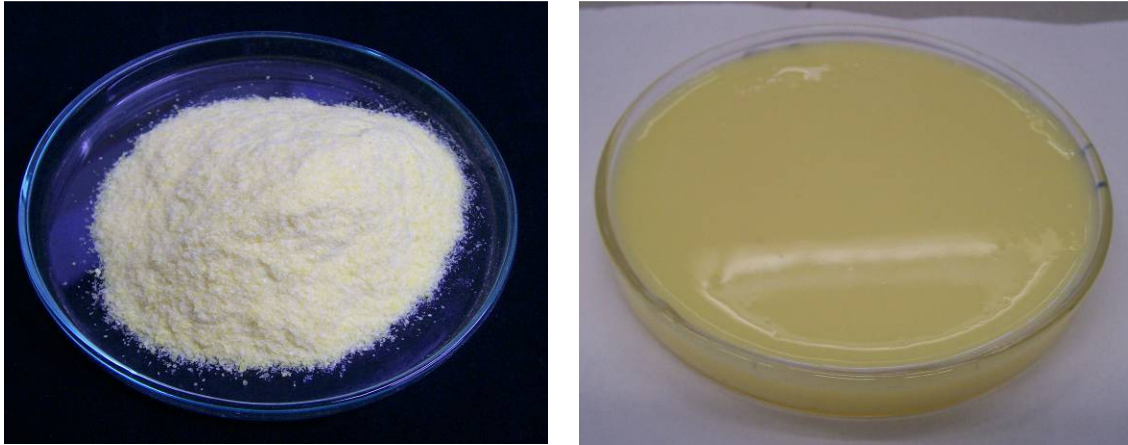
**Figura 37.** Farinha extrudada e respectiva preparação de sopa referente ao tratamento T9 (355 rpm; 16% umidade; 30% feijão) (créditos: Erika M.M. da Silva)



**Figura 38.** Farinha extrudada e respectiva preparação de sopa referente ao tratamento T15 (318 rpm; 16% umidade; 30% feijão) (créditos: Erika M.M. da Silva)



**Figura 39.** Farinha extrudada e respectiva preparação de sopa referente ao tratamento T17 (355 rpm; 10,9% umidade; 30% feijão) (créditos: Erika M.M. da Silva)

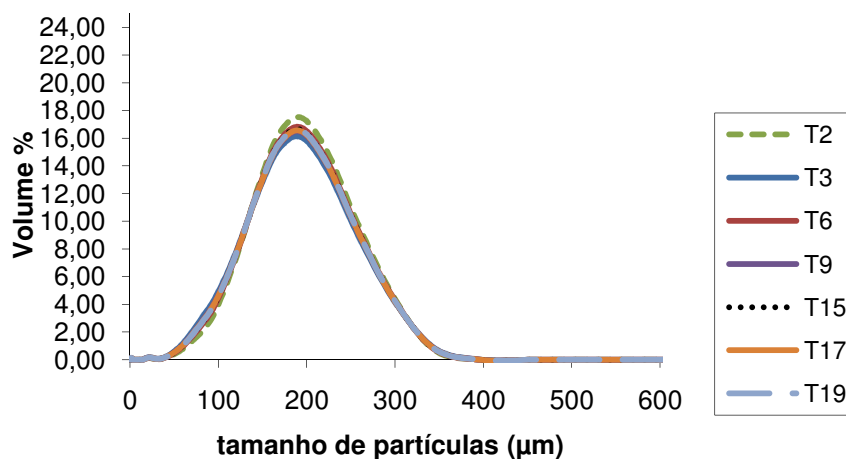


**Figura 40.** Farinha extrudada e respectiva preparação de sopa referente ao tratamento T19 (355 rpm; 16% umidade; 4,8% feijão) (créditos: Erika M.M. da Silva)

#### 4.4.2 Tamanho de partículas das farinhas mistas extrudadas

A análise de tamanho de partículas foi realizada apenas nas amostras escolhidas como melhores tratamentos para posterior elaboração de sopas (T2, T3, T6, T9, T15, T17 e T19).

Observa-se por meio da Figura 41 que, as farinhas mistas extrudadas de milho com diferentes percentuais de feijão Carioca apresentaram valores semelhantes referentes ao tamanho de partículas. A maior frequência de tamanho das partículas foi evidenciada em aproximadamente 200  $\mu\text{m}$ , para todas as amostras. Cabe ressaltar que, a moagem determina o tamanho das partículas influenciando a capilaridade da água dentro da partícula, no momento do preparo das sopas.



**Figura 41.** Distribuição granulométrica das farinhas pré-gelatinizadas escolhidas como melhores tratamentos: T2, T3, T6, T9, T15, T17 e T19.

#### 4.4.3 Índice de solubilidade em água (ISA)

O índice de solubilidade em água está relacionado à quantidade de sólidos solúveis presentes em uma amostra seca, permitindo verificar o grau de intensidade do tratamento térmico, em função da gelatinização, dextrinização e conseqüente solubilização do amido (CARVALHO et al., 2002). Este índice é bastante utilizado para medir o grau de solubilização do amido extrudado em bebidas, sopas, alimentos infantis, entre outros.

O ISA é um parâmetro importante na caracterização de farinhas extrudadas para fins de solubilização posterior, como é o caso de sopas, pois, por meio deste, pode-se verificar o grau de cozimento do amido e avaliar as condições de solubilização em meio aquoso. Para a elaboração de sopas do tipo pré-cozidas se faz necessário que a solubilização do material esteja de acordo com características sensoriais desejadas como ausência de material grumoso e compacto, sabor de “farinha”, entre outros. O produto elaborado deve garantir homogeneidade com completa interação entre os componentes sólidos e a água.

Por meio da Tabela 31 podem-se verificar os resultados obtidos após aplicação do teste F da análise de variância para o índice de solubilidade em água nas farinhas extrudadas de milho e feijão. Nota-se que apenas o conteúdo de feijão acrescentado ao milho foi significativo ( $p < 0,01$ ), influenciando de forma linear e negativa, os valores de ISA, assim como verificado por Lazou e Krokida (2010) ao adicionarem lentilha à mistura com milho. Balandran-Quintero et al., (1998) verificaram que extrudados com alto teor de proteínas possuem menores valores de solubilidade em água. Além disso, nota-se também que, houve uma influência significativa, de forma negativa, da interação entre a umidade e feijão sobre a solubilidade em água. Isso quer dizer que, conforme o aumento do teor de feijão e em muitas das vezes, associado ao aumento do conteúdo de umidade, nota-se a redução dos valores de ISA.

Lazou e Krokida (2010) verificaram que, a solubilidade de extrudados elaborados com milho e lentilha foi significativamente afetada pela proporção de lentilha na mistura e pela umidade das amostras. Foi observado que o ISA reduzia conforme o aumento da umidade na mistura.

Não foi evidenciada relação entre a velocidade do parafuso e os valores de solubilidade indicando que até a máxima rotação aplicada no extrusor (393 rpm) não foi capaz de alterar significativamente a estrutura amilácea, degradando-a. O que contradiz com os achados de Ascheri et. al, (2006). Os autores observaram um efeito positivo da rotação do parafuso sobre o ISA das farinhas mistas extrudadas com bagaço de jabuticaba, concluindo que a farinha seca obtida poderá ser usada como matéria-prima para a produção de farinhas pré-gelatinizadas.

Mesa et al., (2009) ao fortificarem com soja extrudados produzidos a base de milho observaram que, o ISA foi maior conforme o aumento da velocidade do parafuso (330 rpm), inclusive nas duas maiores concentrações de soja na mistura. Por meio destes resultados pode-se sugerir que o aumento da velocidade do parafuso degradou as moléculas de amido em pequenos fragmentos, o que favorece a solubilização em água.

Recentemente, o ISA tem sido utilizado como um indicador do grau de cozimento de extrudados de feijão (LAZOU e KROKIDA, 2010).

Possivelmente a presença do feijão associado a umidade, durante o processo de extrusão, forma uma rede protéica que impede, em parte, a perda de outras moléculas. Embora as proteínas de leguminosas possuam sítios hidrofílicos, o processo de desnaturação que ocorre durante a extrusão leva a perda da capacidade de hidratação dessas proteínas. Essa menor capacidade de hidratação é favorecida pela formação de

pontes intra e intermoleculares das proteínas com as cadeias de amilose e amilopectina. Também, a desnaturação de proteínas durante o processo de extrusão favorece a reação de Maillard que, por consequência, propicia a formação de agregado de alto peso molecular, reduzindo os valores de ISA.

Importante ressaltar que, a ausência de cascas de feijão na mistura com milho influenciou as características finais do produto elaborado, pois a presença de fibras afeta a expansão do material, reduzindo-a e conseqüentemente alterando os valores de solubilidade. Hashimoto e Grossman (2003), em extrudados de misturas de amido e farelo de mandioca, observaram que o ISA diminui com o aumento do conteúdo de farelo na mistura. Estes autores explicaram que as modificações estruturais envolvidas pelas fibras presentes no farelo seriam os responsáveis pela diminuição do ISA. Estas modificações podem ter promovido interações entre a fibra e o amido, reduzindo a solubilidade. Por outro lado, Ruiz-Ruiz et al., (2008) destacam que a degradação molecular das fibras, por meio do processo de extrusão, aumenta a solubilidade do material.

Por meio do coeficiente de determinação evidenciado na análise de variância pode-se verificar que 83 % da variação total foi explicada pelo modelo aplicado, atribuindo 17 % ao erro experimental. Este erro pode estar associado a acuidade visual do analista em proceder a análise do ISA, pois requer exatidão e padronização dos procedimentos.

O intercepto foi significativo ( $p < 0,01$ ) indicando que o ponto central foi escolhido adequadamente. Também, não foi evidenciada falta de ajuste dos dados deste experimento com o modelo de regressão quadrático aplicado.

**Tabela 31.** 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 (ISA) das farinhas mistas extrudadas de milho e feijão BRS pontal, em função da rotação do parafuso ( $X_1$ ), umidade ( $X_2$ ) e % de feijão ( $X_3$ )

Fator	Teste F	P	Coefficiente de Regressão	Estimativa dos efeitos
Intercepto	--	0,000600 ***	14,1	14,1
$X_1$	14,7	0,061710 <sup>n.s.</sup>	0,6	1,2
$X_1^2$	1,0	0,417877 <sup>n.s.</sup>	-0,2	-0,4
$X_2$	2,0	0,294505 <sup>n.s.</sup>	0,2	0,5
$X_2^2$	18,4	0,050235 <sup>n.s.</sup>	-0,8	-1,5
$X_3$	143,6	0,006894 **	-1,9	-3,9
$X_3^2$	7,4	0,112487 <sup>n.s.</sup>	0,5	1,0
$X_1 \cdot X_2$	1,5	0,341872 <sup>n.s.</sup>	0,3	0,5
$X_1 \cdot X_3$	0,7	0,497408 <sup>n.s.</sup>	-0,2	-0,3
$X_2 \cdot X_3$	38,6	0,024914*	-1,3	-2,6
Falta de ajuste	8,7	0,105959 <sup>n.s.</sup>	--	--

**R<sup>2</sup>: 0,83874**

**F tab: 18,51**

$X_1$ : Rotação do parafuso (rpm)

$X_2$ : Umidade (%)

$X_3$ : Feijão (%)

n.s.: não significativo

\* : significativo a 5% de probabilidade

\*\* : significativo a 1% de probabilidade

\*\*\*: significativo a 0,01% de probabilidade



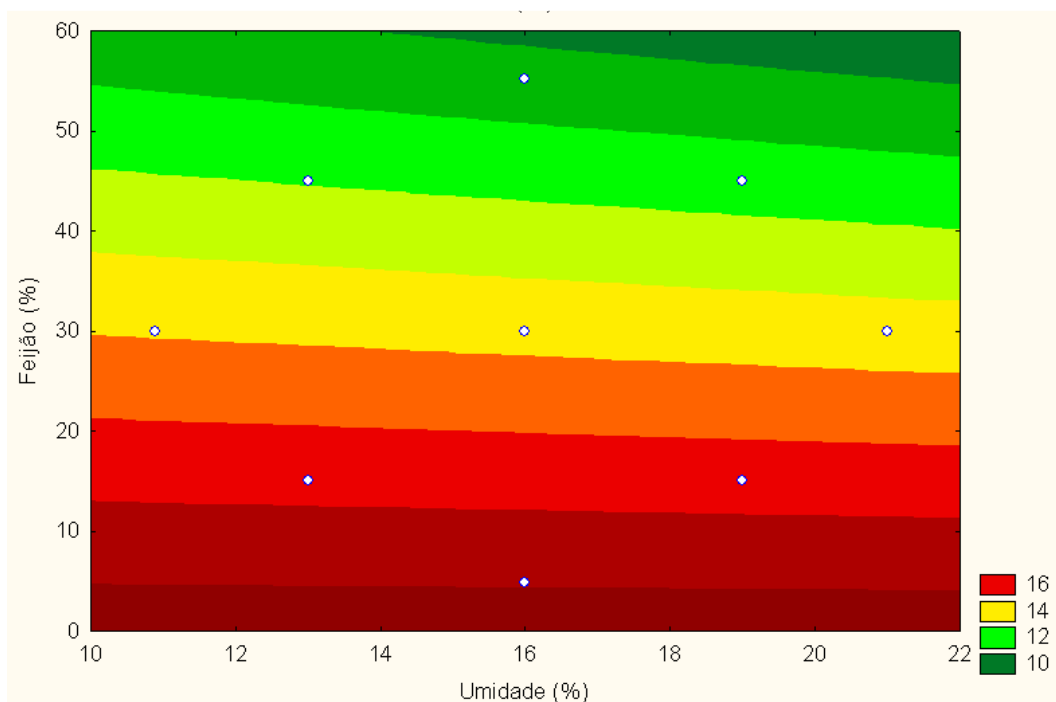
Pelas considerações feitas por meio da análise de variância e fazendo uso dos coeficientes observados, a equação do modelo matemático proposta para as variáveis independentes fica rescrita como (Equação 19):

$$ISA = 14,1 - 1,9 X_3 - 1,3 X_2 \cdot X_3$$

(Equação 19)

Por meio da Figura 42 verifica-se o efeito das variáveis quantitativas umidade e feijão nos valores de ISA. Geralmente, os valores de ISA para extrudados a base de milho giram em torno de 8,88 a 32,79 %. Os valores de ISA para a mistura de milho e feijão variaram entre 9,60 e 20,64 % (Tabela 34). A variação dos valores referentes a essa variável são similares aos verificados por Atienzo-Lazos et al., (2009), avaliando a mistura de feijão e milho nixtamalizado.

Os valores de solubilidade nas amostras cruas foram notavelmente superiores (Tabela 33) para o feijão BRS pontal (11,15%), quando comparado com o milho (1,80%). Isso sugere a possibilidade de que as proteínas presentes no feijão possam se solubilizar, quando não há tratamento térmico. Porém, após o processamento por extrusão, houve agregação e interação entre os componentes desta leguminosa, favorecendo a redução deste índice.



**Figura 42.** Efeito das variáveis quantitativas umidade (%) e feijão (%) no índice de solubilidade em água (ISA) das farinhas mistas extrudadas a base de milho e feijão

#### 4.4.4 Índice de absorção de água (IAA)

Por meio da Tabela 32 verifica-se que, após a aplicação do teste F da análise de variância para o IAA em farinhas extrudadas de milho e feijão, não houve influência de nenhuma das variáveis quantitativas (rotação do parafuso, umidade e feijão) sobre a absorção das farinhas em água. O mesmo efeito foi verificado por Atienzo-Lazos et al., (2009) em misturas de feijão e milho nixtamalizado e também por Altan et al., (2009) no desenvolvimento de extrudados a base de cevada. Porém Carvalho et al., (2010) observaram que o tamanho de partículas do fubá utilizado influenciou significativamente, de forma negativa, os valores de absorção em água das farinhas extrudadas, pois partículas menores possuem maior área de contato durante o processamento, o que pode levar ao aumento do cisalhamento, até certo ponto, aumentando a capacidade de absorção de água. Mesa et al., (2009) verificaram que o IAA das misturas de milho e soja foram reduzidos conforme o aumento da velocidade do parafuso.

O índice de absorção de água reflete a capacidade do grânulo de amido em absorver água, mesmo a temperatura ambiente. Reflete a capacidade de integridade da estrutura amilácea após o processo de extrusão.

A capacidade de absorção de água do material amiláceo cru é geralmente elevada a partir do momento em que se aplica calor, em meio úmido durante o processamento, por meio do processo de gelatinização. Logo após o processo, o material extrudado é encaminhado para estufa e parte da água que está livre é evaporada. Sendo assim, se tem um produto pré-cozido. O amido cru absorve apenas 30 % do seu volume em água em temperatura ambiente e sem tratamento térmico. Esta capacidade de absorção é radicalmente elevada à medida que a temperatura do sistema aumenta, até a temperatura de gelatinização do amido ser atingida. A partir desta, haverá uma “quebra” na estrutura amilácea, fazendo com que este índice de absorção diminua (ASCHERI e CARVALHO, 2008).

