



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E CULTURA  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUÍ – UFPI  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO - PRPG  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ALIMENTOS E NUTRIÇÃO - PPGAN

LÍVIA OLIVEIRA DA SILVA BONFIM

**EFEITO DOS PARÂMETROS OPERACIONAIS DA EXTRUSÃO  
TERMOPLÁSTICA NAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DE FARINHAS  
DE COTILÉDONE DE FEIJÃO-CAUPI (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.)**

Teresina - PI  
2016

LÍVIA OLIVEIRA DA SILVA BONFIM

**EFEITO DOS PARÂMETROS OPERACIONAIS DA EXTRUSÃO  
TERMOPLÁSTICA NAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DE FARINHAS  
DE COTILÉDONE DE FEIJÃO-CAUPI (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Alimentos e Nutrição da Universidade Federal do Piauí-UFPI, como requisito para obtenção do título de Mestre em Alimentos e Nutrição.

**Linha de pesquisa:** Qualidade de Alimentos

**Orientador:** Prof. Dr. Kaesel Damasceno e Silva

**Coorientador:** Dr. Jorge Minoru Hashimoto

LÍVIA OLIVEIRA DA SILVA BONFIM

**EFEITO DOS PARÂMETROS OPERACIONAIS DA EXTRUSÃO  
TERMOPLÁSTICA NAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DE FARINHAS  
DE COTILÉDONE DE FEIJÃO-CAUPI (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Alimentos e Nutrição como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Alimentos e Nutrição.

**Linha de pesquisa:** Qualidade de Alimentos

**Orientador:** Prof. Dr. Kaesel Damasceno e Silva

**Coorientador:** Dr. Jorge Minoru Hashimoto

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. Kaesel Jackson Damasceno e Silva  
(Orientador/Presidente)

---

Prof. Dr. José Alfredo Gomes Arêas – USP  
1º Examinador

---

Profa. Dra. Regilda Saraiva dos Reis Moreira-Araújo  
2º Examinador

*A Deus, por me fazer refletir e aprender  
a todo o momento, dedico.*

## AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom da vida e por ser o meu alicerce em todas as horas. Glória a ti Senhor!

Agradeço à UFPI, à coordenação e a todos os professores do PPGAN por me ajudarem ao longo desta caminhada. Obrigada!

À Embrapa Meio-Norte e ao Laboratório de Cereais da Unicamp/SP por me disponibilizar toda a estrutura necessária para a execução do meu trabalho. Muito obrigada!

Agradeço ao IFMA/Câmpus Codó por me conceder afastamento para o mestrado, essencial para que eu pudesse desempenhar melhor minhas atividades. Obrigada!

Ao meu orientador Prof. Dr. Kaesel Jackson Damasceno e Silva pela orientação e ao meu coorientador Dr. Jorge Minoru Hashimoto pela orientação e pelos conhecimentos e esclarecimentos compartilhados na área de extrusão. Obrigada.

Ao Dr. José Alfredo Gomes Arêas e à Prof<sup>a</sup> Dra. Regilda Saraiva dos Reis Moreira-Araújo pelo tempo desprendido na avaliação do meu trabalho e pelas valiosas considerações dadas. Muito obrigada!

Aos técnicos laboratoriais do Laboratório de Bromatologia da Embrapa Meio-Norte, Luis José Duarte Franco e Antônio Carlos dos Santos, por me acolherem, por me ensinarem e me auxiliarem em todas as análises, pelo apoio, incentivo e força, pelas brincadeiras, por tornar meus dias mais leves. Vocês são maravilhosos, muito obrigada por tudo!

À técnica do Laboratório de mel, Lêda que também me acolheu para que eu pudesse aprender algumas análises. Obrigada!

Ao Prof. Msc. Carlos Humberto Aires Matos Filho que mesmo sem me conhecer, atendeu ao meu pedido de ajuda, sendo essencial na confecção deste trabalho. Muito obrigada!

Ao Dr. Valdenir Queiroz Ribeiro, estatístico da Embrapa Meio-Norte, pelos esclarecimentos e incentivo dados nos momentos em que eu o procurei, mas, sobretudo, pela educação e serenidade com que me tratou.

Ao Prof. Dr. Marcio Schmiele por estar envolvido na elaboração dos produtos estudados, pela disponibilidade e disposição em me apresentar toda a estrutura da Faculdade de Engenharia de Alimentos (FEA) na Unicamp, da ajuda ao solucionar dúvidas pertinentes, além da gentileza com que sempre me tratou. Obrigada!

Aos meus maravilhosos pais, Luís e Ioneide, pelo amor, incentivo constante e por estarem sempre comigo. Amooo vocês!

Ao meu esposo Jailon pelo amor, carinho, pela companhia nos momentos felizes e de dificuldades, pela compreensão e paciência de Jó. Amo-te!

Aos meus irmãos pelo apoio e paciência nos momentos em que precisei. Obrigada! Aos meus colegas de mestrado pelos encontros, momentos de descontração, pela amizade, apoio e carinho. Vocês foram muito importantes nessa jornada!

Agradeço às minhas amigas e professoras do IFMA-Câmpus Codó, Carlyanne e Adriana, pela amizade, carinho e apoio em todas as horas. Vocês são muito especiais!

À dona Maysa e seu Osvaldo, pessoas maravilhosas da Nutrição/UFPI, que fazem toda a diferença quando estamos por lá precisando de algum auxílio ou de uma palavra amiga!

A todos aqueles que direta ou indiretamente fizeram deste sonho uma realidade, o meu **MUITO OBRIGADA!**

*“Vinde a mim todos os que estais cansados e sobrecarregados, e eu vos aliviarei” (Mt 11:28).*

## RESUMO

BONFIM, L. O. S. **Efeito dos parâmetros operacionais da extrusão termoplástica nas características físico-químicas de farinhas de cotilédone de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.)**. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Alimentos e Nutrição, Universidade Federal do Piauí, Teresina/PI, 2016.

A tecnologia de extrusão permite o emprego de matérias-primas para transformação em alimentos industrializados prontos para o consumo, convenientes, de maior vida útil e de grande aceitação pelo público consumidor, como é o caso dos *snacks* e cereais matinais. *Snacks* extrusados foram preparados a partir de farinha de cotilédone de feijão-caupi (FCFC), das cultivares BRS Guariba (BRSG) e BRS Novaera (BRSN), em extrusora dupla rosca. O efeito da temperatura de extrusão na 4ª zona (124; 130; 145; 160 e 166°C) e do teor de umidade da farinha “in natura” (16,16; 17; 19; 21 e 21,84%) sobre as características químicas dos extrusados foi investigado utilizando-se a metodologia de superfície de resposta com delineamento do tipo central composto rotacional (DCCR) de 2ª ordem ( $2^2$ ), totalizando 12 tratamentos. Os *snacks* elaborados e as FCFC “in natura” e extrusadas foram analisados quanto à composição físico-química (umidade, cinzas, proteínas, lipídios, carboidratos, pH e acidez total titulável), mineral (Ca, Mg, P, Na, K, Fe, Zn, Cu e Mn) e valor energético total (VET). Os resultados mostraram que, na análise da composição química das FCFC extrusadas, houve diferença estatisticamente significativa ( $p < 0,05$ ) no teor de cinzas que variou de 3,48 a 4,22% (BRSG), proteínas de 27,39 a 28,91% (BRSG), lipídios de 0,15 a 0,51 % (BRSG) e de 0,11 a 0,37 % (BRSN), carboidratos de 66,68 a 69,92 % (BRSG) e de 71 a 72,18 % (BRSN), pH de 6,43 a 6,77 (BRSG) e de 6,41 a 6,75 (BRSN), acidez total titulável de 0,14 a 0,69 (BRSG) e de 0,35 a 1,21% de ácido cítrico (BRSN), valor energético total (VET) de 384,08 a 388,63 kcal (BRSG) e de 384,56 a 386,14 kcal (BRSN). Em relação ao conteúdo de minerais das FCFC extrusadas, foi observada diferença estatisticamente significativa ( $p < 0,05$ ) somente nos teores de Na (BRSG), K (BRSN) e Fe (BRSG). Em relação aos extrusados da cultivar BRS Guariba, somente os modelos de regressão obtidos para o teor de pH (91,4%) e o conteúdo de ferro (85,7%) dos *snacks* extrusados foram significativos para a temperatura do processo e/ou umidade. No caso da cultivar BRS Novaera, os modelos de regressão obtidos e que foram significativos para a temperatura do processo e/ou umidade foram o teor de cinzas (84,5%), o teor de pH (86,9%), o conteúdo de magnésio (83,3%) e zinco (83,3%). Dentre os parâmetros tecnológicos avaliados, teor de umidade da mistura e temperatura na 4ª zona, o teor de umidade foi o que exerceu efeito mais pronunciado sobre as características dos produtos obtidos das duas cultivares, seguido da temperatura de extrusão. Concluiu-se, portanto, que o emprego da farinha de cotilédone de feijão-caupi na elaboração de *snacks* é uma opção para a elaboração de um alimento extrusado, obtendo-se um produto final com boas características nutricionais.