Alguns fatores podem afetar os valores de IAA. Além da temperatura, a taxa de cisalhamento também pode provocar ruptura da estrutura amilácea e diminuir os valores deste índice. Essa afirmativa também está presente no estudo de Hagenimana et al., (2006). Além disso, a retrogradação, que pode ocorrer durante a estocagem do material, pode levar a obtenção de menor quantidade de amido disponível para absorver água, proporcionando menor absorção.

Pôde ser observado, por Lazou e Krokida (2010) que, o IAA de extrudados de lentilha e milho foi influenciado significativamente pela proporção de lentilha na mistura e pela umidade na massa.

De acordo com os resultados obtidos do presente estudo, a adição de feijão em concentrações de até 55 % não afetou significativamente a absorção de água do material extrudado. O mesmo é válido para os teores de umidade utilizados (11 a 21%) assim como a rotação do parafuso (318 a 393 rpm). Geralmente, os valores de absorção para extrudados a base de milho giram em torno de 4,35 a 6,06 g gel/ g matéria seca. Para os extrudados de milho e feijão, os valores de IAA variaram entre 4,60 e 6,31g gel/ g matéria seca (Tabela 34).

**Tabela 32.** 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 (IAA) das farinhas mistas extrudadas de milho e feijão BRS pontal, em função da rotação do parafuso ( $X_1$ ), umidade ( $X_2$ ) e % de feijão ( $X_3$ )

Fator	Teste F	P	Coeficiente de Regressão	Estimativa dos efeitos
Intercepto	--	0,001154 *	6,07	6,07
$X_1$	0,84	0,455750 n.s.	0,09	0,18
$X_1^2$	0,78	0,470473 n.s.	-0,09	-0,19
$X_2$	4,51	0,167696 n.s.	0,21	0,41
$X_2^2$	0,29	0,646487 n.s.	-0,06	-0,11
$X_3$	0,01	0,921554 n.s.	0,01	0,02
$X_3^2$	0,75	0,477689 n.s.	-0,09	-0,19
$X_1 \cdot X_2$	3,02	0,224401 n.s.	-0,22	-0,44
$X_1 \cdot X_3$	2,19	0,276782 n.s.	-0,19	-0,38
$X_2 \cdot X_3$	1,50	0,345492 n.s.	-0,16	-0,31
Falta de ajuste	1,20	0,513965 n.s.	--	--
<b>R<sup>2</sup>: 0,62466</b>				
<b>F tab: 18,51</b>				

$X_1$ : Rotação do parafuso (rpm)

$X_2$ : Umidade (%)

$X_3$ : Feijão (%)

n.s.: não significativo

\* : significativo a 1% de probabilidade

Para a elaboração de sopas é desejável que a estrutura amilácea mantenha ao menos parte de sua estrutura íntegra, pois ao acrescentar água (geralmente quente a 80°C) observa-se, em farinhas com estrutura do amido íntegra, que ocorre um espessamento do produto, o que é uma característica desejável. Com isso reduz a necessidade de acréscimo de aditivos como os espessantes.

Observa-se, porém certos cuidados devem ser tomados ao afirmar que nenhuma das variáveis quantitativas exerceram efeito sobre a solubilidade, pois apenas 62 % da variação total foi explicada pelo modelo, atribuindo em torno de 40 % aos resíduos. Cabe ressaltar que, os erros mais comuns durante esta avaliação estão relacionados a acuidade visual do analista e padronização nos procedimentos de análise. Mesmo assim, o intercepto foi significativo ( $p < 0,01$ ) indicando que o ponto central foi escolhido adequadamente e também, não foi evidenciada falta de ajuste dos dados em relação ao modelo quadrático aplicado. Portanto, por mais que o coeficiente de determinação tenha sido baixo, pode-se considerar que o modelo aplicado é preditivo para a variável resposta em questão.

**Tabela 33.** Índice de solubilidade em água (ISA), índice de absorção de água (IAA) das farinhas cruas de milho e feijão Carioca

<b>Amostras</b>	<b>ISA (%)</b>	<b>IAA (g/g)</b>
Milho ( <i>grits</i> )	1,80	2,60
Feijão BRS Pontal	11,15	2,94
Mistura crua_4,8% feijão	1,96	2,63
Mistura crua_15% feijão	2,38	2,69
Mistura crua_30% feijão	3,96	2,78
Mistura crua_45% feijão	6,52	2,78
Mistura crua_55,2% feijão	6,04	2,83

**ISA:** Índice de Solubilidade em Água (%); **IAA:** Índice de Absorção de Água (g gel/g matéria seca).

**Tabela 34.** Índice de solubilidade em água (ISA) e índice de absorção de água (IAA) das farinhas pré-cozidas de milho e feijão Carioca

Tratamentos	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	ISA (%)	IAA (g/g)
1	333	13	15	11,84	4,60
2	378	13	15	13,32	6,01
3	333	19	15	15,20	6,18
4	378	19	15	17,29	6,11
5	333	13	45	11,93	5,50
6	378	13	45	12,28	5,56
7	333	19	45	9,60	5,86
8	378	19	45	11,43	5,64
9	355	16	30	12,56	6,03
10	355	16	30	11,00	5,63
11	355	16	30	13,60	6,05
12	355	16	30	14,62	6,24
13	355	16	30	13,57	6,09
14	355	16	30	12,97	6,26
15	318	16	30	13,77	5,99
16	393	16	30	15,39	6,01
17	355	10,9	30	13,24	5,90
18	355	21,0	30	12,62	6,31
19	355	16	4,8	20,64	5,86
20	355	16	55,2	12,28	6,15

X<sub>1</sub>: Rotação do parafuso (rpm); X<sub>2</sub>: Umidade do processamento (%); X<sub>3</sub>: Feijão (%); ISA: Índice de Solubilidade em Água (%); IAA: Índice de Absorção de Água (g gel/g matéria seca).

#### 4.4.5 Viscosidade das farinhas extrudadas

A viscosidade de pasta depende da avaliação do grau de gelatinização do amido e da taxa de fragmentação e solubilização molecular.

Por meio das Figuras 43 e 44 podem ser verificadas as curvas viscoamilográficas referentes à mistura crua de milho e feijão (45%) assim como a respectiva curva da mistura extrusada de milho e feijão (45%), referente ao tratamento 6 (378 rpm; 13% umidade e 45% feijão). Por meio da Tabela 35 também podem ser verificados os valores de viscosidade de pasta para as amostras cruas de milho, feijão e misturas. A Tabela 36 contém os valores obtidos para as farinhas extrudadas de milho e feijão, referentes à V25, VMax e VF.

**Tabela 35.** Viscosidade de pasta das farinhas cruas de milho e feijão Carioca

<b>Amostras</b>	<b>V25 (cP)</b>	<b>VMax (cP)</b>	<b>VF (cP)</b>
Milho ( <i>grits</i> )	5	1485	5384
Feijão BRS Pontal	6	33	113
Mistura crua_4,8% feijão	5	1437	5120
Mistura crua_15% feijão	0	1010	3234
Mistura crua_30% feijão	3	574	1868
Mistura crua_45% feijão	0	123	1025
Mistura crua_55,2% feijão	0	65	957

**V25:** viscosidade máxima a 25°C; **VMax:** viscosidade máxima a 95°C; **VF:** viscosidade final

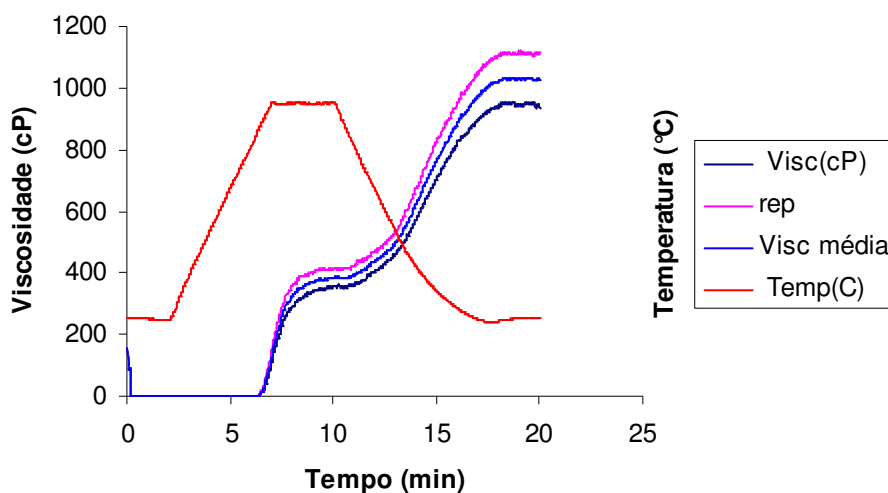
**Tabela 36.** Viscosidade de pasta das farinhas pré-cozidas de milho e feijão Carioca

Tratamentos	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	V25 (cP)	VMax (cP)	VF (cP)
1	333	13	15	490	38	120
2	378	13	15	607	50	135
3	333	19	15	701	117	278
4	378	19	15	471	116	298
5	333	13	45	628	126	306
6	378	13	45	608	103	294
7	333	19	45	162	262	535
8	378	19	45	168	217	508
9	355	16	30	636	127	316
10	355	16	30	376	137	392
11	355	16	30	395	101	266
12	355	16	30	362	126	310
13	355	16	30	354	142	390
14	355	16	30	392	150	272
15	318	16	30	321	162	275
16	393	16	30	458	90	266
17	355	10,9	30	687	99	217
18	355	21,0	30	333	191	425
19	355	16	4,8	524	65	161
20	355	16	55,2	748	298	588

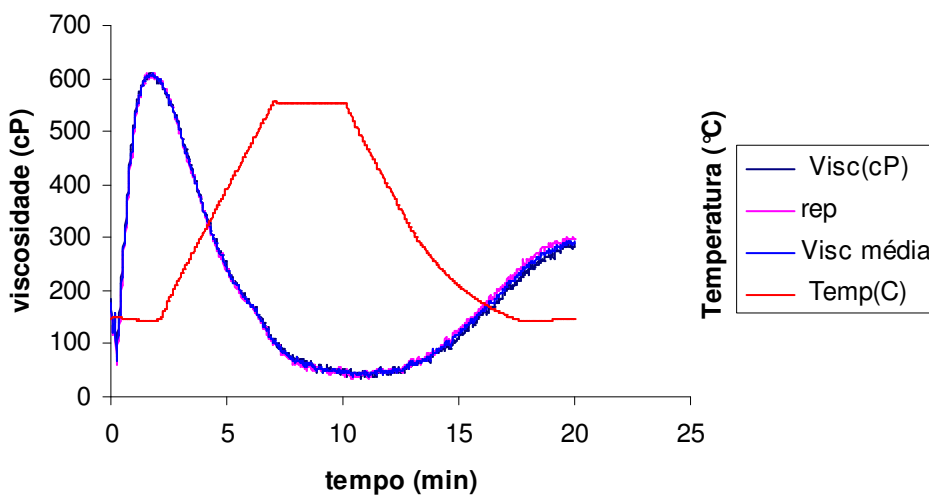
X<sub>1</sub>: Rotação do parafuso (rpm); X<sub>2</sub>: Umidade (%); X<sub>3</sub>: Feijão (%); V25: viscosidade máxima a 25°C; VMax: viscosidade máxima a 95°C; VF: viscosidade final

Nota-se que, as amostras extrudadas apresentam maior viscosidade inicial a 25°C quando comparadas com as misturas cruas. Isto significa dizer que, as amostras extrudadas em questão possuem boas características de viscosidade quando acrescidas em meio aquoso a temperatura ambiente. O valor de viscosidade máxima a 95°C da amostra extrudada é inferior ao da mistura crua. Isso era de se esperar, pois materiais extrudados dependendo das condições de processamento apresentam amido pré-gelatinizado, o que significa dizer que esta estrutura adquirida durante a extrusão apresenta maior viscosidade a temperatura ambiente, não necessitando de aplicação de calor.

É importante também, para o preparo de sopas, 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.



**Figura 43.** Curva viscoamilográfica referente a mistura crua de milho e 45% de feijão BRS Pontal.



**Figura 44.** Curva viscoamilográfica referente a amostra extrudada a 378 rpm, 13% umidade e 45% feijão (tratamento 6).

Carvalho et al., (2010) observaram valores elevados da viscosidade máxima a 25°C (V25) em farinhas extrudadas a base de *grits* de milho. Os autores sugerem que esses valores indicam que houve elevada taxa de cisalhamento durante a extrusão, indicando também que, estas moléculas apresentaram mais sítios hidrofílicos expostos a



ligações com a água formando uma estrutura tri-dimensional a temperatura ambiente. Assim como esperado pelos autores, não houve evidência de picos de viscosidade a 95°C, o que é típico para materiais que foram submetidos ao processo de extrusão (amidos pré-gelatinizados). O tamanho de partículas das matérias-primas não influenciou os valores de viscosidade máxima a 95°C. Este tipo de viscosidade indica o início do período de resfriamento onde, materiais ainda quentes começam a ser resfriados dando início a re-associação das cadeias de amilose e conseqüente retrogradação.

#### **4.4.5.1 Viscosidade máxima inicial a 25°C (V25)**

A viscosidade inicial, também conhecida por viscosidade de pasta a frio, indica a capacidade do alimento extrudado em absorver água a temperatura ambiente e formar uma pasta, gel ou líquido viscoso (FENIMAN, 2004).

Por meio da Tabela 37 verifica-se que apenas a rotação do parafuso assim como a interação entre a rotação e o conteúdo de feijão não influenciaram os valores da V25. Foram observados efeitos lineares e quadráticos das variáveis dependentes sobre a viscosidade máxima a 25°C. A umidade inicial nas misturas de milho e feijão exerceu efeito significativo ( $p < 0,01$ ) e negativo nos valores de V25. O aumento da umidade no material exerce um efeito lubrificante no interior do canhão, ao passo que tende a reduzir a temperatura interna do mesmo. Com isso, ocorre menor cisalhamento nas amostras e menor cocção do material. Isso faz com que, a temperatura ambiente, a estrutura amilácea não apresente boa capacidade para absorver água e continuar a gelatinização do mesmo.

A adição de feijão influenciou significativamente ( $p < 0,05$ ) e de forma negativa, os valores de V25. O acréscimo de um material que apresenta considerável quantidade de proteínas e fibras, do tipo solúvel (no endosperma), reduz a quantidade total de amido na mistura.

Foi observado que, as interações entre rotação e umidade assim como umidade e feijão influenciaram de forma negativa os valores de V25. Efeitos similares foram observados por Silva (2006) ao avaliar os parâmetros de extrusão na viscosidade a 25°C de extrudados de arroz e pó de café. O autor afirma que, a presença do café na mistura foi a variável de maior contribuição para a redução dos valores de viscosidade a frio.

Quando se substitui parte da concentração de amido do material a ser extrudado necessita-se de maior temperatura para a formação da V25. Tanto as fibras quanto proteínas não fornecem viscosidade suficiente ao meio, fazendo com que a gelatinização do amido decresça (ASCHERI et al., 2006).

Nota-se que 77 % da variação total foi explicada pelo modelo, atribuindo 23 % aos resíduos. O valor referente ao erro experimental é considerado elevado e também, nota-se que houve falta de ajuste dos dados ao modelo quadrático aplicado. Porém, não há sugestão de utilização de outro modelo visto que o atual aplicado é o que mais se ajusta aos demais experimentos.

**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 máxima a 25°C (V25) das farinhas mistas extrudadas de milho e feijão BRS pontal, em função da rotação do parafuso (X<sub>1</sub>), umidade (X<sub>2</sub>) e % de feijão (X<sub>3</sub>)

Fator	Teste F	P	Coefficiente de Regressão	Estimativa dos efeitos
Intercepto	--	0,000519 ***	379,4	379,4
X <sub>1</sub>	3,5	0,203896 <sup>ns</sup>	7,6	15,1
X <sub>1</sub> <sup>2</sup>	1,0	0,412808 <sup>ns</sup>	-4,6	-9,2
X <sub>2</sub>	661,1	0,001509 **	-104,5	-208,9
X <sub>2</sub> <sup>2</sup>	72,4	0,013257 *	38,1	76,2
X <sub>3</sub>	34,7	0,027622 *	-23,9	-47,9
X <sub>3</sub> <sup>2</sup>	341,6	0,002915 **	82,7	165,5
X <sub>1</sub> . X <sub>2</sub>	57,2	0,017049 *	-40,1	-80,2
X <sub>1</sub> . X <sub>3</sub>	5,4	0,144972 <sup>ns</sup>	12,4	24,7
X <sub>2</sub> . X <sub>3</sub>	533,8	0,001868 **	-122,6	-245,2
Falta de ajuste	99,7	0,009954 **	-	-
<b>R<sup>2</sup>: 0,77316</b>				
<b>F tab: 18,51</b>				

X<sub>1</sub>: Rotação do parafuso (rpm)

X<sub>2</sub>: Umidade (%)

X<sub>3</sub>: Feijão (%)

n.s.: não significativo

\* : significativo a 5% de probabilidade

\*\* : significativo a 1% de probabilidade

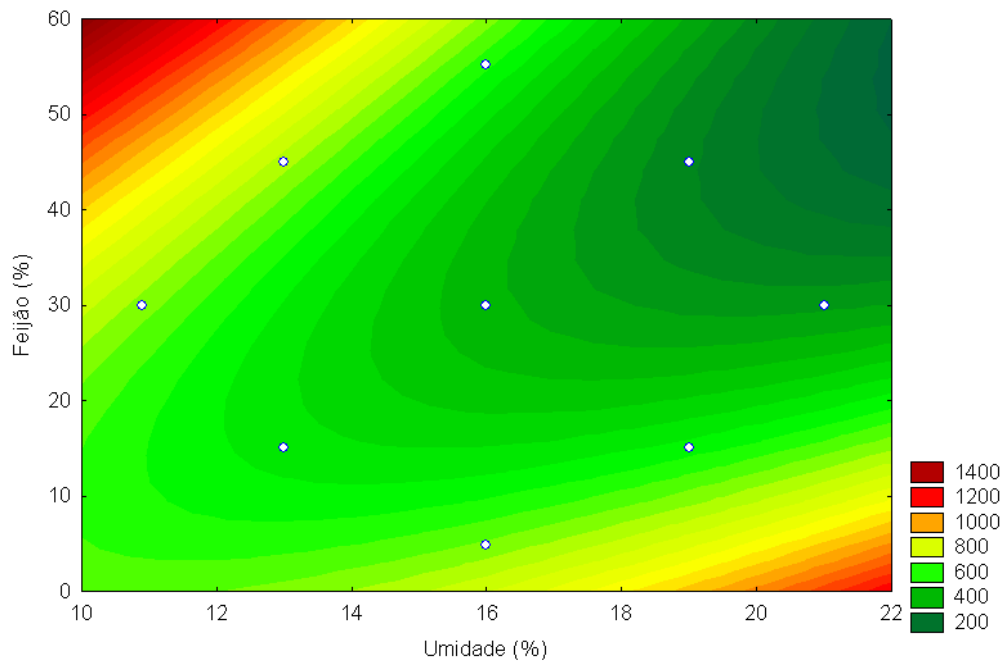
\*\*\*: significativo a 0,01% de probabilidade

Pelas considerações feitas por meio da análise de variância e fazendo uso dos coeficientes observados, a Equação do modelo matemático proposta para as variáveis independentes fica rescrita como (Equação 20):

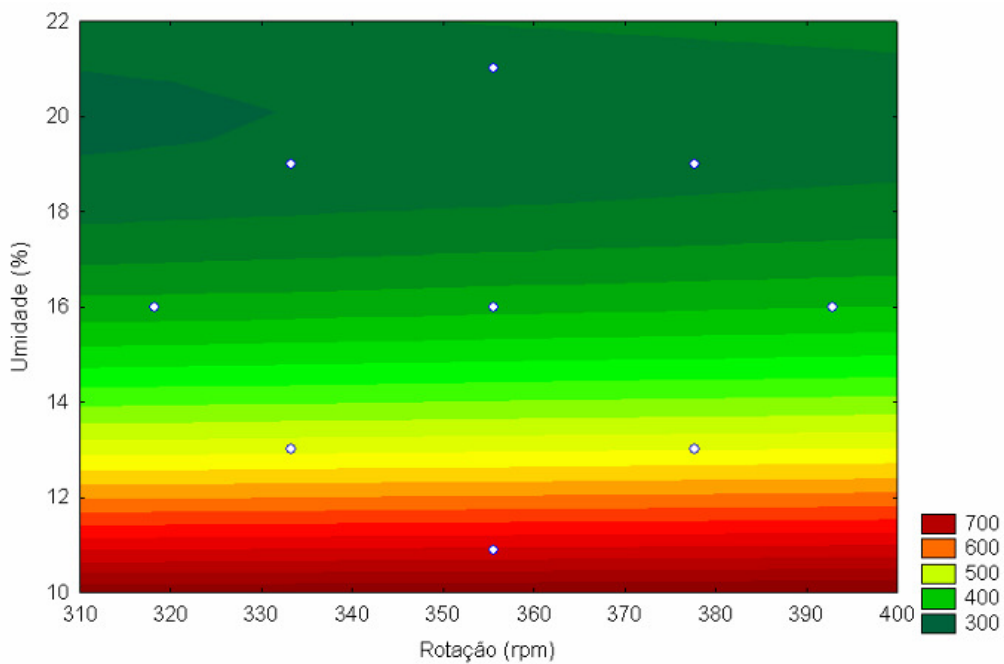
$$V25 = 379,4 - 104,5 X_2 + 38,1 X_2^2 - 23,9 X_3 + 82,7 X_3^2 - 40,1 X_1 \cdot X_2 - 122,6 X_2 \cdot X_3$$

(Equação 20)

Por meio das Figuras 45 e 46 verifica-se o efeito das variáveis quantitativas umidade e feijão assim como umidade e rotação, respectivamente, nos valores de V25. Os valores dessa variável oscilaram entre 162 e 748 cP (Tabela 39).



**Figura 45.** Efeito das variáveis quantitativas feijão (%) e umidade (%) na viscosidade máxima a 25°C (V25) das farinhas mistas extrudadas a base de milho e feijão



**Figura 46.** Efeito das variáveis quantitativas umidade (%) e rotação (rpm) na viscosidade máxima a 25°C (V25) das farinhas mistas extrudadas a base de milho e feijão

#### 4.4.5.2 Viscosidade máxima a 95°C (VMax)

A viscosidade máxima a 95°C (VMax) se caracteriza pelas transformações que ocorrem na estrutura granular do amido submetido ao processo de aquecimento como resultado da desorganização molecular, que leva a um entumescimento total, gelatinização com absorção máxima de água pelos grânulos de amido. Valores de VMax elevados 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 ao sistema quando, na fase de aquecimento, sofrem gelatinização.

A viscosidade máxima no ciclo de aquecimento indica as possibilidades de utilização da farinha extrusada. Torna-se importante quando, por exemplo, a farinha for destinada ao preparo de sopas, tortas ou outros alimentos em que se torna necessário conservar a viscosidade em temperatura acima da ambiente (TORRES et al., 2005).

Por meio da Tabela 38 evidencia-se que tanto a umidade quanto o conteúdo de feijão foram significativos ( $p < 0,01$ ) influenciando linearmente, de forma positiva, os valores da viscosidade máxima a 95°C (VMax). Como citado anteriormente, tanto o conteúdo de umidade quanto o de feijão exerceram efeito negativo na V25 fazendo com que a estrutura amilácea sofresse menor cocção e degradação da molécula. Com isso, o amido que não sofreu cocção completa assim como despolimerização e desarranjo molecular, de forma a interagir com moléculas de água, chega ao ciclo de aquecimento ainda de forma intacta. Seria durante este ciclo que as estruturas amiláceas que não sofreram alterações iniciariam o processo de gelatinização dentro do sistema viscoamilográfico aumentando os valores de viscosidade a 95°C.

Por outro lado, Silva (2006) verificou que a presença de outra matéria-prima, que não amilácea, influenciou reduzindo de forma significativa a viscosidade máxima a 95°C. E este mesmo achado encontra-se de acordo com os resultados obtidos por Borges (2002) trabalhando com farinhas de arroz e quinoa, Mendonça (2005) com farinha de arroz e amaranto integral e Ascheri et al., (2006) com farinha de arroz e casca de jabuticaba.

Verifica-se ainda que, 92 % da variação total foi explicada pelo modelo, atribuindo apenas 8 % ao erro experimental, o que é considerado um valor muito bom. Também, não foi evidenciada falta de ajuste dos dados ao modelo quadrático aplicado sugerindo que este seja preditivo à análise em questão. Nota-se também que o intercepto fora significativo ( $p < 0,01$ ) sugerindo que o ponto central tenha sido escolhido adequadamente.

**Tabela 38.** 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 (VMax) das farinhas mistas extrudadas de milho e feijão BRS pontal, em função da rotação do parafuso (X<sub>1</sub>), umidade (X<sub>2</sub>) e % de feijão (X<sub>3</sub>)

Fator	Teste F	P	Coeficiente de Regressão	Estimativa dos efeitos
Intercepto	--	0,002463 *	139,2	139,2
X <sub>1</sub>	16,1	0,056927 <sup>ns</sup>	-13,0	-26,1
X <sub>1</sub> <sup>2</sup>	6,7	0,122458 <sup>ns</sup>	-9,3	-18,5
X <sub>2</sub>	153,3	0,006458 *	40,3	80,5
X <sub>2</sub> <sup>2</sup>	0,5	0,551637 <sup>ns</sup>	-2,5	-5,1
X <sub>3</sub>	307,7	0,003234 *	57,0	114,1
X <sub>3</sub> <sup>2</sup>	8,4	0,101186 <sup>ns</sup>	10,4	20,8
X <sub>1</sub> . X <sub>2</sub>	1,1	0,411273 <sup>ns</sup>	-4,4	-8,7
X <sub>1</sub> . X <sub>3</sub>	5,4	0,145650 <sup>ns</sup>	-9,9	-19,7
X <sub>2</sub> . X <sub>3</sub>	9,5	0,090707 <sup>ns</sup>	13,1	26,2
Falta de ajuste	7,5	0,121450 <sup>ns</sup>	-	-
<b>R<sup>2</sup>: 0,92859</b>				
<b>F tab: 18,51</b>				

X<sub>1</sub>: Rotação do parafuso (rpm)

X<sub>2</sub>: Umidade (%)

X<sub>3</sub>: Feijão (%)

n.s.: não significativo

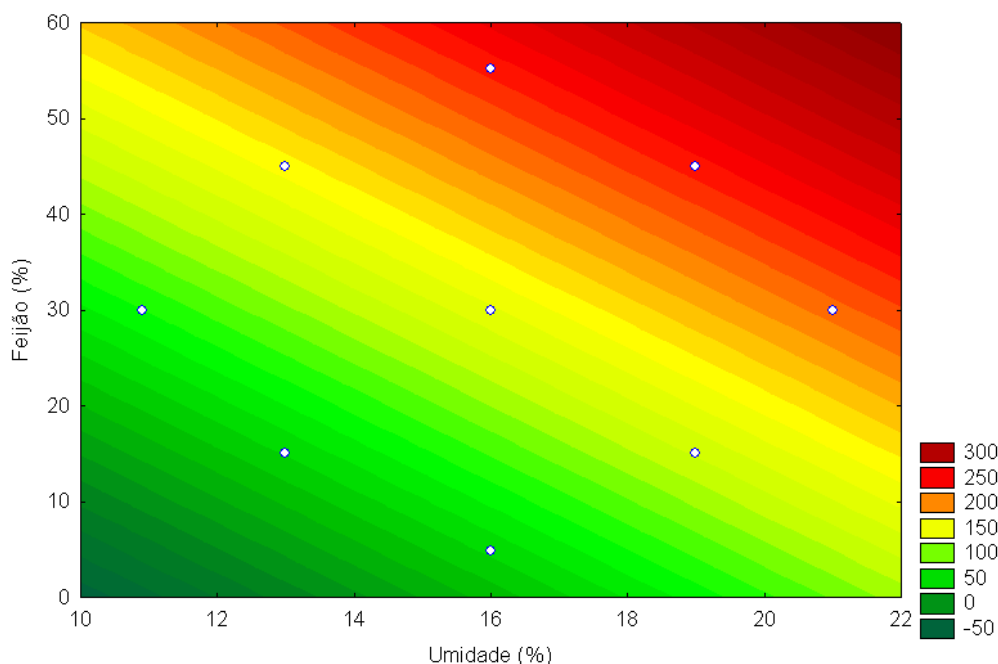
\* : significativo a 1% de probabilidade

Pelas considerações feitas por meio da análise de variância e fazendo uso dos coeficientes observados, a equação do modelo matemático proposta para as variáveis independentes fica rescrita como (Equação 21):

$$\text{VMax} = 139,2 + 40,3 X_2 + 57,0 X_3$$

(Equação 21)

Por meio da Figura 47 verifica-se o efeito das variáveis quantitativas umidade e feijão nos valores de VMax. Os valores dessa variável oscilaram entre 38 e 298 cP (Tabela 36) sendo que o valor mínimo atingido está relacionado ao tratamento 1 (333 rpm; 13 % umidade e 15 % feijão) e, o maior valor no tratamento 20 (356 rpm; 16 % umidade e 55,2 % feijão). Ray e Mishra (2006) afirmam que os grânulos de amido provenientes do milho requerem maior temperatura para iniciar o processo de gelatinização devido ao elevado grau de cristalinidade da estrutura molecular.



**Figura 47.** Efeito das variáveis quantitativas feijão (%) e umidade (%) na viscosidade máxima a 95°C (VMax) das farinhas mistas extrudadas a base de milho e feijão

#### 4.4.5.3 Viscosidade final (VF)

Após o aquecimento, gelatinização e resfriamento dos grânulos de amido, uma das características reconhecidamente importante em alimentos, principalmente durante o armazenamento, é o processo de retrogradação. Este fenômeno ocorre devido ao efeito da recristalização das moléculas de amilose e amilopectina, culminando na reorganização da estrutura molecular e, conseqüentemente, no aumento da viscosidade durante o processo de resfriamento (SILVA, 2006).

Por meio da Tabela 39 verifica-se que a viscosidade final (VF) obteve o mesmo efeito comparando com a VMax. Ou seja, nota-se que apenas as variáveis lineares de umidade e feijão influenciaram significativamente ( $p < 0,05$ ), de forma positiva, os valores de VF. Neste caso, pode-se sugerir que as amostras contendo maiores teores de umidade, assim como de feijão, foram mais susceptíveis à retrogradação. O amido que sofreu gelatinização e que não teve sua estrutura degradada passa agora, pelo ciclo de resfriamento onde as cadeias de amilose tende a se reorganizarem, realizando sinérese e posterior retrogradação, devido a sua susceptibilidade para tal. Durante a avaliação das características de viscosidade de sopas elaboradas com feno-grego, Ravindran e Matia-Merino (2009) evidenciaram que a viscosidade final dessas amostras aumentou conforme o aumento do teor de feno-grego. A viscosidade final dessas sopas foi significativamente maior quando comparada com sopas elaboradas apenas com amido de milho. Carvalho et al., (2002) verificaram que a tendência a retrogradação, em extrudados com farinha de arroz, banana e trigo, diminui com a redução da umidade. Isto possivelmente está relacionado à maior taxa de cisalhamento conferida no momento da extrusão, o que reduz a capacidade de reorganização das cadeias de amilose devido a despolimerização e rearranjo da estrutura amilácea.

Nota-se também que, 95% da variação total foi explicada pelo modelo, atribuindo apenas 5% ao erro experimental. Também não foi evidenciada falta de ajuste

dos dados ao modelo quadrático aplicado sugerindo que este serviu de forma adequada para a análise dos valores de viscosidade final.

**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 (VF) das farinhas mistas extrudadas de milho e feijão BRS pontal, em função da rotação do parafuso ( $X_1$ ), umidade ( $X_2$ ) e % de feijão ( $X_3$ )

Fator	Teste F	P	Coefficiente de Regressão	Estimativa dos efeitos
Intercepto	--	0,011579 *	325,5	325,5
$X_1$	0,0	0,940427 <sup>ns</sup>	-1,4	-2,8
$X_1^2$	1,4	0,352154 <sup>ns</sup>	-21,9	-43,9
$X_2$	24,1	0,038992 *	81,6	163,2
$X_2^2$	0,0	0,843213 <sup>ns</sup>	-4,1	-8,2
$X_3$	45,6	0,021246 *	112,1	224,2
$X_3^2$	0,6	0,502156 <sup>ns</sup>	14,9	29,7
$X_1 \cdot X_2$	0,0	0,959271 <sup>ns</sup>	-1,2	-2,5
$X_1 \cdot X_3$	0,2	0,711205 <sup>ns</sup>	-9,2	-18,5
$X_2 \cdot X_3$	0,5	0,554713 <sup>ns</sup>	15,2	30,5
Falta de ajuste	0,3	0,854608 <sup>ns</sup>	-	-
<b>R<sup>2</sup>: 0,95174</b>				
<b>F tab: 18,51</b>				

$X_1$ : Rotação do parafuso (rpm)

$X_2$ : Umidade (%)

$X_3$ : Feijão (%)

n.s.: não significativo

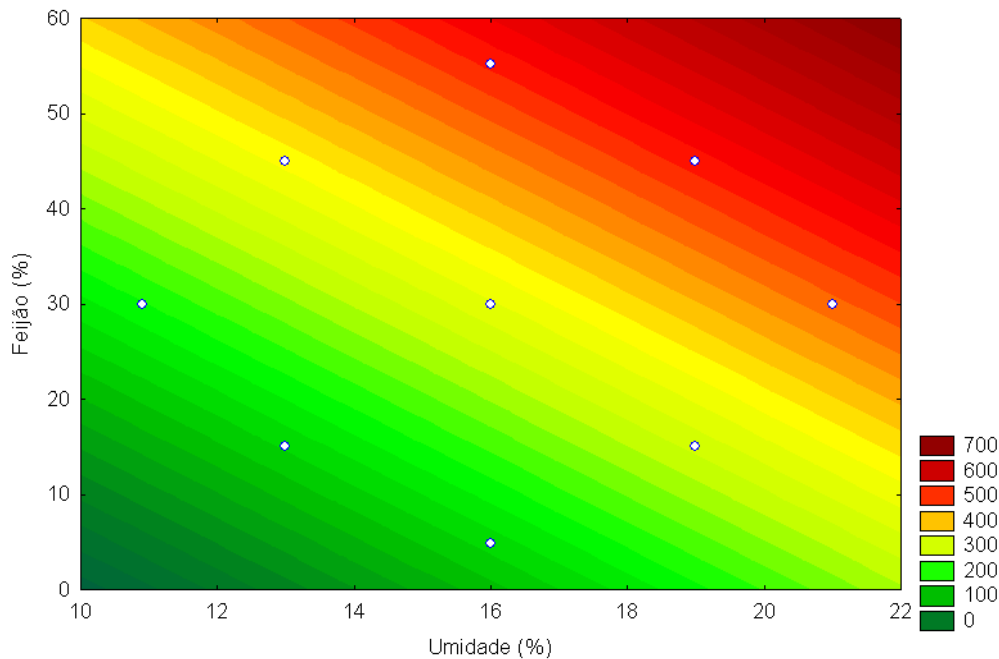
\* : significativo a 5% de probabilidade

Pelas considerações feitas por meio da análise de variância e fazendo uso dos coeficientes observados, a equação do modelo matemático proposta para as variáveis independentes fica rescrita como (Equação 22):

$$VF = 139,2 + 81,6 X_2 + 112,1 X_3$$

(Equação 22)

Por meio da Figura 48 verifica-se o efeito das variáveis quantitativas umidade e feijão nos valores de VF. Os valores dessa variável oscilaram entre 120 e 588 cP (Tabela 36) sendo que o valor mínimo atingido está relacionado ao tratamento 1 (333 rpm; 13 % umidade e 15 % feijão) e, o maior valor no tratamento 20 (356 rpm; 16 % umidade e 55,2 % feijão), assim como observado nos resultados de VMax.