**Palavras-chave:** *Snack*. Feijão-caupi. Extrusão termoplástica. Composição química.



## ABSTRACT

BONFIM, L. O. S. Effect of operating parameters of thermoplastic extrusion on the physicochemical characteristics of flour cowpea cotyledon (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.). Thesis (Master) – Programa de Pós-graduação em Alimentos e Nutrição, Federal University of Piauí, Teresina/PI, 2016.

The extrusion technology allows the use of raw materials for processing into processed food ready for consumption, convenient, higher service life and wide acceptance by the consumer, such as snacks and breakfast cereals. Extruded snacks were prepared from cowpea cotyledon flour (FCFC) of BRS Guariba (BRSG) and BRS Novaera (BRSN), double-screw extruder. The effect of extrusion temperature on the 4th zone (124; 130; 145; 160 and 166°C) and moisture content of the flour "in natura" (16,16; 17; 19; 21 and 21.84%) of the characteristics chemical extrudates was investigated using response surface methodology to design the central rotational type compound (CCRD) of 2nd order (22), totaling 12 treatments. Elaborate snacks and FCFC "in natura" and extruded were analyzed for chemical composition (moisture, ash, protein, lipids, carbohydrates), mineral (Ca, Mg, P, Na, K, Fe, Zn, Cu and Mn), physical chemistry (pH and titratable acidity) and total energy value (TEV). The results showed that the analysis of the chemical composition of extruded FCFC, there was a statistically significant difference ( $p < 0.05$ ) in ash content ranged from 3.48 to 4.22% (BRSG), protein to 27.39 to 28.91 % (BRSG), lipids 0.15 to 0.51 % (BRSG) and 0.11 to 0.37 % (BRSN), carbohydrates from 66.68 a 69.92 % (BRSG) and 71 to 72.18 g.100g<sup>-1</sup> (BRSN), pH 6.43 to 6.77 (BRSG) and from 6.41 to 6, 75 (BRSN), titratable acidity from 0.14 to 0.69 (BRSG) and 0.35 to 1.21% citric acid (BRSN), total energy value (TEV) from 384.08 to 388.63 kcal (BRSG) and 384.56 to 386.14 kcal (BRSN). In relation to the mineral content of extruded FCFC, it was statistically significant ( $p < 0.05$ ) only in the contents of Na (BRSG), K (BRSN) and Fe (BRSG). Regarding extruded BRS Guariba, only the regression models used for pH content (91.4%) and iron content (85.7%) of the extruded snacks were significant to the process temperature and/or moisture. In the case of BRS Novaera, the adopted regression models and were significant for the process temperature and/or moisture are the ash content (84.5%), pH content (86.9%), content magnesium (83.3%) and zinc (83.3%). Among the evaluated technological parameters (moisture and temperature of the mixture in the 4th district), the moisture was that exerted more pronounced effect on characteristics of products obtained from the two cultivars, followed by extrusion temperature. It follows, therefore, that the use of flour cowpea cotyledon in the preparation of snacks is an alternative to the preparation of a food extruded to obtain a final product with good nutritional characteristics.

**Keywords:** Snack. Cowpea. Thermoplastic extrusion. Chemical composition.

## LISTA DE FIGURAS

1. Extrusor termoplástico dupla-rosca utilizado na elaboração dos <i>snacks</i> extrusados.....	42
2. Partes do grão de feijão-caupi, após passagem pelo decortificador, cultivar BRS Guariba.....	48
3. Partes do grão de feijão-caupi, após passagem pelo decortificador, cultivar BRS Novaera.....	48
4. <i>Snacks</i> extrusados de farinha de cotilédone de feijão-caupi da cultivar BRS Guariba e as respectivas condições do processo.....	47
5. <i>Snacks</i> extrusados de farinha de cotilédone de feijão-caupi da cultivar BRS Novaera e as respectivas condições do processo.....	47
6. FCFC extrusadas referente aos tratamentos 1 a 6 da cultivar BRS Guariba, da esquerda para a direita.....	48
7. FCFC extrusadas referente aos tratamentos 7 a 12 da cultivar BRS Guariba, da esquerda para a direita.....	48
8. FCFC extrusadas referente aos tratamentos 1 a 6 da cultivar BRS Novaera, da esquerda para a direita.....	48
9. FCFC extrusadas referente aos tratamentos 7 a 12 da cultivar BRS Novaera, da esquerda para a direita.....	48
10. Efeito da temperatura do processo de extrusão e do conteúdo de umidade sobre o teor de cinzas das FCFC extrusadas da cultivar BRS Novaera.....	53
11. Efeito do conteúdo de umidade para o valor de pH das FCFC extrusadas da cultivar BRS Guariba.....	64
12. Efeito do conteúdo de umidade para o valor de pH das FCFC extrusadas da cultivar BRS Novaera.....	64
13. Efeito da temperatura de extrusão e do conteúdo de umidade sobre teor de magnésio das FCFC extrusadas da cultivar BRS Novaera.....	72
14. Efeito da temperatura de extrusão e do conteúdo de umidade sobre o teor de ferro das FCFC extrusadas da cultivar BRS Guariba.....	78
15. Efeito da temperatura de extrusão e do conteúdo de umidade sobre o teor de zinco das FCFC extrusadas da cultivar BRS Novaera.....	81

## LISTA DE QUADROS E TABELAS

### QUADROS

1. Produção mundial (em toneladas) do feijão seco de 2007 a 2011.....	22
2. Produção mundial (em toneladas) do feijão-caupi seco de 2007 a 2011.....	22
3. Área cultivada, produção e produtividade de feijão-caupi no Brasil em 2014.....	23
4. Teores de carboidratos, proteínas e lipídios em feijão-caupi ( <i>Vigna unguiculata</i> ), de cultivares variadas, determinados em base seca por diversos autores da literatura.....	24

### TABELAS

1. Parâmetros variáveis do processo de extrusão.....	39
2. Delineamento experimental do processo de extrusão das FCFC.....	40
3. Análise granulométrica e diâmetro médio das partículas das FCFC das cultivares BRS Guariba e BRS Novaera.....	51
4. Teor de cinzas, proteínas e lipídios (g/100g base seca) das FCFC “in natura” e extrusadas das cultivares BRS Guariba e BRS Novaera.....	54
5. Coeficiente de regressão e ANOVA para o teor de cinzas das FCFC extrusadas da cultivar BRS Guariba.....	55
6. Coeficiente de regressão e ANOVA para o teor de cinzas das FCFC extrusadas da cultivar BRS Novaera.....	55
7. Coeficiente de regressão e ANOVA para o teor de proteínas das FCFC extrusadas da cultivar BRS Guariba calculado pelo $F_c$ de 6,25.....	58
8. Coeficiente de regressão e ANOVA para o conteúdo de proteínas das FCFC extrusadas da cultivar BRS Novaera calculado pelo $F_c$ de 6,25.....	58
9. Coeficiente de regressão e ANOVA para o teor de proteínas das FCFC extrusadas da cultivar BRS Guariba calculado pelo $F_c$ de 5,75.....	59
10. Coeficiente de regressão e ANOVA para o conteúdo de proteínas das FCFC extrusadas da cultivar BRS Novaera calculado pelo $F_c$ de 5,75.....	59
11. Coeficiente de regressão e ANOVA para o teor de lipídios das FCFC extrusadas da cultivar BRS Guariba.....	60

<b>12.</b> Coeficiente de regressão e ANOVA para o teor de lipídios das FCFC extrusadas da cultivar BRS Novaera.....	61
<b>13.</b> Coeficiente de regressão e ANOVA para o teor de carboidratos das FCFC extrusadas da cultivar BRS Guariba.....	62
<b>14.</b> Coeficiente de regressão e ANOVA para o teor de carboidratos das FCFC extrusadas da cultivar BRS Novaera.....	62
<b>15.</b> Teor de carboidratos (g/100g base seca), pH e grau de acidez das FCFC “in natura” e extrusadas das cultivares BRS Guariba e BRS Novaera.....	63
<b>16.</b> Coeficiente de regressão e ANOVA para o teor de pH das FCFC extrusadas da cultivar BRS Guariba. ....	65
<b>17.</b> Coeficiente de regressão e ANOVA para o teor de pH das FCFC extrusadas da cultivar BRS Novaera. ....	65
<b>18.</b> Coeficiente de regressão e ANOVA para o grau de acidez das FCFC extrusadas da cultivar BRS Guariba.....	67
<b>19.</b> Coeficiente de regressão e ANOVA para o grau de acidez das FCFC extrusadas da cultivar BRS Novaera. ....	67
<b>20.</b> Coeficiente de regressão e ANOVA para o valor energético total das FCFC extrusadas da cultivar BRS Guariba.....	68
<b>21.</b> Coeficiente de regressão e ANOVA para o valor energético total das FCFC extrusadas da cultivar BRS Novaera.....	68
<b>22.</b> Conteúdo de cálcio, magnésio, fósforo e sódio em FCFC “in natura” e extrusadas das cultivares BRS Guariba e BRS Novaera.....	70
<b>23.</b> Coeficiente de regressão e ANOVA para o teor de cálcio das FCFC extrusadas da cultivar BRS Guariba.....	72
<b>24.</b> Coeficiente de regressão e ANOVA para o teor de cálcio das FCFC extrusadas da cultivar BRS Novaera.....	72
<b>25.</b> Coeficiente de regressão e ANOVA para o teor de magnésio das FCFC extrusadas da cultivar BRS Guariba. ....	73
<b>26.</b> Coeficiente de regressão e ANOVA para o teor de magnésio das FCFC extrusadas da cultivar BRS Novaera. ....	73
<b>27.</b> Coeficiente de regressão e ANOVA para o teor de fósforo das FCFC extrusadas da cultivar BRS Guariba.....	74
<b>28.</b> Coeficiente de regressão e ANOVA para o teor de fósforo das FCFC	