**Figura 48.** Efeito das variáveis quantitativas feijão (%) e umidade (%) na viscosidade final (VF) das farinhas mistas extrudadas a base de milho e feijão

#### 4.4.6 Densidade absoluta ( $\rho_{abs}$ ) e volume total de poros (TP)

Finas partículas desempenham papel essencial na determinação de características de considerável influência sobre processos de dissolução e absorção. Na maioria dos casos, estes efeitos são em função de tamanho, área ou porosidade das partículas individuais ou aglutinação de partículas que devem ser controladas a fim de aperfeiçoar o efeito desejado de controle eficiente requerido (WEBB e ORR, 1997).

Um método para determinação da medição da densidade e porosidade de pós é a picnometria à gás. O gás pode penetrar nos mais finos poros e com isso serão adquiridos valores com maior precisão. 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. O picnômetro a gás é o mais indicado à mistura de sólido em pó, visto 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 (MOURA, 2002).

Por meio das Tabelas 40 e 41 podem ser verificados os resultados obtidos para a avaliação da densidade absoluta e volume total de poros em amostras cruas de milho e feijão, assim como as respectivas misturas cruas e extrudadas.

A  $\rho_{abs}$  das farinhas extrudadas de milho e feijão variou entre 1,4662 e 1,4916 g/cm<sup>3</sup> sendo que, a densidade absoluta registrada para o milho cru foi de 1,4660 g/cm<sup>3</sup> e, para o feijão BRS Pontal Carioca; 1,4696 g/cm<sup>3</sup> (Tabelas 40 e 41). Nota-se, portanto que, o feijão Carioca apresenta um valor de densidade absoluta levemente superior ao milho. As marcas comerciais A e B apresentaram valores de densidade absoluta iguais a 1,3843 e 1,5051 g/cm<sup>3</sup>, respectivamente. Estes valores encontrados, que diferem das farinhas extrudadas de milho e feijão Carioca, podem ser devido ao fato de que essas



sopas comerciais são elaboradas com gordura vegetal, temperos secos, entre outros ingredientes, o que altera a densidade dessas amostras.

Os resultados do volume total de poros foram entre 0,3180 e 0,3296 cm<sup>3</sup> para as amostras extrudadas. As amostras de milho cru apresentaram volume total de poros no valor de 0,3179 cm<sup>3</sup> e o feijão Carioca; 0,3195 cm<sup>3</sup> (Tabelas 40 e 41). As marcas comerciais apresentaram valores de TP iguais a 0,2776 e 0,3356 cm<sup>3</sup> (marcas A e B respectivamente).

**Tabela 40.** Densidade absoluta e volume total de poros nas farinhas cruas de milho e feijão Carioca

<b>Amostras</b>	<b><math>\rho_{abs}</math> (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>TP (cm<sup>3</sup>)</b>
Milho ( <i>grits</i> )	1,4660	0,3179
Feijão BRS Pontal	1,4696	0,3195
Mistura crua_4,8% feijão	1,4675	0,3185
Mistura crua_15% feijão	1,4675	0,3186
Mistura crua_30% feijão	1,4667	0,3181
Mistura crua_45% feijão	1,4689	0,3192
Mistura crua_55,2% feijão	1,4702	0,3198

$\rho_{abs}$ : Densidade Absoluta; **TP**: total de poros

**Tabela 41.** Densidade absoluta e volume total de poros das farinhas pré-gelatinizadas de milho e feijão Carioca

Tratamentos	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	$\rho_{abs}$ (g/cm <sup>3</sup> )	TP (cm <sup>3</sup> )
1	333	13	15	1,4696	0,3196
2	378	13	15	1,4916	0,3296
3	333	19	15	1,4785	0,3237
4	378	19	15	1,4782	0,3249
5	333	13	45	1,4757	0,3224
6	378	13	45	1,4768	0,3229
7	333	19	45	1,4662	0,3180
8	378	19	45	1,4692	0,3194
9	355	16	30	1,4744	0,3218
10	355	16	30	1,4743	0,3217
11	355	16	30	1,4742	0,3217
12	355	16	30	1,4757	0,3223
13	355	16	30	1,4748	0,3220
14	355	16	30	1,4736	0,3214
15	318	16	30	1,4737	0,3215
16	393	16	30	1,4738	0,3215
17	355	10,9	30	1,4747	0,3219
18	355	21,0	30	1,4732	0,3212
19	355	16	4,8	1,4784	0,3236
20	355	16	55,2	1,4684	0,3190
Marca comercial de sopa A	-	-	-	1,3843	0,2776
Marca comercial de sopa B	-	-	-	1,5052	0,3356

X<sub>1</sub>: Rotação do parafuso (rpm); X<sub>2</sub>: Umidade (%); X<sub>3</sub>: Feijão (%);  $\rho_{abs}$ : Densidade Absoluta; TP: total de poros.

Por meio da Tabela 42 nota-se o teste F da análise de variância aplicado à densidade absoluta das farinhas extrudadas de milho e feijão. De acordo com os resultados obtidos nota-se que os parâmetros utilizados no processo de extrusão (rotação do parafuso, umidade e teor de feijão) influenciaram a  $\rho_{abs}$  das farinhas extrudadas de milho e feijão Carioca.

Observa-se que, apenas a rotação do parafuso influenciou linearmente, de forma positiva, os valores de densidade absoluta. As demais variáveis (umidade e feijão) influenciaram linearmente, de forma negativa, os valores de densidade. O conteúdo de feijão foi a variável que obteve maior influência na densidade ( $p < 0,01$ ), ou seja, conforme o aumento do teor desta leguminosa, menores os valores de  $\rho_{abs}$ .

Thymi et al., (2005) ao elaborarem extrudados a base de amido de milho observaram que a velocidade do parafuso não influenciou significativamente as propriedades estruturais desses produtos. Os valores de densidade absoluta das amostras foram aproximadamente constantes, o que era de se esperar uma vez que, a densidade das partículas gira entre a densidade da água e a densidade de sólidos.

Cabe ressaltar que, certos cuidados devem ser tomados ao se fazerem afirmativas, pois 71 % da variação total foi explicada pelo modelo, atribuindo aproximadamente 30 % aos resíduos. Ainda assim, foi evidenciada falta de ajuste desses dados ao modelo quadrático aplicado sugerindo que este possa ser considerado não preditivo para a análise em questão. Porém, não existe outro modelo que se ajusta tão bem à realidade desse estudo, que não o atualmente utilizado.

**Tabela 42.** 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 ( $\rho_{abs}$ ) das farinhas mistas extrudadas de milho e feijão BRS pontal, em função da rotação do parafuso ( $X_1$ ), umidade ( $X_2$ ) e % de feijão ( $X_3$ )

Fator	Teste F	P	Coefficiente de Regressão	Estimativa dos efeitos
Intercepto	--	0,000000 ***	1,475	1,475
$X_1$	34,4	0,027897 *	0,002	0,004
$X_1^2$	0,6	0,514372 <sup>n.s.</sup>	0,000	0,001
$X_2$	38,2	0,025197 *	-0,002	-0,004
$X_2^2$	0,6	0,514372 <sup>n.s.</sup>	0,000	0,001
$X_3$	125,6	0,007869 **	-0,004	-0,007
$X_3^2$	0,1	0,830532 <sup>n.s.</sup>	0,000	0,000
$X_1, X_2$	41,3	0,023344 *	-0,003	-0,005
$X_1, X_3$	27,1	0,034984 *	-0,002	-0,004
$X_2, X_3$	15,8	0,057707 <sup>n.s.</sup>	-0,002	-0,003
Falta de ajuste	22,0	0,044032 *	--	--
<b>R<sup>2</sup>: 0,71695</b>				
<b>F tab: 18,51</b>				

$X_1$ : Rotação do parafuso (rpm)

$X_2$ : Umidade (%)

$X_3$ : Feijão (%)

n.s.: não significativo

\* : significativo a 5% de probabilidade

\*\* : significativo a 1% de probabilidade

\*\*\*: significativo a 0,01% de probabilidade

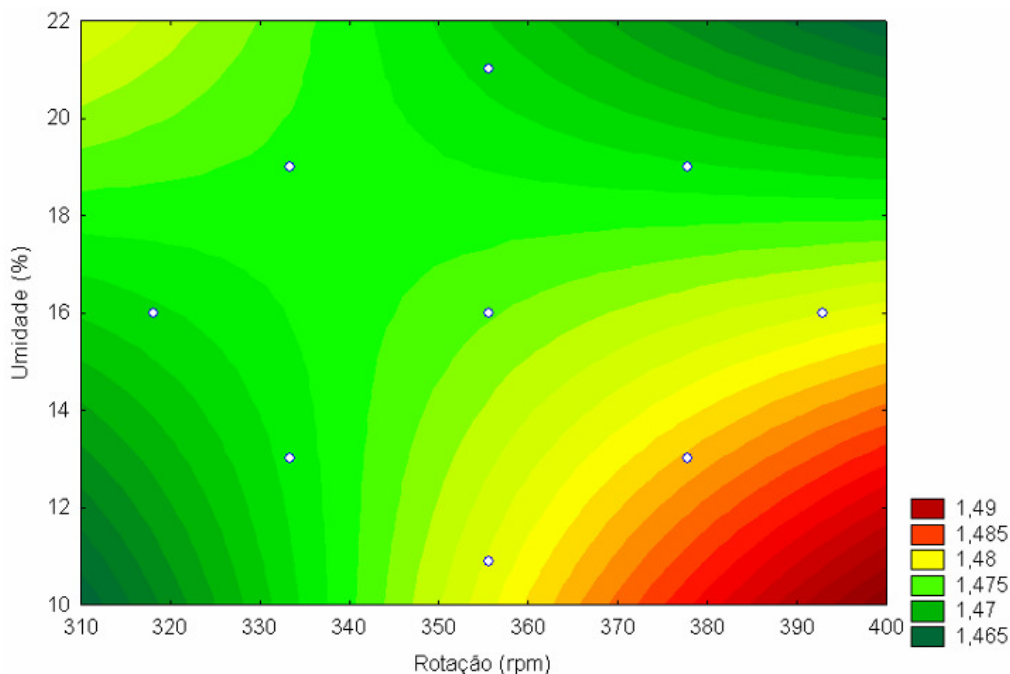
Pelas considerações feitas por meio da análise de variância e fazendo uso dos coeficientes observados, a equação do modelo matemático proposta para as variáveis independentes fica rescrita como (Equação 23):

$$\rho_{abs} = 1,47 + 0,002 X_1 - 0,002 X_2 - 0,004 X_3 - 0,003 X_1 X_2 - 0,002 X_1 X_3$$

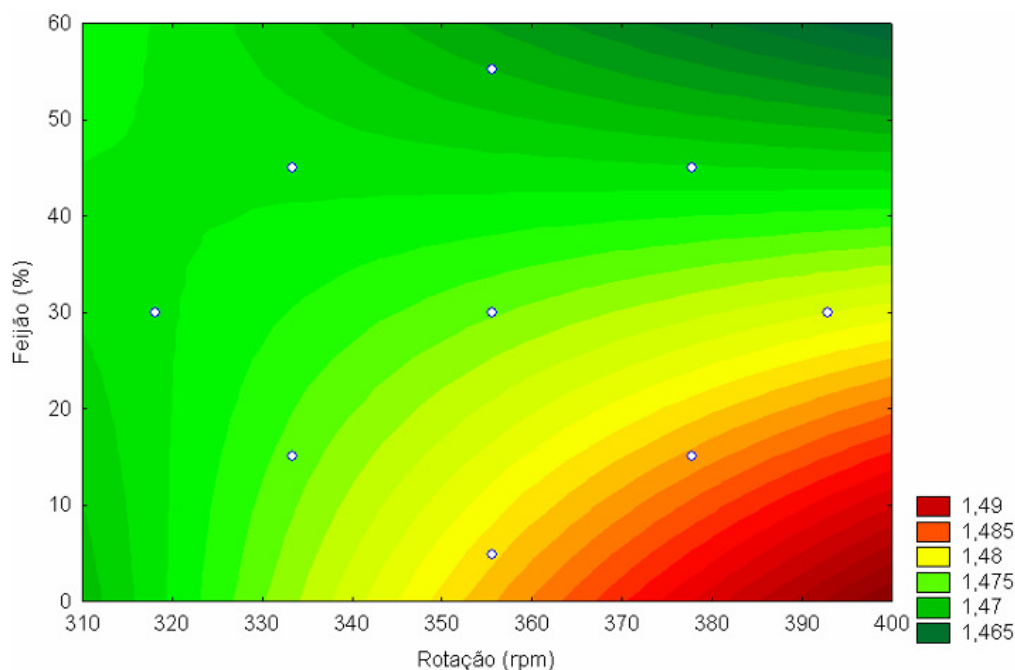
(Equação 23)

Por meio das figuras 49 e 50 verificam-se os efeitos das variáveis quantitativas umidade e rotação, assim como feijão e rotação, nos valores de  $\rho_{abs}$ .

Santana e Gasparetto (2009) observaram que, os valores da densidade real, medida por meio de picnômetro, da fibra da laranja não diferiram com relação ao método de secagem aplicado (secagem convencional e liofilização) sendo que, os resultados deste estudo variaram entre 1,514 e 1,610 g/cm<sup>3</sup>.



**Figura 49.** Efeito das variáveis quantitativas umidade (%) e rotação (rpm) na densidade absoluta ( $\rho_{abs}$ ) das farinhas mistas extrudadas a base de milho e feijão



**Figura 50.** Efeito das variáveis quantitativas rotação (%) e feijão (%) na densidade absoluta ( $\rho_{abs}$ ) das farinhas mistas extrudadas a base de milho e feijão

Esses mesmos autores afirmam ainda que, a diferença entre o volume total de poros e o volume envelope (ou bulk), é o volume real quando a amostra não tiver poros fechados. Sendo assim, gases como o hélio e nitrogênio podem penetrar em microporos e mesoporos onde o mercúrio, por exemplo, não pode ser introduzido. Essa é uma vantagem quando se trabalha com picnometria à gás utilizando hélio.

A diferença entre o volume esqueleto obtido pela porosimetria (utilizando mercúrio) e o volume real obtido pela picnometria indica uma limitação do primeiro método, pois a molécula de mercúrio não preenche um certo volume dos poros existentes que possuem tamanho mínimo e que são preenchidos pela molécula de hélio. A densidade real avaliada através da picnometria serve como medida da veracidade dos poros que o equipamento está analisando. De acordo com esta técnica, é esperado que esta seja melhor devido ao tamanho da molécula de hélio ser bem menor do que a molécula de mercúrio.

Quando se utiliza a densidade real fornecida pelo picnômetro, o resultado obtido para a porosidade é menos sujeito a erros e mais confiável do que aquele fornecido por outras técnicas (SANTANA e GASPARETTO, 2009).

Por meio da Tabela 43 verifica-se que, os parâmetros utilizados no processo de extrusão (rotação do parafuso, umidade e teor de feijão) influenciaram o volume total de poros das farinhas extrudadas de milho e feijão Carioca.

Nota-se que, apenas a rotação do parafuso influenciou linearmente, de forma positiva, o volume total de poros. As demais variáveis (umidade e feijão) influenciaram linearmente, de forma negativa, os valores da variável resposta em questão. O conteúdo de feijão foi a variável que obteve maior influência no volume total de poros ( $p < 0,01$ ), ou seja, conforme o aumento do teor desta leguminosa, menores os valores do TP.

O aumento da porosidade do material analisado indica um aumento na capilaridade entre as células permitindo assim que haja melhor contato com a água. De acordo com Webb (2001) para se determinar o volume de poros abertos, deve-se

primeiro obter a massa da amostra seca. Essa amostra é imersa em um líquido que é capaz de penetrar em poros abertos. Sendo assim, a amostra é pesada novamente depois de retirar o líquido. A diferença entre a massa seca e a massa úmida dividida pela densidade do líquido é o volume de poros abertos, nos quais o líquido foi capaz de penetrar.

Nesse sentido pode haver uma relação entre a solubilidade do material e a sua porosidade permitindo maior contato com a água e melhor reconstituição do produto.

Dentre as amostras escolhidas como melhores tratamentos destaca-se a T2 (378 rpm, 13 % umidade e 15 % feijão) por apresentar valor relativamente elevado de solubilidade (13,32 %) e o maior valor de volume total de poros (0,3296 cm<sup>3</sup>), dentre os tratamentos analisados. Essa amostra também apresentou melhor tempo de reconstituição (56 segundos) podendo associar a porosidade com o tempo de preparo das sopas.

Wodarczyk-Stasiak e Jamroz (2009) observaram que, tanto o volume total de poros quanto o diâmetro de extrudados a base de amido de batata, podem ser controlados pelo processo de extrusão. Em todos os casos foi verificado um aumento do diâmetro dos poros, após o processamento. A redução da velocidade do parafuso contribuiu para a uniformidade do diâmetro dos poros nos extrudados. Foi evidenciada uma relação entre a expansão radial e a porosidade das amostras, ou seja, o aumento dessa expansão favoreceu o desenvolvimento tanto do volume quanto do diâmetro dos poros.

O feijão, apesar de utilizado sem o conteúdo de seu tegumento (casca) possui em seu endosperma, uma quantidade apreciável de pectina, uma fibra do tipo solúvel. Yanniotis et al., (2007) verificaram que, a adição de pectina ao amido de milho, para a elaboração de extrudados expandidos, aumentou de forma significativa a porosidade da estrutura das amostras. Em se tratando de fibras, estas causam ruptura prematura das bolhas de ar reduzindo assim a expansão e porosidade. Porém, a pectina particularmente reduz a fratura da parede celular aumentando a sua elasticidade e com isso, a porosidade.

Thymi et al., (2005) observaram que a porosidade decresceu conforme o aumento do tempo de residência do material no extrusor. O aumento do teor de umidade também teve um efeito negativo sobre a porosidade de extrudados a base de amido de milho.

O método de secagem convencional, quando comparado com a liofilização influenciou as características microestruturais da fibra alimentar do albedo de laranja, reduzindo a porosidade da mesma (SANTANA e GASPARETTO, 2009).

Porém, cabe ressaltar que, ainda são escassos os trabalhos referentes à avaliação das propriedades estruturais, como a densidade absoluta e o volume total de poros, em extrudados para fins alimentícios.

No estudo realizado, 76 % da variação total foi explicada pelo modelo proposto, atribuindo 24 % aos resíduos. Porém, não foi evidenciada falta de ajuste desses dados ao modelo quadrático aplicado indicando que, mesmo com coeficiente de determinação baixo, o modelo em questão pode ser considerado preditivo.

**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 volume total de poros (TP) das farinhas mistas extrudadas de milho e feijão BRS pontal, em função da rotação do parafuso ( $X_1$ ), umidade ( $X_2$ ) e % de feijão ( $X_3$ )

Fator	Teste F	P	Coeficiente de Regressão	Estimativa dos efeitos
Intercepto	--	0,000001 ***	0,322	0,322
$X_1$	37,2	0,025873 *	0,001	0,002
$X_1^2$	0,1	0,773328 <sup>n.s.</sup>	0,000	0,000
$X_2$	25,1	0,037638 *	-0,001	-0,002
$X_2^2$	1,8	0,307386 <sup>n.s.</sup>	0,000	0,000
$X_3$	141,8	0,006976 **	-0,002	-0,004
$X_3^2$	1,8	0,307386 <sup>n.s.</sup>	0,000	0,000
$X_1 \cdot X_2$	30,4	0,031380 *	-0,001	-0,002
$X_1 \cdot X_3$	30,4	0,031380 *	-0,001	-0,002
$X_2 \cdot X_3$	18,4	0,050347 <sup>n.s.</sup>	-0,001	-0,002
Falta de ajuste	16,8	0,057230 <sup>n.s.</sup>	--	--
<b>R<sup>2</sup>: 0,76923</b>				
<b>F tab: 18,51</b>				

$X_1$ : Rotação do parafuso (rpm)

$X_2$ : Umidade (%)

$X_3$ : Feijão (%)

n.s.: não significativo

\* : significativo a 5% de probabilidade

\*\* : significativo a 1% de probabilidade

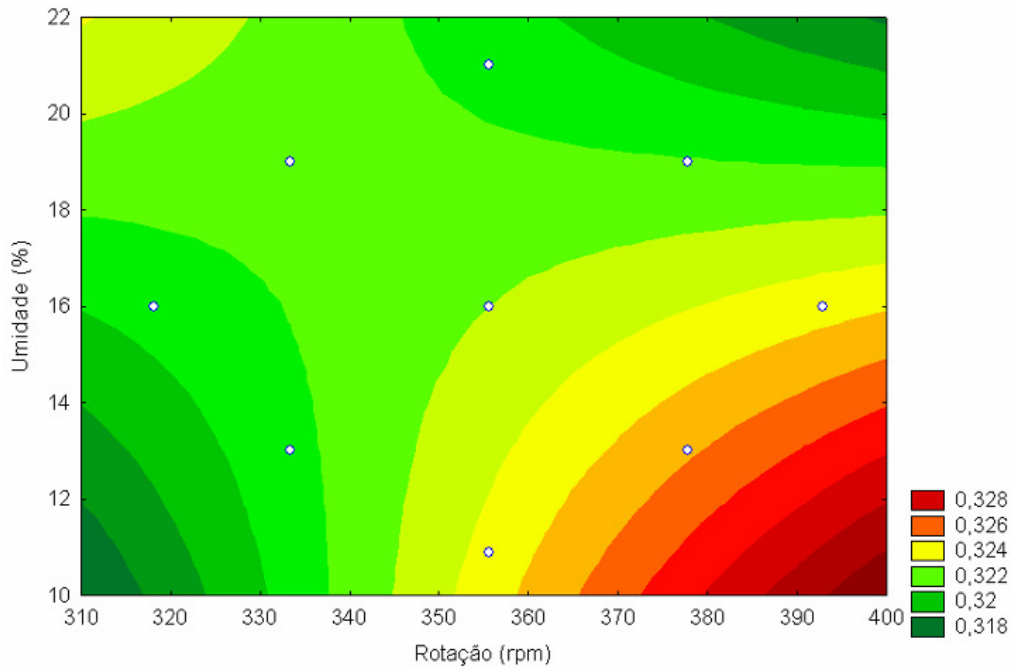
\*\*\*: significativo a 0,01% de probabilidade

Pelas considerações feitas por meio da análise de variância e fazendo uso dos coeficientes observados, a equação do modelo matemático proposta para as variáveis independentes fica rescrita como (Equação 24):

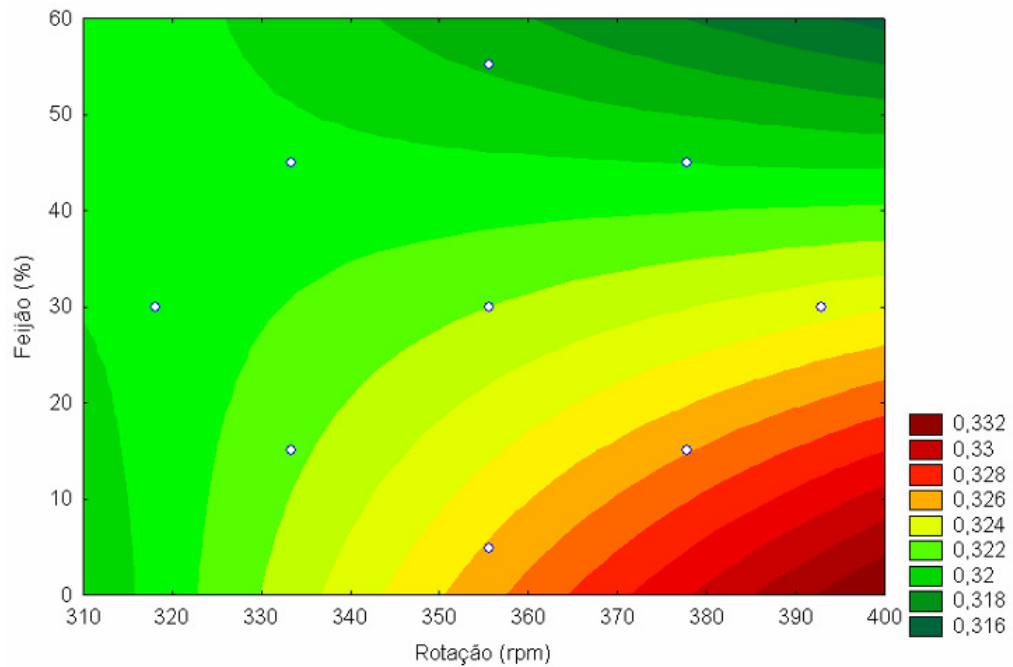
$$\text{TOTAL POROS} = 0,32 + 0,001 X_1 - 0,001 X_2 - 0,002 X_3 - 0,001 X_1 \cdot X_2 - 0,001 X_1 \cdot X_3$$

(Equação 24)

Por meio das Figuras 51 e 52 verificam-se os efeitos das variáveis quantitativas umidade e rotação, assim como feijão e rotação, nos valores de TP.



**Figura 51.** Efeito das variáveis quantitativas umidade (%) e rotação (rpm) no volume total de poros (TP) das farinhas mistas extrudadas a base de milho e feijão



**Figura 52.** Efeito das variáveis quantitativas feijão (%) e rotação (rpm) no volume total de poros (TP) das farinhas mistas extrudadas a base de milho e feijão



#### 4.4.7 Otimização do processo para a elaboração de farinhas pré-gelatinizadas

Para a elaboração de farinhas pré-gelatinizadas com características desejáveis para o preparo de sopas foi levado em consideração os seguintes limites de valores, para cada variável resposta estudada:

- ISA: 12-16 %
- IAA: 5,6-6,2 g gel/g matéria seca
- V25: 300-700 cP
- V95: 100-160 cP
- VF: 200-400 cP
- Densidade absoluta: 1,473-1,478 g/cm<sup>3</sup>
- Volume total de poros: 0,320-0,324 cm<sup>3</sup>

Esses limites de valores foram observados por meio de correlações feitas entre a variável ISA e as demais variáveis resposta, considerando um valor de ISA intermediário (desejável para o preparo de sopas). Valores de solubilidade máximos indicam que o material extrudado por ter sofrido dextrinização, rompendo a cadeia amilácea e tornando-a com menor peso molecular. É interessante que haja ao menos células capazes de absorver uma quantidade de água. Além disso, não se deseja uma sopa altamente viscosa no início do preparo, pois isso afetaria a mistura em meio aquoso e sua reconstituição. Para tal é considerada uma viscosidade máxima a 25°C moderada. Para o preparo das sopas não se deve utilizar água muito quente (95°C). Sendo assim, a viscosidade máxima a 95°C também foi considerada moderada (intermediária). O mesmo raciocínio foi levado em consideração para a viscosidade final, pois não se deseja que as sopas, ao serem resfriadas, fiquem com aspecto duro (muito espessas).

Aplicando-se a função de desejabilidade, para se obter um ponto ótimo, obteve-se os seguintes valores desejáveis, para cada variável analisada (Tabela 44).

**Tabela 44.** Pontos ótimos considerados para a elaboração de farinhas pré-gelatinizadas

Variáveis independentes		Variáveis resposta	
Rotação (rpm)	380,5	ISA (%)	13,07
Umidade (%)	15,9	IAA (g gel/g m.s.)	5,81
Feijão (%)	42,6	V25 (cP)	436,52
		VMax (cP)	157,86
		VF (cP)	390,26
		P <sub>abs</sub> (g/cm <sup>3</sup> )	1,4719
		TP (cm <sup>3</sup> )	0,3205

O valor da desejabilidade foi de 0,903003 considerado muito bom para o estudo em questão.

#### 4.4.8 Análise sensorial de sopas elaboradas com farinhas extrudadas de milho e feijão Carioca

Dos 65 julgadores participantes da análise sensorial, 100% gostam de sopas assim como as consome sendo que, 13% raramente, 62% esporadicamente e 22% frequentemente. Isso demonstra que a maior parcela dos julgadores, apesar de gostarem de sopas, não possuem o hábito de consumi-las frequentemente. Isso também pode ser evidenciado na população brasileira, uma vez que as sopas geralmente são consumidas em épocas mais frias.

A média de idade dos julgadores foi de 21 anos sendo que 50% encontravam-se na faixa entre 18-20 anos; 43% entre 21-25 anos; 2% entre 26-30 anos e 1% entre 31-40 anos. Foi observado que, 93,5% dos participantes eram universitários; 2,3% com nível universitário completo e 3,4% pós-graduados. Foi avaliada a intenção em experimentar novos produtos e, 63% dos participantes relataram que definitivamente gostariam de experimentar novos produtos. Apenas 1% relatou estar em dúvida com relação a este questionamento.

A análise de variância aplicada para os resultados obtidos por meio da análise sensorial das 7 amostras de sopas permitiu observar que houve uma variação significativa ( $p < 0,01$ ) dentro de cada grupo avaliado.

A análise de comparação múltipla das médias obtidas por meio da análise sensorial das sopas permitiu avaliar as notas obtidas, para cada quesito, entre os grupos avaliados (Tabela 45). Verificou-se que não houve diferença significativa ( $p > 0,05$ ) entre as médias das notas atribuídas para cada quesito, com relação a todas as amostras. As médias obtidas em todos os quesitos estão relacionadas à opinião, na escala hedônica, referente a “não gostei nem desgostei” e “gostei ligeiramente”.

Comparando os resultados obtidos para as sopas com os *snacks*, cabe ressaltar que, a adição de feijão à mistura não influenciou na avaliação dos julgadores, o que pode ser considerado um ponto positivo. Significa que, a adição de feijão não altera o sabor da preparação ao ponto de ser identificado, como “*bean flavor*”.

A elaboração de sopas exige certos cuidados, pois cada consumidor possuirá um tipo de preferência no preparo das mesmas. Foram observados anotações a respeito da concentração e viscosidade das sopas. Alguns julgadores optaram por preparações mais líquidas, ao passo que, outros preferiam as mais viscosas. A ausência de outros ingredientes como legumes e carnes também foi uma crítica ao estudo. Porém, cabe ressaltar que, o intuito do presente trabalho foi avaliar apenas os ingredientes utilizados neste estudo, como o milho e feijão. Sendo assim, o tempero utilizado para o preparo das sopas consistiu em apenas hortaliças mais comumente utilizadas como o tomate, cebola e alho. A preparação mais se assemelhou ao tipo sopa-creme o que agradou a alguns julgadores, porém não agradando a outros.

**Tabela 45.** Médias das notas obtidas por meio da avaliação da aceitabilidade de sopas elaboradas com farinhas pré-gelatinizadas de milho e feijão Carioca\*

<b>Atributo sensorial</b>	T2	T3	T6	T9	T15	T17	T19	D.M.S	CV (%)
Aparência	6,26 <sup>a</sup>	6,46 <sup>a</sup>	5,90 <sup>a</sup>	5,92 <sup>a</sup>	5,86 <sup>a</sup>	5,75 <sup>a</sup>	6,23 <sup>a</sup>	0,85	27,27
Sabor	5,52 <sup>a</sup>	5,63 <sup>a</sup>	5,75 <sup>a</sup>	5,47 <sup>a</sup>	5,43 <sup>a</sup>	5,63 <sup>a</sup>	5,63 <sup>a</sup>	0,98	33,93
Aceitabilidade geral	5,52 <sup>a</sup>	5,61 <sup>a</sup>	5,64 <sup>a</sup>	5,30 <sup>a</sup>	5,33 <sup>a</sup>	5,58 <sup>a</sup>	5,63 <sup>a</sup>	0,96	33,40
Intenção de compra	4,72 <sup>a</sup>	5,63 <sup>a</sup>	5,40 <sup>a</sup>	5,06 <sup>a</sup>	5,21 <sup>a</sup>	5,61 <sup>a</sup>	5,69 <sup>a</sup>	1,18	43,10

\*Extrudados escolhidos como melhores tratamentos. As médias, na mesma linha, seguidas de letras diferentes, diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. D.M.S. (diferença mínima significativa) e CV (coeficiente de variação).

Tratamentos: **T2** (15% feijão, 378 rpm, 13% umidade); **T3** (15% feijão, 333 rpm, 19% umidade); **T6** (45% feijão, 378 rpm, 13% umidade); **T9** (30% feijão, 355 rpm, 16% umidade); **T15** (30% feijão, 318,2 rpm, 16% umidade); **T17** (30% feijão, 355 rpm, 10,9% umidade); **T19** (4,8% feijão, 355 rpm, 16% umidade).