extrusadas da cultivar BRS Novaera.....	74
<b>29.</b> Coeficiente de regressão e ANOVA para o teor de sódio das FCFC extrusadas da cultivar BRS Guariba. ....	74
<b>30.</b> Coeficiente de regressão e ANOVA para o teor de sódio das FCFC extrusadas da cultivar BRS Novaera. ....	75
<b>31.</b> Conteúdo de potássio, ferro, zinco, cobre e manganês em FCFC “in natura” e extrusadas das cultivares BRS Guariba e BRS Novaera.....	77
<b>32.</b> Coeficiente de regressão e ANOVA para o teor de potássio das FCFC extrusadas da cultivar BRS Guariba.....	79
<b>33.</b> Coeficiente de regressão e ANOVA para o teor de potássio das FCFC extrusadas da cultivar BRS Novaera.....	79
<b>34.</b> Coeficiente de regressão e ANOVA para o teor de ferro das FCFC extrusadas da cultivar BRS Guariba.....	80
<b>35.</b> Coeficiente de regressão e ANOVA para o teor de ferro das FCFC extrusadas da cultivar BRS Novaera.....	80
<b>36.</b> Coeficiente de regressão e ANOVA para o teor de zinco das FCFC extrusadas da cultivar BRS Guariba.....	81
<b>37.</b> Coeficiente de regressão e ANOVA para o teor de zinco das FCFC extrusadas da cultivar BRS Novaera.....	81
<b>38.</b> Coeficiente de regressão e ANOVA para o teor de cobre das FCFC extrusadas da cultivar BRS Guariba.....	82
<b>39.</b> Coeficiente de regressão e ANOVA para o teor de cobre das FCFC extrusadas da cultivar BRS Novaera.....	82
<b>40.</b> Coeficiente de regressão e ANOVA para o teor de manganês das FCFC extrusadas da cultivar BRS Guariba.....	82
<b>41.</b> Coeficiente de regressão e ANOVA para o teor de manganês das FCFC extrusadas da cultivar BRS Novaera.....	83

## LISTA DE ABREVIACOES, SIGLAS E SÍMBOLOS

$\alpha$	Alfa
ANOVA	Análise de variância
AOAC	Association of Official Analytical Chemists
Ca	Cálcio
Cu	Cobre
$R^2$	Coeficiente de determinação
DCCR	Delineamento Central Composto Rotacional
DCNT	Doenças Crônicas Não Transmissíveis
DMP	Diâmetro Médio da Partícula
Embrapa	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
$F_c$	Fator de conversão de nitrogênio
FCFC	Farinha de Cotilédone de Feijão-caupi
Fe	Ferro
FAO	Food and Agriculture Organization
FAOSTAT	Food and Agriculture Organization Statistical
P	Fósforo
$^{\circ}\text{C}$	Graus celcius ou graus centigrados
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IRGA	Instituto Rio Grandense do Arroz
$T^*U$	Interação temperatura versus umidade
L	Linear
Mg	Magnésio
Mn	Manganês
MT	Mato Grosso
MSR	Metodologia de Superfície de Resposta
PI	Piauí
%	Por cento
K	Potássio
pH	Potencial hidrogeniônico
Q	Quadrático
SP	São Paulo
Na	Sódio
VET	Valor energético total
Zn	Zinco

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>16</b>
<b>2. REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO.....</b>	<b>18</b>
2.1 Origem e identificação do feijão-caupi.....	18
2.2 Cultivares BRS Guariba e BRS Novaera.....	19
2.3 Importância da cultura do feijão-caupi.....	20
2.4 Produção do feijão-caupi.....	21
2.5 Composição química do feijão-caupi.....	22
2.6 <i>Snack</i> extrusado .....	24
2.7 Extrusão termoplástica.....	26
2.7.1 Tipos de Extrusor.....	29
2.7.2 Influência da extrusão na composição química dos produtos extrusados..	30
2.7.3 Uso de farinhas de leguminosas no processo de extrusão.....	32
2.8 Metodologia de Superfície de Resposta.....	34
<b>3. OBJETIVOS.....</b>	<b>36</b>
3.1 Geral.....	36
3.2 Específicos.....	36
<b>4. METODOLOGIA.....</b>	<b>37</b>
4.1 Local e período do estudo.....	37
4.2 Preparo da farinha de cotilédone de feijão-caupi (FCFC).....	37
4.3 Delineamento experimental .....	37
4.4 Extrusão das FCFC.....	39
4.5 Elaboração das FCFC extrusadas.....	41
4.6 Granulometria.....	42
4.7 Diâmetro médio da partícula.....	42
4.8 Análises das características físico-químicas e Valor energético total (VET).....	42
4.8.1 Composição centesimal.....	42
4.8.1.1 Umidade.....	42
4.8.1.2 Cinzas.....	43
4.8.1.3 Proteínas.....	43
4.8.1.4 Lipídios.....	43

4.8.1.5 Carboidratos.....	44
4.8.2 Potencial hidrogeniônico (pH).....	44
4.8.3 Acidez total titulável (ATT).....	44
4.9 Valor energético total (VET).....	45
4.10 Conteúdo de minerais.....	45
4.11 Análise estatística.....	45
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>47</b>
5.1 Análise granulométrica.....	50
5.2 Diâmetro médio da partícula.....	51
5.3 Características físico-químicas.....	52
5.3.1 Composição centesimal.....	52
5.3.1.1 Cinzas.....	52
5.3.1.2 Proteínas.....	55
5.3.1.3 Lipídios.....	58
5.3.1.4 Carboidratos.....	60
5.3.2 Potencial hidrogeniônico (pH).....	63
5.3.3 Acidez total titulável (ATT).....	65
5.4 Valor energético total (VET).....	66
5.5 Conteúdo de minerais.....	68
5.5.1 Análise de cálcio, magnésio, fósforo e sódio.....	68
5.5.2 Análise de potássio, ferro, zinco, cobre e manganês.....	74
<b>6. CONCLUSÕES.....</b>	<b>83</b>
<b>7. SUGESTÕES.....</b>	<b>84</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>85</b>



## 1. INTRODUÇÃO

O Brasil apresentou, durante décadas, um quadro de transição epidemiológica e nutricional. A modernização e urbanização trouxeram, como consequência, o aumento dos produtos industrializados na dieta familiar brasileira, ricos em açúcares e gorduras e (LIMBERGER et al., 2009), altamente aceitáveis entre os consumidores. A preferência por lanches rápidos, ricos em “calorias vazias”, em detrimento do tradicional e nutritivo prato de arroz com feijão (IBGE, 2010), além da diminuição da atividade física, ocasionou um aumento na ingestão calórica, estabelecendo o princípio do sobrepeso, com acúmulo de gordura (TARDIDO, FALCÃO, 2006), levando ao aumento das doenças crônicas não transmissíveis (DCNT), principalmente as doenças cardiovasculares, e certas intolerâncias alimentares.

Produtos industrializados bastante consumidos por crianças e adultos e disponíveis numa grande variedade de formas, texturas e sabores são os *snacks* extrusados, tradicionalmente elaborados a base de cereais como o milho e o arroz ou de amidos de raízes e tubérculos como a mandioca e a batata, além de ricos em gordura saturada e sódio. Entretanto, observa-se, atualmente, o despertar do interesse em pesquisar e produzir industrialmente novos tipos de *snacks* a partir de farinhas diferentes de cereais (trigo e milho), não apenas pelo custo da matéria-prima, mas por permitir o uso de outras matérias-primas como as leguminosas, largamente disponíveis e nutritivas (SILVA et al., 2008), criando assim novos produtos sem glúten, com baixos teores de gordura e sódio, altos teores de fibras, além de novas opções para o aumento do consumo de feijão.