## 4.5 CONCLUSÕES

Por meio do estudo realizado pôde-se verificar que, a obtenção de farinhas pré-gelatinizadas para o preparo de sopas de milho e feijão BRS Pontal tipo Carioca é possível. Os parâmetros utilizados no processamento por extrusão termoplástica foram: rotação do parafuso (318,2 a 392,9 rpm); umidade inicial na mistura (10,9 a 21%) e adição de feijão sem casca BRS Pontal do tipo Carioca (4,8 a 55,2%).

A moagem das matérias-primas que permitiu elaborar sopas com melhores aspectos quanto a homogeneidade, viscosidade e solubilidade foi realizada em moinho de discos cujas farinhas obtidas apresentam o diâmetro médio de partículas em torno de 200 micrômetros ( $D_{[4,3]} = 200 \mu\text{m}$ ).

O aumento do conteúdo de feijão nas amostras reduziu a solubilidade das farinhas extrudadas, entretanto não afetou de forma significativa os valores de absorção em água.

A viscosidade de pasta apresentada pelas farinhas está condizente com a característica de fácil reconstituição, sendo solubilizadas sem a necessidade de cozimento. Além disso, permitiu verificar que as farinhas pré-gelatinizadas de milho e feijão apresentaram-se viscosas, homogêneas e com pouca tendência a retrogradação. Isso quer dizer que o processo de extrusão e os parâmetros aplicados permitiram elaborar produtos com características desejáveis para o preparo de sopas.

Não foi evidenciada diferença significativa entre as amostras analisadas permitindo concluir que a adição de até 45% de feijão, para a produção de farinhas mistas pré-gelatinizadas com o intuito de elaborar sopas, não influenciou de forma significativa a aceitabilidade das sopas, sendo que nenhum sabor residual foi evidenciado.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVIM, I.D. **Efeito da extrusão termoplástica sobre as propriedades funcionais e nutricionais de farinhas à base de milho, caseína e derivados de levedura.** Dissertação de Mestrado em Ciência da Nutrição - Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2001. 104p.

**AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS (AACC).** Approved methods of the AACC, 1995.

ANTON, A.A.; FULCHER, R.G.; ARNTFIELD, S.D. Physical and nutritional impact of fortification of corn starch-based extruded snacks with common bean flour: effects of bean addition and extrusion cooking. **Food Chemistry** (manuscript), 2008.

ANDERSON, R. A.; CONWAY, H. F.; PFEIFER, V. F.; GRIFFIN JUNIOR, L. Gelatinization of Corn Grits by Roll-and Extrusion-Cooking. **Cereal Science Today**, St. Paul, v.14, n.1, p. 4-12, 1969.

ASCHERI, J. L. R.; CIACCO, C. F.; RIAZ, M. N.; LUSAS, E. W. Efecto de la formulación sobre la expansión y viscosidad de snacks (pellets) producidos por extrusión termoplástica. **Alimentaria, Madrid**, v.286, n.12, p.111- 116, 1995.

ASCHERI, J.L.R. **Extrusão termoplástica de amidos e produtos amiláceos.** Rio de Janeiro: EMBRAPA – CTAA, 43p., 1997.

ASCHERI, J.L.R.; CARVALHO, C.W.P. de; SPEHAR, C.R. **A extrusão do amaranto no desenvolvimento de produtos: caracterização físico-química.** Rio de Janeiro: Embrapa Agroindústria de Alimentos, 2004.

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 CEPPA**, Curitiba, v.24, n.1, p. 115-144, jan/jun, 2006.

ASCHERI, J.L.R.; CARVALHO, C.W.P. **Curso de processo de extrusão de alimentos: aspectos tecnológicos para o desenvolvimento e produção de alimentos para consumo humano e animal.** EMBRAPA, Abril, 2008, 81p.

**ASSOCIATION OF OFFICIAL AGRICULTURAL CHEMISTS (AOAC).** Official Methods of Analysis of the Association of Official Agriculture Chemists. Washington, 2005.

ATIENZO-LAZOS, M.; DELGADO, E.; OCHOA, M.L.; AGUILAR-PALAZUELOS, E.; MARTINEZ-BUSTOS, F.; RAMIREZ-WONG, B.; GALLEGOS-INFANTE, J.A.; MEDRANO-ROLDAN, H.; BARBA-QUINTERO, G. Effect of moisture and temperatura on the functional properties of composite flour extrudates from beans (*Phaseolus vulgaris*) and Nixtamal. **Journal of Food Science and Technology**, p. 2-35, 2009.

BALANDRAN-QUINTERO, R.R.; BARBOSA-CANOVAS, G.V.; ZAZUETA-MORALES, J.J.; ANZALDUA-MORALES, A.; QUINTERO-RAMOS, A. Functional and nutritional properties of extruded whole pinto bean meal (*Phaseolus vulgaris* L.). **Journal of Food Science**, n. 36, p. 113-116, 1998.

BECKER, A.; HILL, S.E.; MITCHELL, J.R. Milling – a further parameter affecting the rapid visco analyser (rva) profile. **Cereal Chemistry**, n.78, p.166-172, 2001.

BORDERÍAS, A.J.; MONTERO, P. Fundamentos de la funcionalidad de las proteínas en alimentos. **Revista Agroquímica y Tecnología de alimentos**, Valencia, v.28, n.2, p. 159-169, 1998.

BORGES, J.T.S. **Elaboração de macarrão pré-cozido à base de farinha integral de quinoa e farinha de arroz utilizando o processo de extrusão termoplástica**. Tese (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2002, 116p.

CARNEIRO, J.C.S. **Processamento industrial de feijão: avaliação sensorial descritiva e mapa de preferência**. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG. 2001, 90p.

CARVALHO, R.V.; ASCHERI, J.L.R.; VIDAL, J. Efeito dos parâmetros de extrusão nas propriedades físicas de pellets (3G) de misturas de farinhas de trigo, arroz e banana. **Ciência agrotec**, Lavras, v.26, n.5, p.1006-18, 2002.

CHINNASWAMY, R.; HANNA, M.A. Optimum extrusion cooking conditions for maximum expansion of corn starch. **Journal of Food Science**, Chicago, v.53, n.3, p. 834-840, 1988.

CHINNASWAMY, R.; UNNIKRISHNAN, K.R.; BHATTACHARYA, K.R. Rheological properties of certain processed rice products. **Starch**, New York, v.37, n.3, p. 99-103, 1985.

CLERICI, M.T.P.S.; EL-DASH, A. A. Características tecnológicas de farinhas de arroz pré-gelatinizadas obtidas por extrusão termoplástica. **Ciência e Agrotecnologia**. Lavras, v. 32, n. 5, 2008.

CÓRDOBA, G.M.C.; WANG, S.H.; SGARBIERI, V.C. Características nutricionais e sensoriais de sopa cremosa semi-instantânea à base de farinhas de trigo e soja desengordurada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.29, n.7, p.1137-1143, jul. 1994.

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, p. 165-216, 1982.

EL-DASH, A. A.; GONZALES, R.; CIOL, M. Response surface in the control of thermoplastic extrusion of starch. **Journal of Food Engineering, Radnor**, n.2, p.129-152, 1983.

FENIMAN, C.M. **Caracterização de raízes de mandioca do cultivar IAC-70 quanto à cocção, composição química e propriedades do amido em duas épocas de colheita**. Tese (Mestrado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004, 83p.

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 e soja (70:30). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.23, n.2, p. 234-239, 2003.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (FAO). **Necessidades de energia e proteína**. São Paulo: Roca, 1998, 225p.

GOMES, J.C.; SILVA, C.O.; COSTA, N.M.B.; PIROZI, M.R. Desenvolvimento e caracterização de farinhas de feijão. **Revista Ceres**, v.53, p. 548-558, 2006.

HAGENIMANA, A.; DING, X.; FANG, T. Evaluation of rice flour modified by extrusion cooking. **Journal of Cereal Science**, n.43, p. 38-46, 2006.

HASHIMOTO, J.M.; GROSSMANN, M.V. Effects of extrusion conditions on quality of cassava bran/cassava starch extrudates. **International Journal of Food Science and Technology**, n.38, p.511-517, 2003.

HIDALGO, J. Functional properties of food proteins from a biophysical point of view: **Biochemical aspects of new protein food**. Copenhagen, FEBS, n.44, p.89-98, 1977.

LAZOU, A.; KROKIDA, M. Functional properties of corn and corn-lentil extrudates. **Food Research International**, n.43, p. 609-616, 2010.

LEVINE, L. Estimating output and power of food extruders. **Journal of Food Processing Engineering**, n.1, p.1-13, 1983.

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**, Campinas v.19, n.3, p391-396, 1999.

MENDONÇA, X.M.F.D. **A extrusão termoplástica no desenvolvimento de produtos derivados de amaranto**. Tese (Doutorado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

MENG, X.; THREINEN, D.; HANSEN, M.; DRIEDGER, D. Effects of extrusion conditions on system parameters and physical properties of a chickpea flour-based snack. **Food Research International**, n. 43, p. 650-658, 2010.

MERCIER, C.; FEILLET, P. Modification of carbohydrate components by extrusion-cooking of cereal products. **Cereal Chemistry**, St. Paul, v.52, n.3, p.283-297, 1975.

MONTEIRO, M.A.M.; STRINGHETA, P.C.; COELHO, D.T.; MONTEIRO, J.B.R. Estudo sensorial de sopa-creme à base de palmito. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.21, n.1, p.5-9, jan./abr. 2001.

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.

OLIVEIRA, F.E.M. **Feijão: curvas de absorção de água e elaboração de farinhas**. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Viçosa. Viçosa – MG. 1996, 63p.

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. Use of extrusion-texturized whey protein isolates in puffed corn meal. **Journal of Food Processing and Preservation**, n. 34, p. 571-586, 2010.

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. **Ciênc. Tecnol. Aliment.**, Campinas, v.26, n.1, p. 179-187, 2006.

RAI, T.; MISHRA, S. Morphology and functional properties of corn, potato and tapioca starches. **Food Hydrocolloids**, n.20, p. 557-566, 2006.

RAVINDRAN, G.; MATIA-MERINO, L. Starch-fenugreek polysaccharide interactions in pure and soup systems. **Food Hydrocolloids**, n.23, p. 1047-1053, 2009.

RUIZ-RUIZ, J.; AYALA, A.M.; DRAGO, S.; GONZÁLEZ, R.; ANCONA, D.B.; GUERRERO, L.C. Extrusion of a hard-to-cook bean (*Phaseolus vulgaris* L.) and quality protein maize (*Zea mays* L.) flour blend. **LWT - Food Science and Technology**, 2008.

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.

SILVA, D.J.; QUEIROZ, A.C. **Análise de alimentos. Métodos químicos e biológicos**. 3ª edição, Editora UFV: Universidade Federal de Viçosa, 2005, 235p.

SILVA, R.F. **Extrusão termoplástica de farinha de arroz com café torrado e moído e sua utilização em produtos de panificação**. Tese (Doutorado em Ciência dos Alimentos) – Universidade de Lavras, Minas Gerais, 2006, 116p.

SILVA, R.F. da; ASCHERI, J.L.R.; PEREIRA, R.G.F.A. Composição química de farinhas pré-cozidas por extrusão elaboradas com arroz e café torrado. **Revista do Instituto Adolfo Lutz**, v.67, n.1, p.52-58, 2008.

SILVA, F. da; ASCHERI, J.L.R. Extrusão de quirera de arroz para o uso como ingrediente alimentar. **Brazilian Journal of food technology**, v.12, n.3, p.190-199, jul.set. 2009.



SILVEIRA, E.T.F.; TRAVAGLINI, D.A.; VITTI, P.; CAMPOS, S.D.S.; AGUIRRE, J.M.; FIGUEIREDO, I.B.; SMIROSE, 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**, Campinas, v.18, n.4, p.543-561, 1981.

SMITH, D. Characterization of Lactose by Helium Pycnometer. In Stephens, K. (ed.), **The Microreport: News and Ideas for Decision Makers**, 2<sup>nd</sup> Quarter, v.7, n.2, Micromeritics Instrument Corporation, USA, 1996.

STEVANATO, F.B.; PETENUCCI, M.E.; MATSUSHITA, M.; MESOMO, M.C.; SOUZA, N.E. de; VISENTAINER, J.E.L.; ALMEIDA, V.V.; VISENTAINER, J.V. Avaliação química e sensorial da farinha de resíduos de tilápias na forma de sopa. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.27, n.3, p.567-571, jul./set.2007.

TABELA BRASILEIRA DE COMPOSIÇÃO DE ALIMENTOS (TACO), 2<sup>a</sup> edição, Unicamp, Campinas-SP, 2006.

THYMI, S.; KROKIDA, M.K.; PAPPA, A.; MAROULIS, Z.B. Structural properties of extruded corn starch. **Journal of Food Engineering**, n.68, p. 519-526, 2005.

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 por extrusão termoplástica. **Boletim do Centro de Pesquisas e Processamento de Alimentos**, Curitiba, v.23, n.2, p. 273-290, 2005.

VIEIRA, M. A. **Caracterização de farinhas obtidas dos resíduos da produção de palmito da palmeira-real (*Archontophoenix alexandrae*) e desenvolvimento de biscoito fibroso**. 2006.Dissertação (Mestrado em Ciência dos alimentos). Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

WANG, S. H.; ROCHA, G.O.; NASCIMENTO, T.P. do; ASCHERI, J.L.R.; OLIVEIRA, A. Características sensoriais de bolos esponjas preparados com farinha de trigo e soja extrudadas em diferentes parâmetros de extrusão. **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v.16, n.4, p. 369-376, out./dez. 2005.

WEBB, P.A., ORR, C. **Analytical Methods in Fine Particle Technology**. Micromeritics Instrument Corporation, USA, 301 pg., 1997.

WEBB, P.A. **Volume and density determinations for particle technologists**. Micromeritics Instrument Corporation, USA, 16p., 2001.

WODARCZYK-STASIAK, M.; JAMROZ, J. Specific surface area and porosity of starch extrudates determined from nitrogen adsorption data. **Journal of Food Engineering**, n. 93, p. 379-385, 2009.

YANNIOTIS, S.; PETRAKI, A.; SOUMPASI, E. Effect of pectin and wheat fibers on quality attributes of extruded corn starch. **Journal of Food Engineering**, n.80, p. 594-599, 2007.

## CONCLUSÕES FINAIS

Pôde-se verificar que, o descascamento dos grãos de feijão do tipo Carioca foi eficaz, havendo também redução no tempo de maceração, não influenciando de forma significativa a redução de minerais, em especial ferro e zinco. Foi possível concluir que a elaboração tanto de *snacks* quanto de sopas foi favorável, inclusive com amostras contendo até 45% de feijão. As características desses produtos se assemelharam aos comercialmente disponíveis. As matérias-primas utilizadas (grits de milho e feijão Carioca BRS Pontal) apresentaram perfil nutricional satisfatório para a elaboração dos extrudados. O processamento por extrusão termoplástica não foi capaz de alterar significativamente o valor nutritivo tanto dos *snacks* quanto das sopas. A utilização do feijão BRS Pontal foi favorável, como complemento do teor de proteínas produto final, promovendo aumento também do conteúdo de ferro, zinco, manganês, cálcio, cobre e aminoácidos essenciais.

## **ANEXOS**



## ANEXO 2 Estudo sobre os produtos

Nome: \_\_\_\_\_

Data: \_\_\_\_\_

1. **Você gosta de snacks/sopas?**

sim

não

2. **Você consome snacks/sopas?**

sim

não

3. **Qual a frequência?**

nunca

raramente

esporadicamente

frequentemente

diariamente

4. **Idade:** \_\_\_\_\_ anos

5. **Grau de instrução:**

1º grau  
incompleto

1º grau

2º grau  
incompleto

2º grau

universitário  
incompleto

universitário

pós-graduação

6. **Você gosta de experimentar novos produtos?**

Definitivamente  
NÃO

Definitivamente  
SIM

## ANEXO 3 Parecer do Comitê de Ética em Pesquisa do CEUNES



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO  
CENTRO UNIVERSITÁRIO NORTE DO ESPÍRITO SANTO  
COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA  
COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA – CEP

**Parecer nº 002/2010 CEPCEUNES/UFES.**

São Mateus, 26 de fevereiro de 2010.

Projeto de Pesquisa nº 001/2010

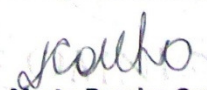
**Título:** "Desenvolvimento e Caracterização Físico-química de Extrusados de Milho e Feijão"

Senhores Pesquisadores, José Luis Ramires Ascheri e Erika Madeira Moreira da Silva

O Comitê de Ética em pesquisa do Centro Universitário Norte do Espírito Santo – CEPCEUNES/UFES, após análise em sessão ordinária em 26/02/2010, emitiu **parecer favorável** à realização deste Projeto de Pesquisa.

Lembramos que conforme exigências deste comitê, aguardamos os relatórios de andamento do mesmo a cada trimestre, obedecendo o cronograma apresentado.