A utilização da farinha de feijão-caupi nos alimentos, como matéria-prima principal na elaboração de produtos extrusados, justifica-se por se constituir importante fonte de proteínas (23 a 25% em média) e carboidratos, destacando-se pelo alto teor de fibras alimentares, vitaminas e minerais, além de possuir baixa quantidade de lipídios que, em média, é de 2% (EMBRAPA MEIO NORTE, 2003). Segundo estudos, a leguminosa possui ainda uma ação específica sobre a saúde, através da ação hipocolesterolêmica de alguns compostos com ação, mesmo após a extrusão termoplástica, atuando na prevenção de distúrbios lipídicos, e, com efeito hepatoprotetor, (FROTA, 2007; MARQUES, 2013;). Além disso, estudos têm

fornece evidências convincentes de que os compostos alimentares naturais presentes no feijão-caupi possuem diversas atividades biológicas, incluindo atividades quimiopreventivas contra várias doenças inflamatórias crônicas, sendo, portanto, um alimento comprovadamente funcional.

A extrusão é um processamento de cocção industrial que combina umidade, alta pressão, calor e atrito mecânico por um curto período de tempo, ocasionando alterações físicas e químicas dos alimentos a fim de favorecer suas características tecnológicas (CARREIRO et al., 2008). A técnica tem vantagens como: baixo custo, elevada produtividade, maior vida de prateleira, não gera resíduo e é considerada versátil, mantendo a qualidade e permitindo a diversificação de produtos.

Muitos estudos têm reportado à extrusão e à inclusão de farinhas de leguminosas em alimentos. A tecnologia de extrusão tem se tornado um dos principais processos no desenvolvimento de produtos alimentícios, uma vez que ocasiona a destruição total ou parcial de fatores antinutricionais, inativação de micotoxinas e alérgenos e eliminação de micro-organismos contaminantes. Além disso, promove a gelatinização do amido, desnaturação e re-orientação das proteínas, ruptura de pontes de hidrogênio, inativação enzimática, homogeneização e fusão de gorduras. Em resumo, a extrusão afeta as características nutricionais dos extrusados, alterando a disponibilidade de proteínas, carboidratos, lipídios e vitaminas (MENEGASSI et al., 2007; TRAN; HENDRIKS; VAN DER POEL, 2008). Além disso, em relação às propriedades tecnológicas, a extrusão pode melhorar a cor, o sabor e a textura dos alimentos (STANLEY, 1986).

Portanto, desenvolver ou reformular produtos alimentícios normalmente à base de cereais, com a substituição total destes por grãos de leguminosas na forma de farinha de feijão-caupi é uma importante estratégia para atender aos interesses dos consumidores, por proporcionar produtos com melhor valor nutritivo e com características de alimento funcional, disponíveis para o consumo ou que demande pouco tempo para o preparo e com maior tempo vida de prateleira.

## 2. REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

### 2.1 Origem e identificação do feijão-caupi

O feijão-caupi é uma dicotiledônea pertencente à ordem *Fabales*, família *Fabaceae*, subfamília *Faboideae*, tribo *Phaseoleae*, subtribo *Phaseolineae*, gênero *Vigna* e subgênero *Vigna*, espécie *Vigna unguiculata* (L.) Walp e subespécie *unguiculata*, subdividida em quatro cultigrupos: *unguiculata*, *sesquipedalis*, *biflora* e *textilis* (MARÉCHAL; MASCHERPA; STAINIER, 1978; PADULOSI; NG, 1997; SMARTT, 1990; VERDCOURT, 1970).

Existem aproximadamente 160 espécies do gênero *Vigna* e a maioria de ocorrência na África, muitas delas endêmicas, o que sugere que a evolução desse gênero esteja ligada a esse continente (STEELE; MEHRA, 1980). O oeste da África, mais precisamente a Nigéria, é considerado o centro primário de diversidade genética da espécie (NG; MARÉCHAL, 1985). Padulosi e Ng (1997) relatam que, provavelmente, a região de Transvaal, na República da África do Sul, seja a região de especiação de *Vigna unguiculata* (L.) Walp.

No Brasil, são mais cultivados os cultigrupos *unguiculata* para produção de grãos secos e feijão-verde, e *sesquipedalis*, conhecido como feijão-de-metro, para produção de vagem (FREIRE FILHO et al., 2011). Bastante apreciado por seu sabor e cozimento mais fácil, o feijão-caupi é utilizado em vários pratos típicos da região Nordeste (OLIVEIRA et al., 2001), sendo o baião-de-dois o mais popular.

O feijão-caupi recebe muitos nomes populares no Brasil que variam de acordo com a região do país. Os nomes mais frequentes são: na Região Nordeste, macassa, macassar, feijão-de-corda; na Região Norte, feijão-da-colônia, feijão-da-estrada, feijão-da-praia; na Região Sul, feijão-miúdo; e o feijão-fradinho como é conhecido nos estados de Sergipe, Bahia e Rio de Janeiro. Em países africanos: feijão macúndi, maconde, nhemba, namurua, ecúte. Em países latinos: frijol e Estados Unidos da América: cowpea (FREIRE FILHO et al., 2011; WOOLEY, 1980).

As sementes de leguminosas como o feijão, em sua maioria, apresentam, quando maduras, três principais constituintes: o tegumento, que representa de 8 a 20%, o cotilédone de 80 a 90% e o eixo embrionário que corresponde de 1 a 2% do peso seco do grão maduro (SATHE; VENKATACHALAM, 2004). No grão de feijão

comum (*Phaseolus vulgaris* L.), especificamente, esta proporção é semelhante à descrita anteriormente, correspondendo o tegumento a 9% do peso seco total, os cotilédones a 90% e o eixo embrionário a 1% (BURATTO, 2012). Na estrutura externa da semente encontram-se o tegumento, o hilo, a micrópila e a rafe. O embrião corresponde à estrutura interna da semente e é constituído pelos dois cotilédones, que constituem os tecidos de reserva nutritiva da planta, e pelo eixo embrionário, que originará uma nova planta.

## 2.2 Cultivares BRS Guariba e BRS Novaera

Em relação às cultivares de feijão-caupi lançadas e caracterizadas, muitas já são extensivamente vendidas em escala comercial, tanto internamente quanto no mercado externo, como as cultivares BRS Guariba e BRS Novaera, pesquisadas neste trabalho.

A cultivar BRS Guariba é originada na Embrapa Meio-Norte e foi obtida do cruzamento da linhagem IT85F-2687, com a linhagem TE87-98-8G. Embora de crescimento indeterminado, a cultivar tem ramos relativamente curtos, característica que facilita a colheita. O porte mais ereto facilita a colheita mecânica, visto que as vagens ficam suspensas, e a máquina pode colher com mais facilidade. A colheita é realizada quando as vagens encontram-se secas, com os grãos contendo cerca de 16% de umidade ou menos. O feijão-caupi BRS Guariba permite mais de uma colheita, mas isso também irá depender das condições edafoclimáticas durante o ciclo da cultura. A cultivar BRS Guariba possui tegumento branco, tem grãos grandes e de cor branca, com tegumento liso e anel do hilo marrom, é resistente a diversas doenças e tem boa adaptabilidade em diferentes ecossistemas do país (GONÇALVES et al., 2009).

Também originada na Embrapa Meio-Norte, a cultivar BRS Novaera surgiu em 2000, através do cruzamento entre as linhagens TE97-404-1F e TE97-404-3F. A cor das vagens na maturidade fisiológica e de colheita é amarelo-clara; tem grãos de cor branca, grandes e bem formados, com tegumento levemente enrugado (o que diferencia visualmente da cultivar Guariba) e anel do hilo marrom, no padrão de preferência de uma grande faixa de consumidores, tanto no mercado nacional quanto no mercado internacional. Seu porte é semi-ereto, possui alta resistência ao acamamento e uma boa desfolha natural. Com essas características,

tem um grande potencial para colheita mecânica direta (empresarial), contudo, também é adequada à agricultura familiar (GONÇALVES, 2012; FREIRE FILHO et al., 2008).

### 2.3 Importância da cultura do feijão-caupi

O feijão-caupi é cultivado nas regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste do Brasil, sendo consumido, principalmente nas regiões Norte e Nordeste. É considerado um alimento de primeira necessidade para populações de baixa renda, tanto pelo seu valor nutritivo quanto por questões socioeconômicas (XAVIER et al., 2007; FREIRE FILHO et al., 2011; ONWULIRI; OBU, 2002).

Em função do seu valor nutritivo, o feijão-caupi é cultivado, principalmente, para a produção de grãos secos e verdes, sendo consumido *in natura*, na forma de conserva ou desidratado; também é utilizado como adubo verde e na alimentação animal como forragem e ensilagem ou feno (FREIRE FILHO et al., 2005).

O grão se destaca pelo alto valor nutritivo, considerado excelente fonte de proteínas, carboidratos, vitaminas, minerais e fibras dietéticas, além do baixo custo de produção, motivo pelo qual é considerada fonte geradora de emprego e renda. É amplamente cultivado pelos pequenos e médios produtores, constituindo um dos principais componentes da dieta alimentar, especialmente na zona rural (EMBRAPA MEIO NORTE, 2003). As cultivares do tipo fradinho são muito utilizadas para a elaboração do acarajé e representam o tipo comercial mais aceito no mercado externo (ROCHA et al., 2011).