Este parecer entrará em vigor na data de sua publicação

  
**Prof.ª Marta Pereira Coelho**  
Coordenadora Comitê de Ética em Pesquisa  
CEUNES/UFES – SIAPE 1560570

## ANEXO 4 Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

### 1 – Identificação do Responsável pela execução da pesquisa:

<b>DESENVOLVIMENTO E CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DE EXTRUDADOS DE MILHO E FEIJÃO</b>
Pesquisador Responsável: <b>Dr. José Luis Ramirez Ascheri</b> . Embrapa Agroindústria de Alimentos. Av. das Américas, 29501, Guaratiba, Rio de Janeiro – RJ. CEP: 23020-470. Tel: 21 3622-9796. Email: <a href="mailto:ascheri@ctaa.embrapa.br">ascheri@ctaa.embrapa.br</a>
Pesquisadora responsável: <b>MSc. Erika Madeira Moreira da Silva</b> . Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias. Alto Universitário s/nº, caixa postal 16, Guararema, Alegre, ES. CEP: 29500-000. Tel: 28 3552-8662. Email: <a href="mailto:erika.alimentos@hotmail.com">erika.alimentos@hotmail.com</a>
<b>Comitê de Ética em Pesquisa – Centro Universitário Norte do Espírito Santo</b> Rodovia BR 101 Norte, Km 60 - Bairro Litorâneo - São Mateus - ES - Cep: 29.932-540 Tel: +55 (27) 3312-1519 – email: <a href="mailto:cep@ceunes.ufes.br">cep@ceunes.ufes.br</a>

### 2 – Informações ao participante ou responsável:

- 1) Você está sendo convidado a participar de uma pesquisa intitulada **DESENVOLVIMENTO E CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DE EXTRUDADOS DE MILHO E FEIJÃO** na área de Ciência e Tecnologia de Alimentos – Desenvolvimento de produtos – Análise Sensorial.
- 2) A pesquisa terá como objetivo geral a avaliação sensorial (degustação) de snacks (biscoitos salgados) e sopas, produzidos com a mistura de milho e feijão do tipo “Carioca”.
- 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 snacks (biscoitos salgados) e de sopas, juntamente com água mineral e uma ficha para avaliação e opinião dos produtos degustados.
  - 3.2) Esta avaliação será realizada em dois dias distintos e não consecutivos, a serem definidos e divulgados. As degustações serão realizadas no Laboratório de Análise Sensorial da Universidade Federal do Espírito Santo – Centro de Ciências Agrárias – Alegre, ES.
- 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 tanto os snacks, quanto as sopas instantâneas serão produzidos com alto rigor de controle de qualidade, por profissionais habilitados, utilizando matérias-primas confiáveis de empresas renomadas no mercado. As sopas serão elaboradas utilizando água potável, previamente fervida, com temperos obtidos no

mercado, lacrados, selados, dentro do prazo de validade. Ou seja, toda a linha de produção será cuidadosamente verificada para que possamos servir produtos aptos para o consumo.

- 9) Garantimos que as matérias-primas utilizadas não oferecem nenhum risco de alergia ou toxicidade ao serem consumidos.
  - 10) Utilizaremos como ingrediente no tempero dos snacks, aroma artificial de queijo. Caso apresente alguma intolerância/alergia a este tipo de produto, por favor, procure o pesquisador responsável antes de começar o teste.
  - 11) Serão garantidos o sigilo e privacidade aos participantes [ou seu responsável], 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, além de palestras realizadas no Bairro em questão.
- Confirmando ter sido informado e esclarecido sobre o conteúdo deste termo. A minha assinatura abaixo indica que concordo em participar desta pesquisa e por isso dou meu livre consentimento.

Alegre, \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 2010.

Nome do participante: \_\_\_\_\_

Assinatura do participante: \_\_\_\_\_

Assinatura do pesquisador responsável pela execução do estudo: \_\_\_\_\_

Telefone do pesquisador responsável: 28 – 3552-8662



## ANEXO 5 Ficha técnica de preparo das sopas

<b>Ingrediente</b>	<b>Quantidade (mL/g)</b>	<b>Medida Caseira</b>
Farinha pré-gelatinizada de milho e feijão	110 g	1 xícara de chá média
Água	1000 mL	4 copos duplos
Óleo vegetal	20 g	2 colheres de sopa cheias
Tomate	50 g	½ unidade média
Cebola	20 g	2 colheres de sopa cheia picada
Alho	5 g	2 dentes
Sal	6 g	1 colher de chá

### **Modo de preparo:**

Aqueça a água até 80°C. Em um recipiente dilua a quantidade de farinha com a água aquecida, mexendo sempre para não formar grumos. Reserve. Enquanto isso prepare um refogado com o óleo vegetal, tomate, cebola e o alho. Despeje a mistura da farinha na panela com o refogado e acrescente o sal. Deixe aquecer apenas para que a preparação interaja com o tempero acrescentado. Não é necessário cozinhar. Desligue o fogo e sirva.

## ANEXO 6 Ficha para a avaliação da aceitabilidade de sopas

Nome: \_\_\_\_\_

Data: \_\_\_\_\_

➤ Você vai receber uma amostra de **sopa**. Por favor, marque na escala abaixo quanto a **APARÊNCIA** da mesma.

<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"/>
Extremamente ruim	Muito ruim	Moderadamente ruim	Ligeiramente ruim	Nem bom nem ruim	Ligeiramente bom	Moderadamente bom	Muito bom	Excelente

➤ Por favor, marque na escala abaixo o quanto você gostou do **SABOR** da sopa.

<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 nem desgostei	Gostei ligeiramente	Gostei moderadamente	Gostei muito	Gostei extremamente

➤ Por favor, prove-a (o) e marque na escala abaixo o quanto **VOCÊ GOSTOU** do 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 nem desgostei	Gostei ligeiramente	Gostei moderadamente	Gostei muito	Gostei extremamente

**O que você mais gostou neste produto?**

\_\_\_\_\_

**O que você mais desgostou neste produto?**

\_\_\_\_\_

➤ Você compraria este 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"/>
Certamente NÃO compraria								Certamente Compraria

**ANEXO 7 Análise de variância do modelo quadrático aplicado para a variável resposta Índice de Expansão Radial (IER)**

<b>Fatores</b>	<b>Soma quadrática</b>	<b>Graus de liberdade</b>	<b>Média quadrática</b>	<b>F</b>	<b>p</b>
<b>(1)X1 (L)</b>	90,782	1	90,7824	150,382	0,006584
<b>X1 (Q)</b>	53,593	1	53,5930	88,778	0,011077
<b>(2)X2 (L)</b>	659,029	1	659,0287	1091,691	0,000915
<b>X2 (Q)</b>	90,417	1	90,4168	149,777	0,006610
<b>(3)X3 (L)</b>	386,738	1	386,7377	640,637	0,001557
<b>X3 (Q)</b>	14,424	1	14,4236	23,893	0,039397
<b>1L x 2L</b>	0,104	1	0,1044	0,173	0,717888
<b>1L x 3L</b>	35,364	1	35,3643	58,581	0,016645
<b>2L x 3L</b>	37,734	1	37,7336	62,506	0,015624
<b>Falta de ajuste</b>	43,282	5	8,6563	14,339	0,066471
<b>Erro puro</b>	1,207	2	0,6037		
<b>Total</b>	1367,045	16			

X1: rotação do parafuso (rpm); X2: umidade (%); X3: feijão (%). L: linear; Q: quadrático

**ANEXO 8 Análise de variância do modelo quadrático aplicado para a variável resposta Índice de Expansão Longitudinal (IEL)**

<b>Fatores</b>	<b>Soma quadrática</b>	<b>Graus de liberdade</b>	<b>Média quadrática</b>	<b>F</b>	<b>p</b>
<b>(1)X1 (L)</b>	0,000648	1	0,000648	0,002420	0,965239
<b>X1 (Q)</b>	0,550332	1	0,550332	2,056292	0,288004
<b>(2)X2 (L)</b>	1,542424	1	1,542424	5,763200	0,138389
<b>X2 (Q)</b>	1,768623	1	1,768623	6,608380	0,123833
<b>(3)X3 (L)</b>	0,022950	1	0,022950	0,085753	0,797235
<b>X3 (Q)</b>	0,004989	1	0,004989	0,018641	0,903904
<b>1L x 2L</b>	0,475313	1	0,475313	1,775984	0,314189
<b>1L x 3L</b>	0,391613	1	0,391613	1,463243	0,349995
<b>2L x 3L</b>	0,248513	1	0,248513	0,928556	0,436911
<b>Falta de ajuste</b>	0,690259	5	0,138052	0,515824	0,761919
<b>Erro puro</b>	0,535267	2	0,267633		
<b>Total</b>	5,995224	16			

X1: rotação do parafuso (rpm); X2: umidade (%); X3: feijão (%). L: linear; Q: quadrático

**ANEXO 9 Análise de variância do modelo quadrático aplicado para a variável resposta Índice de Expansão Volumétrico (IEV)**

<b>Fatores</b>	<b>Soma quadrática</b>	<b>Graus de liberdade</b>	<b>Média quadrática</b>	<b>F</b>	<b>p</b>
<b>(1)X1 (L)</b>	210,425	1	210,425	3,72916	0,193211
<b>X1 (Q)</b>	66,514	1	66,514	1,17877	0,391046
<b>(2)X2 (L)</b>	1112,592	1	1112,592	19,71744	0,047158
<b>X2 (Q)</b>	75,001	1	75,001	1,32917	0,368138
<b>(3)X3 (L)</b>	2320,523	1	2320,523	41,12448	0,023464
<b>X3 (Q)</b>	77,285	1	77,285	1,36965	0,362453
<b>1L x 2L</b>	183,649	1	183,649	3,25463	0,212991
<b>1L x 3L</b>	8,467	1	8,467	0,15005	0,735827
<b>2L x 3L</b>	143,567	1	143,567	2,54430	0,251743
<b>Falta de ajuste</b>	375,890	5	75,178	1,33231	0,481260
<b>Erro puro</b>	112,854	2	56,427		
<b>Total</b>	4760,003	16			

X1: rotação do parafuso (rpm); X2: umidade (%); X3: feijão (%). L: linear; Q: quadrático

**ANEXO 10 Análise de variância do modelo quadrático aplicado para a variável resposta Densidade aparente (DAP)**

<b>Fatores</b>	<b>Soma quadrática</b>	<b>Graus de liberdade</b>	<b>Média quadrática</b>	<b>F</b>	<b>p</b>
<b>(1)X1 (L)</b>	0,000065	1	0,000065	0,2051	0,694994
<b>X1 (Q)</b>	0,003012	1	0,003012	9,4435	0,091579
<b>(2)X2 (L)</b>	0,238706	1	0,238706	748,3684	0,001334
<b>X2 (Q)</b>	0,016780	1	0,016780	52,6083	0,018483
<b>(3)X3 (L)</b>	0,114423	1	0,114423	358,7281	0,002776
<b>X3 (Q)</b>	0,000181	1	0,000181	0,5682	0,529642
<b>1L x 2L</b>	0,000004	1	0,000004	0,0122	0,922266
<b>1L x 3L</b>	0,000343	1	0,000343	1,0768	0,408407
<b>2L x 3L</b>	0,072254	1	0,072254	226,5225	0,004386
<b>Falta de ajuste</b>	0,012042	5	0,002408	7,5508	0,121068
<b>Erro puro</b>	0,000638	2	0,000319		
<b>Total</b>	0,464742	16			

X1: rotação do parafuso (rpm); X2: umidade (%); X3: feijão (%). L: linear; Q: quadrático

**ANEXO 11 Análise de variância do modelo quadrático aplicado para a variável resposta Vazão**

<b>Fatores</b>	<b>Soma quadrática</b>	<b>Graus de liberdade</b>	<b>Média quadrática</b>	<b>F</b>	<b>p</b>
<b>(1)X1 (L)</b>	566,160	1	566,1603	3,176324	0,216658
<b>X1 (Q)</b>	0,014	1	0,0142	0,000080	0,993681
<b>(2)X2 (L)</b>	81,565	1	81,5654	0,457605	0,568491
<b>X2 (Q)</b>	21,636	1	21,6361	0,121385	0,760794
<b>(3)X3 (L)</b>	104,606	1	104,6060	0,586870	0,523697
<b>X3 (Q)</b>	78,322	1	78,3221	0,439410	0,575583
<b>1L x 2L</b>	0,022	1	0,0220	0,000124	0,992136
<b>1L x 3L</b>	22,178	1	22,1778	0,124424	0,757991
<b>2L x 3L</b>	11,810	1	11,8098	0,066256	0,820930
<b>Falta de ajuste</b>	244,335	5	48,8669	0,274158	0,894538
<b>Erro puro</b>	356,488	2	178,2439		
<b>Total</b>	1524,468	16			

X1: rotação do parafuso (rpm); X2: umidade (%); X3: feijão (%). L: linear; Q: quadrático

**ANEXO 12 Análise de variância do modelo quadrático aplicado para a variável resposta Torque**

<b>Fatores</b>	<b>Soma quadrática</b>	<b>Graus de liberdade</b>	<b>Média quadrática</b>	<b>F</b>	<b>p</b>
<b>(1)X1 (L)</b>	354,203	1	354,2031	1585,984	0,000630
<b>X1 (Q)</b>	12,065	1	12,0653	54,024	0,018012
<b>(2)X2 (L)</b>	94,454	1	94,4543	422,930	0,002356
<b>X2 (Q)</b>	0,126	1	0,1261	0,564	0,530834
<b>(3)X3 (L)</b>	87,231	1	87,2310	390,587	0,002550
<b>X3 (Q)</b>	0,003	1	0,0034	0,015	0,913444
<b>1L x 2L</b>	124,031	1	124,0313	555,364	0,001796
<b>1L x 3L</b>	2,531	1	2,5312	11,334	0,078042
<b>2L x 3L</b>	1,531	1	1,5313	6,856	0,120129
<b>Falta de ajuste</b>	741,636	5	148,3272	664,152	0,001504
<b>Erro puro</b>	0,447	2	0,2233		
<b>Total</b>	1419,380	16			

X1: rotação do parafuso (rpm); X2: umidade (%); X3: feijão (%). L: linear; Q: quadrático



**ANEXO 13 Análise de variância do modelo quadrático aplicado para a variável resposta Energia mecânica específica (EME)**

<b>Fatores</b>	<b>Soma quadrática</b>	<b>Graus de liberdade</b>	<b>Média quadrática</b>	<b>F</b>	<b>p</b>
<b>(1)X1 (L)</b>	9,2551	1	9,2551	0,448574	0,571984
<b>X1 (Q)</b>	43,9162	1	43,9162	2,128524	0,281971
<b>(2)X2 (L)</b>	8,8988	1	8,8988	0,431307	0,578814
<b>X2 (Q)</b>	168,8577	1	168,8577	8,184167	0,103553
<b>(3)X3 (L)</b>	59,5850	1	59,5850	2,887957	0,231345
<b>X3 (Q)</b>	4,9706	1	4,9706	0,240915	0,672117
<b>1L x 2L</b>	39,1613	1	39,1613	1,898062	0,302200
<b>1L x 3L</b>	32,3208	1	32,3208	1,566520	0,337256
<b>2L x 3L</b>	12,9541	1	12,9541	0,627855	0,511202
<b>Falta de ajuste</b>	21,9975	5	4,3995	0,213235	0,928702
<b>Erro puro</b>	41,2645	2	20,6322		
<b>Total</b>	454,5894	16			

X1: rotação do parafuso (rpm); X2: umidade (%); X3: feijão (%). L: linear; Q: quadrático

**ANEXO 14 Análise de variância do modelo quadrático aplicado para a variável resposta Índice de Solubilidade em Água (ISA)**

<b>Fatores</b>	<b>Soma quadrática</b>	<b>Graus de liberdade</b>	<b>Média quadrática</b>	<b>F</b>	<b>p</b>
<b>(1)X1 (L)</b>	5,2597	1	5,25973	14,7208	0,061710
<b>X1 (Q)</b>	0,3663	1	0,36627	1,0251	0,417877
<b>(2)X2 (L)</b>	0,7081	1	0,70812	1,9819	0,294505
<b>X2 (Q)</b>	6,5812	1	6,58116	18,4191	0,050235
<b>(3)X3 (L)</b>	51,2911	1	51,29107	143,5518	0,006894
<b>X3 (Q)</b>	2,6511	1	2,65105	7,4197	0,112487
<b>1L x 2L</b>	0,5460	1	0,54601	1,5282	0,341872
<b>1L x 3L</b>	0,2415	1	0,24151	0,6759	0,497408
<b>2L x 3L</b>	13,8075	1	13,80751	38,6440	0,024914
<b>Falta de ajuste</b>	15,5958	5	3,11915	8,7298	0,105959
<b>Erro puro</b>	0,7146	2	0,35730		
<b>Total</b>	101,1420	16			

X1: rotação do parafuso (rpm); X2: umidade (%); X3: feijão (%). L: linear; Q: quadrático

**ANEXO 15 Análise de variância do modelo quadrático aplicado para a variável resposta Índice de Absorção de Água (IAA)**