Ao contrário do feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) e de outras leguminosas, o feijão-caupi adapta-se relativamente bem a uma ampla faixa de clima e de solo variando das areias quartzosas aos solos de textura pesada. Por apresentar elevada capacidade de fixação biológica do nitrogênio atmosférico, adapta-se bem a solos de baixa fertilidade nas mais diversas condições culturais (EHLERS; HALL, 1997), representando uma excelente alternativa para o cultivo, em rotação ou em consórcio com outras culturas (GONÇALVES et al., 2009).

## 2.4 Produção de feijão-caupi

Segundo dados da FAO (2013), a média da produção mundial de feijão seco total de 2007 a 2011 foi de 21,9 milhões de toneladas. Os cinco principais países produtores mundiais de feijões secos foram Índia (17%), Brasil (15%), Mianmar (15%), China (7%) e EUA (5%) (Quadro 1).

**Quadro 1** - Produção mundial (em toneladas) do feijão seco de 2007 a 2011.

Países	2007	2008	2009	2010	2011	Média	Part. %
Brasil	3.169.360	3.461.194	3.486.763	3.158.905	3.435.366	3.342.318	15
Índia	3.930.000	3.010.000	2.430.000	4.890.000	4.330.000	3.718.000	17
Mianmar	2.814.000	3.218.000	3.375.000	3.000.000	3.721.949	3.225.790	15
China	1.525.000	1.700.000	1.480.000	1.330.000	1.572.000	1.521.400	7
EUA	1.160.561	1.159.290	1.150.310	1.442.470	899.610	1.162.448	5
Outros	8.508.150	8.422.632	9.193.098	9.498.006	9.102.665	8.944.911	41
<b>Total</b>	<b>21.107.071</b>	<b>20.971.116</b>	<b>21.115.171</b>	<b>23.319.381</b>	<b>23.061.590</b>	<b>21.914.866</b>	<b>100</b>

Fonte: FAO (2013)

Em relação à média da produção mundial somente de feijão-caupi, neste mesmo período, a FAO (2013) afirmou que foi de 5,6 milhões de toneladas. Os três principais produtores mundiais foram a Nigéria, o Níger e Burkina Faso, que responderam, respectivamente, por 48%, 24% e 8% da produção mundial (Quadro 2). No entanto, acredita-se que esta comparação mundial esteja subestimada, considerando que os países outrora afirmados como os maiores produtores mundiais de feijão, Índia, Mianmar e Brasil, não fornecem dados estatísticos somente da produção de feijão-caupi, havendo no Brasil uma produção expressiva deste tipo de feijão, além do feijão-comum, dentre outros. Vale ressaltar que, em 2011, dos 239 países constantes na base FAOSTAT, apenas 33 apresentavam estatísticas específicas para a produção de feijão-caupi.

**Quadro 2** - Produção mundial (em toneladas) do feijão-caupi seco de 2007 a 2011.

Países	2007	2008	2009	2010	2011	Média	Part. %
Nigéria	3.000.000	2.916.000	2.371.640	3.368.250	1.860.800	2.703.338	48
Níger	1.001.139	1.543.943	787.472	1.774.464	1.517.142	1.324.832	24
Burkina Faso	253.190	537.680	453.429	626.113	441.015	462.285	8
Outros	942.304	1.111.232	1.284.014	1.144.341	1.133.425	1.123.063	20
<b>Total</b>	<b>5.196.633</b>	<b>6.108.855</b>	<b>4.896.555</b>	<b>6.913.168</b>	<b>4.952.382</b>	<b>5.613.519</b>	<b>100</b>

Fonte: FAO (2013)

No Brasil, entre 2002 a 2011, a produção nacional do feijão-caupi oscilava entre 400 e 600 mil toneladas por ano. Em 2011, no entanto, houve um aumento considerável da produção, alcançando quase 800 mil toneladas, devido à expansão da produção para regiões importantes, como o Nordeste, além do início da produção na região Centro-Oeste, principalmente Mato Grosso, em razão do desenvolvimento de cultivares com características que favoreciam o cultivo mecanizado, em escala comercial em alguns municípios. Entretanto, entre os anos de 2012 e 2014, houve uma queda na média da produção brasileira anual que foi de 399.083 mil toneladas, com uma área média de 1.049.093 milhão de hectares plantados e produtividade de 379 kg/ha. Em 2014, a região Nordeste foi a que mais se destacou na produção, seguidas das regiões Centro-Oeste e Norte (Quadro 3), sendo os quatro maiores produtores os estados do Mato Grosso (127.000 t), Ceará (107.291 t), Piauí (55.278 t) e Pernambuco (52.406 t) (EMBRAPA ARROZ E FEIJÃO, 2015).

**Quadro 3** - Área cultivada, produção e produtividade de feijão-caupi no Brasil em 2014.

Região	Área cultivada (ha)	Produção (t)	Produtividade (kg/ha)
Nordeste	1.037.847	320.554	309
Centro-Oeste	116.000	127.000	1095
Norte	48.644	35.111	722

Fonte: Embrapa Arroz e Feijão (2015)

## 2.5 Composição química do feijão-caupi

O grão de feijão é constituído por três partes, sendo elas: tegumento, cotilédone e o eixo embrionário. O cotilédone é o mais significativo na massa do grão, sendo que o mesmo contém proteínas e hidratos de carbono (DÚEÑAS; HERNANDEZ; ESTRELLA, 2002).

A composição química e nutricional do feijão-caupi pode ser modificada como resultado das condições nutricionais das plantas, práticas culturais, manipulação genética (VASCONCELOS et al., 1997) e ainda de acordo com a cultivar (RANGEL et al., 2004; GIAMI, 2005).

O feijão-caupi apresenta um importante papel na nutrição humana por constituir uma importante fonte de proteínas, carboidratos, destacando-se pelo alto teor de fibras alimentares (20 a 30%), vitaminas e minerais, além de possuir baixa

quantidade de lipídios (EMBRAPA MEIO-NORTE, 2003; CARVALHO et al., 2012a; SALGADO et al., 2005; FROTA; SOARES; ARÊAS, 2008).

Muitos autores já relataram a composição nutricional de farinhas de feijão-caupi em seus estudos, elaboradas de farinhas integrais ou decorticadas. No quadro 4 é apresentada a amplitude de variação de alguns componentes do grão de feijão, sendo observado que o teor de proteínas varia de 14,5 a 24,7%, de lipídios de 1,3 a 2,2% e de carboidratos de 51,4 a 80,5%. Iqbal et al. (2006) estudaram variados tipos de leguminosas, sendo que o feijão-caupi apresentou as maiores concentrações de potássio (1280 mg/100 g), fósforo (303 mg/100 g), cálcio (176 mg/100 g), manganês (1,7 mg/100 g), magnésio (4,8 mg/100 g), ferro (2,6 mg/100 g) e zinco (5,1 mg/100 g).

Essa leguminosa também é rica em lisina e outros aminoácidos essenciais, porém, limitada nos aminoácidos sulfurados, metionina e cisteína. Constitui-se, ainda, numa excelente fonte das vitaminas como a tiamina e a niacina, e contém razoáveis quantidades de outras vitaminas hidrossolúveis, como riboflavina, piridoxina e folacina (FREIRE FILHO et al., 2005; FROTA; SOARES; ARÊAS, 2008).

**Quadro 4.** Teores de carboidratos, proteínas e lipídios em feijão-caupi (*Vigna unguiculata*), de cultivares variadas, determinados em base seca por diversos autores da literatura.

REFERÊNCIA	NUTRIENTES				
	Carboidratos (g/100g)	Proteínas (g/100g)	Lipídios (g/100g)	Cultivar ou linhagem	Farinha integral ou decorticada
Castellön et al. (2003)	71,4-74,5	21,6-24,7	1,4-1,7	Cultivares (Br-14 Mulato, CE-315, Br-17 Gurguéia, Br-9 Longá, CNC-0434 e Vita 7)	Decorticada
Frota, Soares e Arêas (2008)	51,4	24,5	2,2	Cultivar BRS Milênio	Integral
Marques (2013)	51,18	23,72	1,7	Cultivar BRS Milênio	Integral
Cavalcante (2015)	77,06 a 80,5	14,49 a 17,6	1,32 a 2,1	Cultivares (BRS Marataoã, BRS Gurguéia, BRS Itaim, BRS Cauamé e BRS Guariba)	Integral

Fonte: Dados da literatura



Trabalho realizado por Frota et al. (2010) também ressaltam a importante composição nutricional do feijão-caupi. Nesta pesquisa, os autores enriqueceram produtos de panificação do tipo biscoito e rocambole com farinha de feijão-caupi (FFC), observando-se um aumento no teor proteico do biscoito elaborado com 30% de FFC e do rocambole elaborado com 20% de FFC, quando comparados às formulações padrão. Observou-se que o teor dos minerais analisados (ferro, zinco, magnésio, potássio e fósforo) e de piridoxina aumentou à medida que FFC foi adicionada, enquanto a concentração de tiamina aumentou somente no rocambole elaborado com 20% de FFC. Além disso, os produtos apresentaram ainda boa aceitação sensorial pelos consumidores.