<b>Fatores</b>	<b>Soma quadrática</b>	<b>Graus de liberdade</b>	<b>Média quadrática</b>	<b>F</b>	<b>p</b>
<b>(1)X1 (L)</b>	0,107940	1	0,107940	0,841750	0,455750
<b>X1 (Q)</b>	0,099935	1	0,099935	0,779318	0,470473
<b>(2)X2 (L)</b>	0,578195	1	0,578195	4,508930	0,167696
<b>X2 (Q)</b>	0,036629	1	0,036629	0,285640	0,646487
<b>(3)X3 (L)</b>	0,001588	1	0,001588	0,012384	0,921554
<b>X3 (Q)</b>	0,096214	1	0,096214	0,750307	0,477689
<b>1L x 2L</b>	0,387200	1	0,387200	3,019496	0,224401
<b>1L x 3L</b>	0,281250	1	0,281250	2,193267	0,276782
<b>2L x 3L</b>	0,192200	1	0,192200	1,498830	0,345492
<b>Falta de ajuste</b>	0,766615	5	0,153323	1,195656	0,513965
<b>Erro puro</b>	0,256467	2	0,128233		
<b>Total</b>	2,725776	16			

X1: rotação do parafuso (rpm); X2: umidade (%); X3: feijão (%). L: linear; Q: quadrático

**ANEXO 16 Análise de variância do modelo quadrático aplicado para a variável resposta Viscosidade máxima a 25°C (V25)**

<b>Fatores</b>	<b>Soma quadrática</b>	<b>Graus de liberdade</b>	<b>Média quadrática</b>	<b>F</b>	<b>p</b>
<b>(1)X1 (L)</b>	779,9	1	779,9	3,4612	0,203896
<b>X1 (Q)</b>	237,2	1	237,2	1,0525	0,412808
<b>(2)X2 (L)</b>	148970,9	1	148970,9	661,1133	0,001509
<b>X2 (Q)</b>	16320,6	1	16320,6	72,4287	0,013527
<b>(3)X3 (L)</b>	7821,3	1	7821,3	34,7098	0,027622
<b>X3 (Q)</b>	76971,9	1	76971,9	341,5912	0,002915
<b>1L x 2L</b>	12880,1	1	12880,1	57,1603	0,017049
<b>1L x 3L</b>	1225,1	1	1225,1	5,4369	0,144972
<b>2L x 3L</b>	120295,1	1	120295,1	533,8541	0,001868
<b>Falta de ajuste</b>	112395,4	5	22479,1	99,7592	0,009954
<b>Erro puro</b>	450,7	2	225,3		
<b>Total</b>	497469,5	16			

X1: rotação do parafuso (rpm); X2: umidade (%); X3: feijão (%). L: linear; Q: quadrático

**ANEXO 17 Análise de variância do modelo quadrático aplicado para a variável resposta Viscosidade máxima a 95°C (VMax)**

<b>Fatores</b>	<b>Soma quadrática</b>	<b>Graus de liberdade</b>	<b>Média quadrática</b>	<b>F</b>	<b>p</b>
<b>(1)X1 (L)</b>	2321,01	1	2321,01	16,0809	0,056927
<b>X1 (Q)</b>	966,84	1	966,84	6,6987	0,122458
<b>(2)X2 (L)</b>	22134,16	1	22134,16	153,3545	0,006458
<b>X2 (Q)</b>	72,63	1	72,63	0,5032	0,551637
<b>(3)X3 (L)</b>	44410,24	1	44410,24	307,6922	0,003234
<b>X3 (Q)</b>	1213,76	1	1213,76	8,4094	0,101186
<b>1L x 2L</b>	153,13	1	153,13	1,0609	0,411273
<b>1L x 3L</b>	780,12	1	780,12	5,4050	0,145650
<b>2L x 3L</b>	1378,13	1	1378,13	9,5482	0,090707
<b>Falta de ajuste</b>	5430,36	5	1086,07	7,5248	0,121450
<b>Erro puro</b>	288,67	2	144,33		
<b>Total</b>	80082,94	16			

X1: rotação do parafuso (rpm); X2: umidade (%); X3: feijão (%). L: linear; Q: quadrático

**ANEXO 18 Análise de variância do modelo quadrático aplicado para a variável resposta Viscosidade Final (VF)**

<b>Fatores</b>	<b>Soma quadrática</b>	<b>Graus de liberdade</b>	<b>Média quadrática</b>	<b>F</b>	<b>p</b>
<b>(1)X1 (L)</b>	26,8	1	26,8	0,00712	0,940427
<b>X1 (Q)</b>	5440,8	1	5440,8	1,44652	0,352154
<b>(2)X2 (L)</b>	90858,7	1	90858,7	24,15598	0,038992
<b>X2 (Q)</b>	189,6	1	189,6	0,05040	0,843213
<b>(3)X3 (L)</b>	171416,4	1	171416,4	45,57330	0,021246
<b>X3 (Q)</b>	2478,9	1	2478,9	0,65904	0,502156
<b>1L x 2L</b>	12,5	1	12,5	0,00332	0,959271
<b>1L x 3L</b>	684,5	1	684,5	0,18198	0,711205
<b>2L x 3L</b>	1860,5	1	1860,5	0,49464	0,554713
<b>Falta de ajuste</b>	6470,3	5	1294,1	0,34404	0,854608
<b>Erro puro</b>	7522,7	2	3761,3		
<b>Total</b>	289970,2	16			

X1: rotação do parafuso (rpm); X2: umidade (%); X3: feijão (%). L: linear; Q: quadrático

**ANEXO 19 Análise de variância do modelo quadrático aplicado para a variável resposta Densidade absoluta ( $\rho_{abs}$ )**

<b>Fatores</b>	<b>Soma quadrática</b>	<b>Graus de liberdade</b>	<b>Média quadrática</b>	<b>F</b>	<b>p</b>
<b>(1)X1 (L)</b>	0,000046	1	0,000046	34,3537	0,027897
<b>X1 (Q)</b>	0,000001	1	0,000001	0,6172	0,514372
<b>(2)X2 (L)</b>	0,000051	1	0,000051	38,1931	0,025197
<b>X2 (Q)</b>	0,000001	1	0,000001	0,6172	0,514372
<b>(3)X3 (L)</b>	0,000167	1	0,000167	125,5885	0,007869
<b>X3 (Q)</b>	0,000000	1	0,000000	0,0591	0,830532
<b>1L x 2L</b>	0,000055	1	0,000055	41,3438	0,023344
<b>1L x 3L</b>	0,000036	1	0,000036	27,0937	0,034984
<b>2L x 3L</b>	0,000021	1	0,000021	15,8438	0,057707
<b>Falta de ajuste</b>	0,000147	5	0,000029	22,0074	0,044032
<b>Erro puro</b>	0,000003	2	0,000001		
<b>Total</b>	0,000528	16			

X1: rotação do parafuso (rpm); X2: umidade (%); X3: feijão (%). L: linear; Q: quadrático

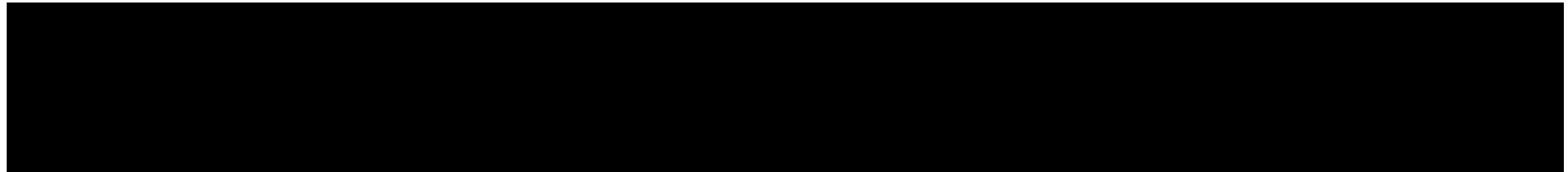
**ANEXO 20 Análise de variância do modelo quadrático aplicado para a variável resposta Volume total de poros (TP)**

Fatores	Soma quadrática	Graus de liberdade	Média quadrática	F	p
<b>(1)X1 (L)</b>	0,000012	1	0,000012	37,1570	0,025873
<b>X1 (Q)</b>	0,000000	1	0,000000	0,1083	0,773328
<b>(2)X2 (L)</b>	0,000008	1	0,000008	25,0782	0,037638
<b>X2 (Q)</b>	0,000001	1	0,000001	1,8440	0,307386
<b>(3)X3 (L)</b>	0,000047	1	0,000047	141,8474	0,006976
<b>X3 (Q)</b>	0,000001	1	0,000001	1,8440	0,307386
<b>1L x 2L</b>	0,000010	1	0,000010	30,3750	0,031380
<b>1L x 3L</b>	0,000010	1	0,000010	30,3750	0,031380
<b>2L x 3L</b>	0,000006	1	0,000006	18,3750	0,050347
<b>Falta de ajuste</b>	0,000028	5	0,000006	16,7694	0,057230
<b>Erro puro</b>	0,000001	2	0,000000		
<b>Total</b>	0,000124	16			

X1: rotação do parafuso (rpm); X2: umidade (%); X3: feijão (%). L: linear; Q: quadrático

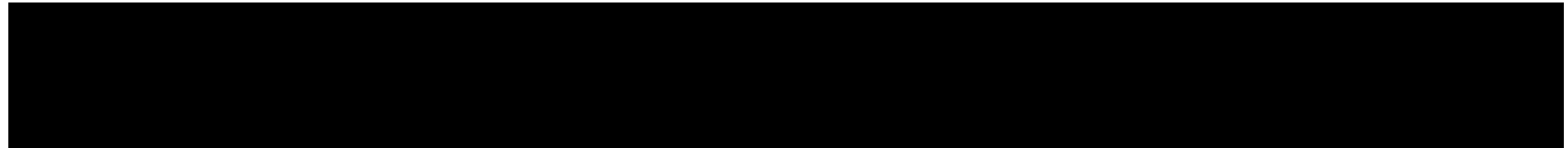


## ANEXO 21 Análise de variância para a composição centesimal



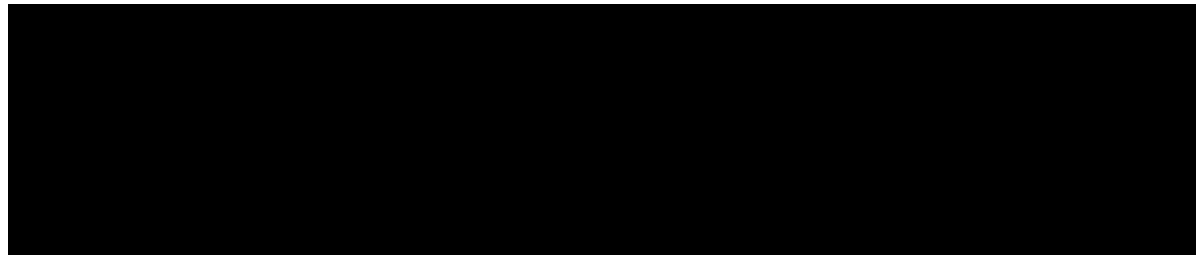
SQ: soma quadrática; MQ: média quadrática

## ANEXO 22 Análise de variância para minerais



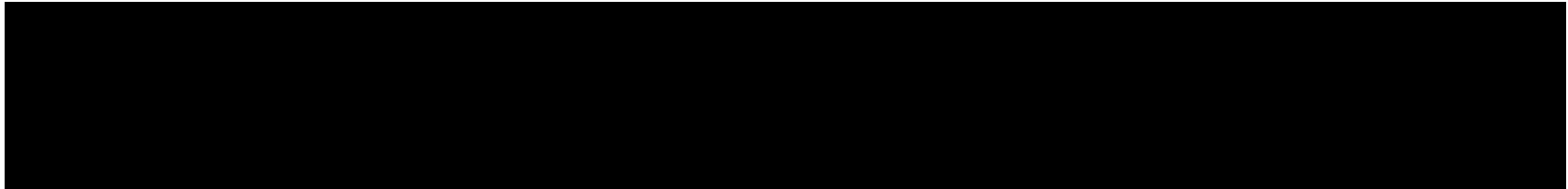
SQ: soma quadrática; MQ: média quadrática

**ANEXO 23 Análise de variância para textura instrumental**



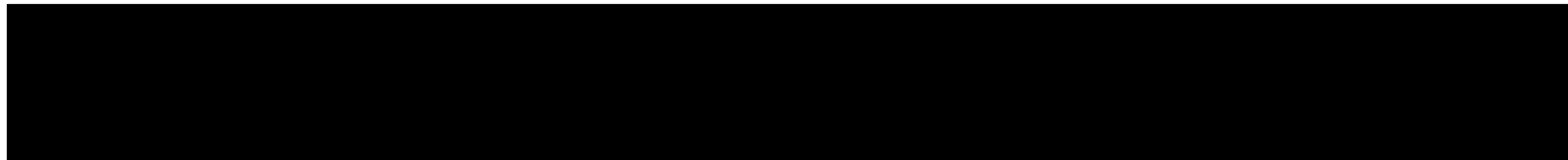
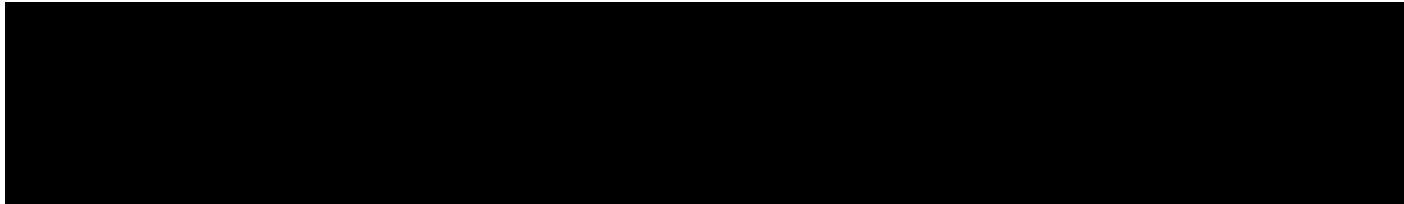
SQ: soma quadrática; MQ: média quadrática

**ANEXO 24 Análise de variância para avaliação sensorial de *snacks***



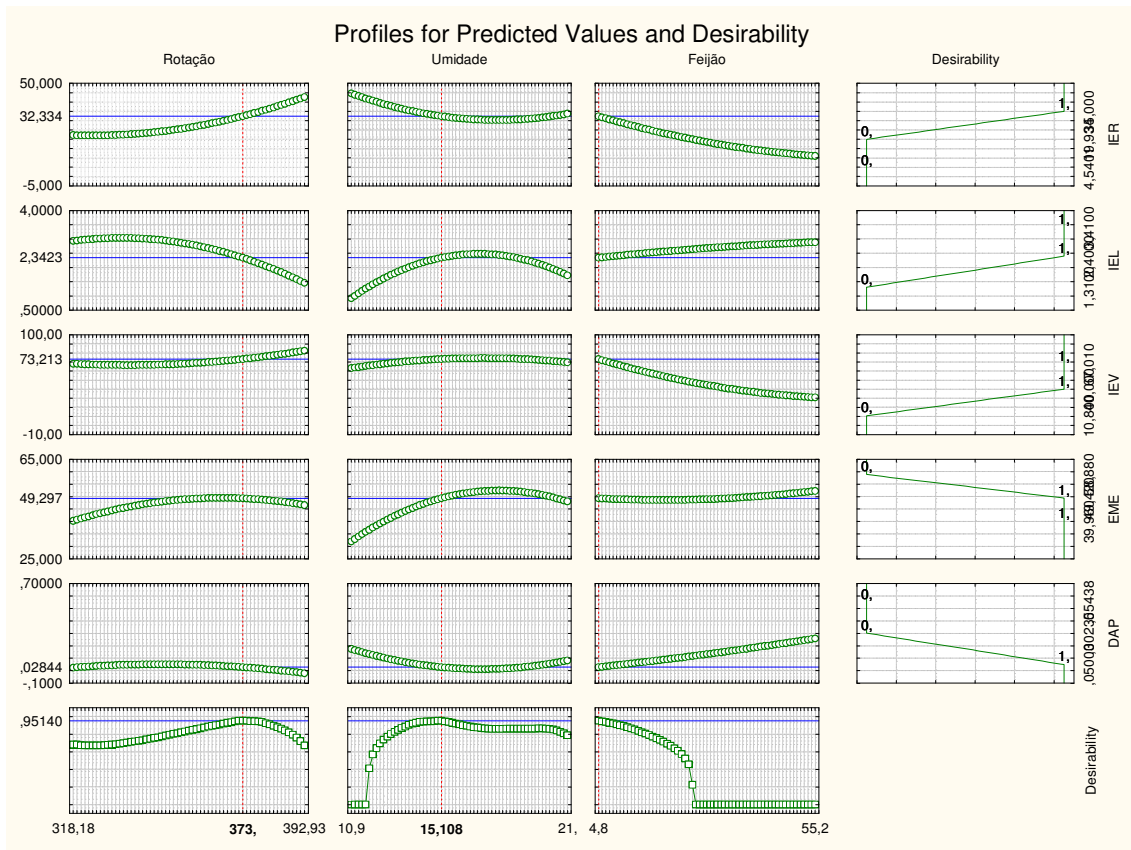
SQ: soma quadrática; MQ: média quadrática

**ANEXO 25 Análise de variância para avaliação sensorial de sopas**



SQ: soma quadrática; MQ: média quadrática

## ANEXO 26 Resultados gráficos dos pontos ótimos para a elaboração de *snacks*



## ANEXO 27 Resultados gráficos dos pontos ótimos para a elaboração de farinhas pré-gelatinizadas