## 2.6 *Snack* extrusado

Segundo Brasil (2008), *snacks* são aperitivos à base de batatas, cereais, farinha ou amido (derivado de raízes e tubérculos, legumes e leguminosas). Compreende todos os produtos para aperitivo, aromatizados ou não, a base de batata, cereais, farinha ou amido (derivados de raízes e tubérculos, legumes e leguminosas) como batatas fritas; pipoca; pretzels; biscoitos “crackers” com sabor de queijo, presunto, bacon ou outros; aperitivos elaborados a base de mistura de farinhas, milho, batatas, sal, frutas secas, especiarias, corantes, aromas e antioxidantes; e aperitivos elaborados a base de farinha de arroz, ou de farinha de feijão preto ou branco, com adição de sal e especiarias. Excluem-se as sementes oleaginosas processadas, cobertas ou não; biscoitos doces e biscoitos “crackers”, exceto os biscoitos “crackers” aromatizados.

No processo de extrusão termoplástica, podem ser elaborados dois tipos básicos de produtos: os extrusados não expandidos diretos e os expandidos diretos. Os extrusados não expandidos diretos, também denominados de *snacks* de terceira geração, produtos intermediários (*half-products*) ou *pellets*, são produtos que não estão expandidos após a extrusão, pois são submetidos à baixa pressão e temperatura. Estes produtos passam posteriormente pelas etapas de secagem e de expansão, por meio da fritura rápida em óleo, por aquecimento com ar quente ou forno microondas, estando então prontos para o consumo (CARVALHO; ASCHERI; CAL-VIDAL, 2002). Este tipo de produto apresenta baixa

umidade (4 a 10%), permitindo seu armazenamento por longo período de tempo sem deterioração microbiana (ASCHERI; CARVALHO; MATSUURA, 2000).

Dentre os extrusados expandidos diretos, destacam-se os *snacks* extrusados, produtos prontos para o consumo obtidos por meio da cocção por extrusão de farinhas amiláceas, seguida de secagem e aromatização (MITCHELL; ARÊAS, 1992) com lipídeos usados como agentes fixadores de aroma e sabor, a fim de torná-los mais palatáveis e aceitáveis para o consumo, porém, ricos em gordura saturada e ácidos graxos *trans* (CAPRILES; ARÊAS, 2005). Por essa razão, apresentam elevadas quantidades de lipídeos e valor calórico, além de baixo teor de proteínas e de fibras alimentares (CAPRILES; SOARES; ARÊAS, 2007).

Para demonstrar o baixo conteúdo nutricional dos *snacks* extrusados, normalmente encontrados no mercado, Lobanco et al. (2009) avaliaram a fidedignidade das informações sobre dados nutricionais declarados em rótulos de 25 marcas de salgadinhos de milho, e observaram que os produtos apresentaram a frequência de condenação de 69% em relação ao teor de fibra alimentar, 72% ao de sódio, 85% de gorduras totais e 41% ao de gorduras saturadas. As médias da composição nutricional (g/100g) das 25 amostras de salgadinhos de milho calculadas foram de: 468 kcal, 6,25 g de proteínas, 66,01 g de carboidratos, 20,05 g de gorduras totais, sendo 8,76 g de gorduras saturadas, 2,01 g de fibra alimentar e 88,82 mg de sódio, evidenciando, portanto, as características nutricionais dos salgadinhos

Com relação ao mercado, segundo a consultoria Nielsen, no Brasil são vendidos 344,9 milhões de *snacks* (pacotes de salgadinhos) por ano. Especialmente entre os anos de 2006 e 2011, os *snacks* apresentaram um salto na venda de 78%. Em 2013, o mercado destes produtos arrecadou R\$ 5,1 bilhões e em 2018 a estimativa é que alcance R\$ 7,2 bilhões em vendas.

Várias abordagens vêm sendo testadas para a melhoria do valor nutritivo dos *snacks* extrusados, como a fixação de aroma e sabor no produto por solução contendo fibra solúvel prebiótica, como substituto dos lipídeos (CAPRILES et al., 2009), e a incorporação de matérias-primas alternativas com valor nutritivo agregado à formulação, como leguminosas, vegetais e frutas. Estas matérias-primas passam por uma série de reações químicas e físicas complexas durante a

extrusão, levando à obtenção de produtos de características diversas (ÔZER et al., 2004).

A nova geração de salgadinhos extrusados, portanto, tenta promover uma imagem de saúde com baixo teor de gordura e alto teor de fibras (CEREDA; VILPOUX; FRANCO, 2003). O aumento da importância de alimentos do tipo *snack* nos hábitos alimentares de hoje deve-se ao fato destes produtos poderem servir como veículos para importantes nutrientes, ao passo que constituem produtos facilmente aceitos pelos consumidores. Com o aumento da expectativa de vida e a grande cobertura da mídia pelas questões da saúde, os consumidores estão mais interessados nos benefícios potenciais da nutrição para o controle e a prevenção de doenças e passaram a exigir em alimentos industrializados, além de sabor agradável e praticidade, alto valor nutritivo e outros benefícios à saúde (ARABBI, 2001; BOMBO, 2006).

Dentro desta perspectiva da criação de *snacks* mais saudáveis, Moreira-Araújo, Araújo e Arêas (2008) desenvolveram em seu trabalho um *snack* extrusado fortificado à base de farinha de grão de bico, pulmão bovino e milho, rico em proteínas, vitaminas e ferro. Após a intervenção de 30g do produto, três vezes por semana, durante 2 meses numa creche, a concentração média de hemoglobina no grupo teste passou de 11,8 g/dL para 13,1 g/dL no final da intervenção, observando-se significativa queda na prevalência de anemia. Além disso, a aceitação do lanche fortificado foi excelente e não foram observados efeitos indesejáveis.

## 2.7 Extrusão termoplástica

A extrusão termoplástica é uma tecnologia que teve origem na indústria de plásticos, e muitos dos modelos e teorias foram desenvolvidos com polímeros (EMBRAPA TRIGO, 2006). A terminologia termoplástica caracteriza um material capaz de se fundir quando aquecido e solidificar novamente quando resfriado (GONÇALVES, 2001).

A extrusão, para a indústria de alimentos, teve início em meados do ano de 1930, com a produção de massas alimentícias, mas um grande desenvolvimento ocorreu a partir de 1946 quando se iniciou a produção de cereais matinais, salgadinhos de milho (*snacks*) e macarrão (HARPER, 1981; ARÊAS, 1992). A partir

de 1968, com a utilização da extrusão para a texturização de proteínas vegetais, essa tecnologia experimentou novo impulso, colocando-se entre as mais importantes para a indústria de alimentos (ARÊAS, 1996; CARDOSO-SANTIAGO; MOREIRA-ARAUJO; ARÊAS, 2001).

O processo de extrusão termoplástica vem ganhando destaque e expansão na indústria de alimentos por ser uma técnica realizada a temperaturas elevadas e de curta duração, em que materiais amiláceos e/ou proteicos umedecidos são forçados a passar através de um molde em que serão cozidos e plasticizados através da combinação de umidade, pressão, temperatura e cisalhamento mecânico, podendo melhorar as propriedades sensoriais, bem como a digestibilidade do material a ser extrusado (RIBAS et al., 2000; GUY, 2001; OLIVEIRA et al., 2004).

A extrusão é um processo muito versátil e que combina várias operações unitárias, sendo amplamente utilizada para misturar, plasticizar e gelatinizar o amido, ocorrendo uma fluidização do mesmo, desintoxicar, esterilizar, desnaturar materiais proteicos e inativar enzimas. A ação mecânica combinada com o calor, além das modificações mínimas no equipamento básico e nas condições de processo, provocam a reorganização das estruturas existentes na matéria-prima, por reestruturação do material na direção do fluxo, obtendo-se, assim, uma grande variedade de texturas e formas para o produto final, tais como cereais matinais, petiscos, “snacks”, macarrões, alimentos à base de cereais enriquecidos com proteína, bebidas em pó, proteínas de soja texturizada, sopas instantâneas farinhas e amidos pré-gelatinizados utilizados na formulação de sopas instantâneas, molhos semi-processados, produtos de confeitaria, entre outros. Esses produtos geralmente são elaborados a base de cereais como o milho e o arroz ou de amidos de raízes e tubérculos como a mandioca e a batata (GUJRAL; SINGH; SINGH, 2001; ASCHERI; SPEHAR; NASCIMENTO, 2002; CAPRILES; ARÊAS, 2005; DING et al., 2005; SOUZA; MENEZES, 2008; CARVALHO et al., 2010).

A extrusão pode ser classificada como processo a quente ou a frio. No primeiro, o alimento é submetido a um tratamento térmico, o processo denomina-se cozimento por extrusão, em que o produto é aquecido pelo contato com as paredes da camisa da extrusora ou através de contato com a rosca aquecida internamente com vapor. Não havendo nenhum processamento ou tratamento térmico durante a extrusão, classifica-se o processo como a frio (YAGCI; GOGUS, 2009).

O processo de extrusão termoplástica destaca-se na indústria de alimentos por ser uma importante técnica que, além de aumentar a variedade de alimentos processados, apresenta muitas vantagens quando comparado a outros sistemas de processamento de alimentos, como alta versatilidade e flexibilidade, proporcionando numerosas aplicações, fabricação de novos produtos, uma vez que viabiliza a mistura de diferentes matérias-primas e outros nutrientes, custo relativamente baixo, alta produtividade, curto tempo de reação e, por representar um processo ambientalmente seguro, é uma tecnologia catalogada como limpa, ou seja, não gera resíduo, e pode resultar em produtos com alta qualidade nutricional e/ou tecnológica (CARVALHO, 2000; GUY, 2001; NABESHIMA; GROSSMANN, 2001; LEONEL et al., 2006) Além disso, as altas temperaturas envolvidas no processo promovem a inativação dos fatores antinutricionais presentes nos alimentos *in natura* e a satisfatória qualidade higiênica dos extrusados (MOUQUET et al., 2003).

Embora a extrusão de alimentos seja considerada um processo tecnológico simples, seu controle é complexo, em virtude do número de variáveis envolvidas. As variáveis do processo de extrusão que controlam diretamente os atributos de qualidade do produto são chamadas variáveis independentes ou fatores, já as variáveis dependentes ou respostas, mudam em decorrência das variáveis independentes. Portanto, algumas características do produto final podem ser controladas por uma escolha adequada dos parâmetros de extrusão (EMBRAPA, 2006).

Os dois principais fatores que influenciam nas características dos produtos extrusados são: as características das matérias-primas e as condições operacionais do extrusor. Como principais características para a matéria-prima são destacadas as seguintes: tipo de material, teor de umidade, estado físico, composição química (teores e tipos de amidos, proteínas, gorduras e açúcares) e pH do material. Já, como parâmetros operacionais, são apontados como importantes: temperatura, pressão, diâmetro da matriz e taxa de cisalhamento, sendo esta última influenciada pelo desenho interno do extrusor e pelo seu comprimento; além da velocidade e geometria da(s) rosca(s) (FELLOWS, 2006). A temperatura de extrusão e a umidade da matéria-prima são as mais importantes variáveis do processo que afetam as características do produto (EMBRAPA, 2006).

Apesar das várias vantagens existentes na utilização da extrusão, alguns efeitos adversos podem ocorrer, embora em menor escala, como: perdas de vitamina C e tiamina; formação do complexo lípide-amilose, que torna o lipídio e o amido indisponíveis; reações de Maillard, com a diminuição da disponibilidade de lisina em presença de açúcares redutores; escurecimento; destruição de enzimas e aminoácidos essenciais; produção de aromas desagradáveis (FERREIRA, 1999).

### 2.7.1 Tipos de extrusor

Muitos pesquisadores têm conduzido estudos do processo de extrusão na obtenção de produtos, usando muitas variáveis de processamento e extrusores tipo monorroscas ou dupla rosca (DING et al., 2005), sendo que cada tipo possui uma gama específica de aplicações.

O extrusor de rosca única tem vantagens em termos de custo, operação e manutenção quando comparado com um de dupla rosca. Entretanto, apresenta limites com materiais com mais de 4% de lipídios, 10% de açúcar e 30% de umidade (REIFSTECK; JEON, 2000). O extrusor tipo monorroscas consiste de uma rosca cilíndrica que gira em um canhão cilíndrico ranhurado, feito de ligas duras ou aço inoxidável endurecido, para resistir ao desgaste provocado pela fricção. Possui custos de investimento e operações mais baixos e requerem menos habilidade para operar e manter do que os de rosca dupla. São, ainda, utilizados em aplicações de cozimento simples e moldagem, quando a flexibilidade de um equipamento de rosca dupla não é necessária (FELLOWS, 2006).

O extrusor tipo dupla rosca por sua vez, gira em uma concavidade na forma de um "8" no interior do canhão. Pode hidrolisar e modificar o amido, diminuir fatores antinutricionais de algumas matérias-primas (soja, sorgo, por exemplo), reduzir a quantidade de micro-organismos e melhorar a qualidade sensorial dos alimentos (HEIDENREICH; MICHAELSEN, 1994).

Dentre as principais vantagens dos equipamentos de rosca dupla estão: maior flexibilidade de operação, possível pela alteração do grau de entrelaçamento das roscas, do número de passos ou pelo ângulo de inclinação da rosca; a produção é independente da taxa de alimentação, e flutuações na taxa de produção podem ser acomodadas pela ação de deslocamento positivo das roscas; podem trabalhar com materiais oleosos, pegajosos, ou muito úmidos; o transporte

da matéria-prima para frente ou reverso é utilizado para controlar a pressão no canhão; uma pequena seção de descarregamento desenvolve a pressão necessária para a extrusão, submetendo apenas uma parte menor do equipamento ao desgaste; uma mistura de tamanho de partículas pode ser utilizada, desde pós finos até grãos (FELLOWS, 2006).

### 2.7.2 Influência da extrusão na composição-química e mineral dos produtos extrusados

O processo de extrusão termoplástica modifica a estrutura física do alimento extrusado, além da sua composição química. Durante o processo, ocorrem alterações na matéria-prima, como a desnaturação de proteínas, a ativação e/ou inativação enzimática, gelatinização do amido e reações de Maillard (CHUANG; YEH, 2004), além da formação de complexo entre amilose e lipídios e reações de degradação de fatores antinutricionais (inibidores de tripsina, hemaglutininas, taninos e fitatos), vitaminas e pigmentos (ILO; LIU; BERGHOFER, 1999). Além disso, o cozimento pelo processo de extrusão, em geral, aumenta significativamente a digestibilidade do amido, quando comparado com os amidos não extrusados, devido à ruptura da estrutura física do grânulo de amido e à gelatinização, caracterizadas pelo aumento da viscosidade a frio (HAGENIMANA; DING; FANG, 2006).

Na extrusão termolástica, as matérias-primas ricas em proteínas podem sofrer mudanças químicas e estruturais que influenciam grandemente na qualidade da textura dos produtos extrusados (ILO; BERGHOFER, 2003). Durante a extrusão termoplástica, algumas mudanças estruturais podem ocorrer nas proteínas durante o processo de extrusão como a desnaturação, associação com outras moléculas, ruptura de proteínas (ALONSO; AGUIRRE; MARZO, 2000; ATHAR et al., 2006; TORRES et al. 2005), ocasionado a diminuição deste nutriente nos alimentos extrusados.

No caso do feijão, as proteínas são desnaturadas pela combinação de alta temperatura e força mecânica no interior do barril. Isso pode ocasionar um desequilíbrio hidrofóbico/hidrofílico na superfície da molécula, provocando alterações conformacionais que alteram sua solubilidade (ALONSO; AGUIRRE; MARZO, 2000; HERNÁNDEZ-DIAS et al., 2007).

Batista, Prudêncio e Fernandes (2010) ao estudarem as mudanças nas propriedades bioquímicas e funcionais do feijão-caupi hard-to-cook após o tratamento pelo processo de extrusão, observaram que o processo causou a inativação completa da  $\alpha$ -amilase e lectina e também reduziu a atividade do inibidor de tripsina (38,2%) e do conteúdo de ácido fítico (33,2%). A digestibilidade da farinha de feijão-caupi de difícil cozimento foi, portanto, melhorada após a extrusão, com um aumento de 55,9% na digestibilidade da proteína e um aumento de 5,9% na digestibilidade do amido.

O valor nutricional dos lipídeos também pode ser afetado durante a extrusão como um resultado de oxidação, hidrogenação, isomerização ou polimerização dos lipídios durante o processo (formação de complexo com amilose ou proteína) (CAMIRE, 2000; O'BRIEN, 2004; VAN DEN EINDE et al., 2005). Marques (2013) elaborou farinha integral de feijão-caupi da cultivar BRS Milênio e constatou 23,72% de proteína, 1,7% de lipídios, 71% de carboidratos e 19,87% para fibras alimentares. Após a extrusão da farinha, elaborada em condições de temperatura de 190°C, umidade de 28% e rotação de 200 rpm, ele observou valores de 2,61% para proteínas, 0,68% para lipídios, 70,27% para carboidratos e 13,26% para fibras alimentares, constatando que houve diferença estatisticamente significativa no teor de lipídios e de fibras.

Alvim, Sgarbieri e Chang (2002) utilizaram farinha integral "in natura" de milho para uso na elaboração de farinhas mistas extrusadas de milho, derivados de levedura e caseína, e constataram 0,9% de cinzas, 9,5% de proteínas, 3,8% de lipídios, 4,1% de fibras alimentares e 81,7% de carboidratos. Na farinha de milho extrusada foi obtida 1% de cinzas, 10,1% de proteína, 3,1% de lipídios, 3,8% de fibras alimentares e 82% de carboidratos, mostrando a interferência do processo de extrusão nos nutrientes.

Outra interferência da técnica de extrusão é no conteúdo de minerais. No caso do teor de ferro, pesquisas confirmam que a própria extrusora pode contaminar as amostras, durante o processamento. Pesquisa que confirma este fato, foi a realizada por Andrade et al. (2013), que avaliaram as modificações químicas causadas pela extrusão termoplástica em 6 (seis) amostras de goma do cajueiro, codificadas como: GA (goma arábica comercial), GAE200 (goma arábica extrudada a 200 rpm), GAE400 (goma arábica extrudada a 400rpm), GC (goma de



cajueiro in natura), GCE200 (goma de cajueiro extrudada a 200rpm) e GCE400 (goma de cajueiro extrudada a 400rpm). Os autores observaram que o conteúdo de ferro aumentou significativamente nas amostras extrusadas, além da redução significativa no teor de extrato etéreo nas amostras.

Ascheri, Carvalho e Spehar (2004) caracterizaram a farinha integral de amaranto para uso na produção de *snacks* extrusados e constataram 454,93 mg/100g de fósforo, 168,69 mg/100g de cálcio, 428,41 mg /100g de potássio e 252 mg/100g de magnésio. Ao caracterizar os *snacks* extrusados produzidos com a farinha de amaranto, observaram valores menores que os iniciais: 418,93 mg/100g de fósforo, 164,74 mg/100g de cálcio, 408,52 mg/100g de potássio e 235,45 mg/100g de magnésio.

Omwamba e Mahungu (2014) elaboraram um *snack* extrusado a partir de uma mistura composta de farinha arroz, sorgo e farelo de soja utilizando temperatura de 110 a 150°C, velocidade do parafuso de 350 a 450 rpm e umidade de 12 a 14%. Observou-se que 100g do produto elaborado forneceu 45% da dose diária recomendada de proteína em crianças com idade até 12 anos e constataram 52 mg/100g cálcio, 3,01 mg/100g ferro e 1,23 mg/100g de zinco.

Em relação ao pH de alimentos pós-extrusão, a determinação deste parâmetro em farinhas em suspensões aquosas são importantes, já que algumas propriedades funcionais, como solubilidade são altamente afetadas por alterações de pH, de forma que quanto maior o pH, maior a tendência à solubilidade (GOMES et al., 2006). Froes (2012), estudando farinhas extrusadas de feijão-comum para serem utilizadas em misturas para bolo, encontraram valores de 6,46 e de 6,62 para pH e de 1,05 e 0,99 para acidez titulável em farinhas crua e extrusada de feijão comum, respectivamente, sendo este fator mais preditor do desenvolvimento microbiano.

### 2.7.3 Uso de farinhas de leguminosas no processo de extrusão

A farinha pré-gelatinizada por extrusão tem amplo campo de aplicação na tecnologia de alimentos, podendo ser utilizada como ingrediente no preparo de produtos de panificação, mingaus e sopas instantâneas (CARVALHO et al., 2009; CLERICE; EL-DASH, 2008; SILVA; ASCHERI, 2009).

O processo de extrusão termoplástica é utilizado na produção de uma grande variedade de produtos como cereais matinais, *snacks*, amidos modificados, produtos de confeitaria, proteínas vegetais texturizadas, produtos cárneos e rações animais. Os *snacks* extrusados incluem uma variedade de produtos com diferentes formas, que tiveram seu consumo aumentado devido à praticidade, sendo consumidos principalmente entre as refeições (CEREDA; VILPOUX; FRANCO, 2003).

O mercado de *snacks* segue a tendência mundial de ênfase na saúde e nos benefícios que os ingredientes alimentícios podem trazer para a qualidade de vida, o que é comprovado pelo grande número de lançamentos de produtos fortificados, enriquecidos, com baixo teor de gorduras e funcionais (LUSTOSA; LEONEL; MISCHAN, 2010), uma vez que a extrusão termoplástica viabiliza a utilização de várias misturas de farinhas com diferentes matérias-primas ricas em proteínas, amido, fibras, vitaminas e minerais como o milho, mandioca e arroz, entre outras (CEREDA; VILPOUX; FRANCO, 2003).

Dentre os alimentos já bastante empregados na elaboração dos *snacks* extrusados, destacam-se as leguminosas, utilizadas pelo homem desde a antiguidade e uma das mais importantes fontes de alimento no mundo, principalmente nos países em desenvolvimento, devido ao seu alto conteúdo proteico, de carboidratos, vitaminas e minerais (OLIVEIRA et al., 2001). Muitos trabalhos na literatura reportam para o uso de grãos de feijão (*phaseollus* e caupi), soja, grão-de-bico e outras leguminosas na elaboração de novos produtos através da extrusão termoplástica de alimentos.

Mcwatters et al. (2004) elaboraram pães substituindo parcialmente a farinha de trigo pela farinha de feijão-caupi extrusada (15 e 30%). Os pães fabricados com a farinha de feijão-caupi extrusada apresentaram maior teor de proteínas (13,9-15,4%) do que os fabricados com 100% de farinha de trigo (12,5% de proteína). Observou-se que os pães fabricados com 15% de farinha de feijão-caupi extrusada obtiveram melhor desempenho na fabricação, além de melhor aceitação sensorial.

Carvalho et al. (2012a) desenvolveram uma formulação de *snack* por extrusão termoplástica a partir de mistura de farinhas de quirera de arroz e de bandinha de feijão. Os parâmetros de extrusão foram fixos, utilizando-se três zonas de extrusão com temperaturas de 40, 60 e 85 °C; velocidade do parafuso de 177 rpm; taxa de alimentação de 292 g.min<sup>-1</sup>, e matriz circular de 3,85 mm de

diâmetro. Observou-se efeito significativo da farinha de bandinha de feijão no aumento dos teores proteico e de fibras no *snack* obtido, quando comparada à farinha de quirera de arroz. A formulação foi aceita sensorialmente, com índice de aceitação para impressão global de 76%.

Moura e Ascheri (2013) avaliaram farinhas mistas pré-gelatinizadas de arroz, feijão comum e milho utilizando 17 tratamentos e 3 variáveis independentes, sendo elas a umidade da massa antes da extrusão (16; 18; 21; 24; 26%), a temperatura da 3ª zona de extrusão (126;140; 160; 180; 193°C) e a rotação do parafuso da extrusora (106; 120; 140; 160; 173 rpm) e concluíram que é possível elaborar farinhas mistas pré-gelatinizadas de arroz, feijão e milho, com concentrações maiores de feijão e arroz, e com viabilidade para elaborar tipos diferentes de produtos.

Ascheri, Carvalho e Spehar (2004) caracterizaram a farinha integral de amaranto para uso na produção de *snacks* extrusados., enquanto que Omwamba e Mahungu (2014) elaboraram um *snack* extrusado a partir de uma mistura composta de farinha arroz, sorgo e farelo de soja utilizando temperatura de 110 a 150°C, velocidade do parafuso de 350 a 450 rpm e umidade de 12 a 14%.

Além do uso de grãos integrais, observa-se também a elaboração de produtos extrusados utilizando subprodutos de grãos. Soares Junior et al. (2011) desenvolveram salgadinhos extrusados a partir de fragmentos de arroz e feijão, conhecidos popularmente como quirera de arroz e bandinha de feijão e verificaram que é viável o aproveitamento dos subprodutos de arroz e feijão como matéria-prima para desenvolver salgadinhos extrusados de alto valor nutricional e baixo custo, independente da proporção utilizada na formulação.

## 2.8 Metodologia de Superfície de Resposta

A Metodologia de Superfície de Resposta (MSR) é um procedimento para otimização que consiste de uma combinação de técnicas estatísticas que permitem a construção de modelos empíricos para a verificação de um conjunto de variáveis independentes numa ou mais variáveis dependentes. A MSR e sua análise são utilizadas para encontrar combinações de valores experimentais que irão gerar um modelo de respostas ótimas as quais podem ser máximas ou mínimas, dependendo da sua natureza, empregando um número mínimo de experimentos

(CARDOSO-SANTIAGO; MOREIRA-ARAÚJO; ARÊAS, 2001; BARROS NETO; SACARMÍNIO; BRUNS, 2003).

Dentre os métodos empregados para planejamento experimental, a metodologia de superfície de resposta é uma importante ferramenta que correlaciona as propriedades dos produtos e os parâmetros de processo, com o objetivo de desenvolver, otimizar e analisar processos, produtos e formulações (THAKUR; SAXENA, 2000).

No processo de extrusão, essa metodologia tem sido utilizada com êxito por diversos autores na otimização e na avaliação dos processos estudados, tendo em vista que os atributos sensoriais dos extrusados dependem de um grande número de variáveis, dependentes (umidade do produto, expansão, atributos sensoriais, índices de absorção e de solubilidade em água, etc.) e independentes (umidade do material, temperatura do processamento, velocidade de rotação da rosca, etc.). As interações entre essas variáveis são tão complexas que às vezes tornam difícil distinguir a influência de cada uma delas na mudança das características do produto final.

Apesar do uso da MSR ter mostrado na extrusão de amiláceos elevado potencial e ser uma tecnologia relativamente simples, exige um controle sistemático das variáveis estudadas. Devido ao fato da maioria dos processos comerciais de extrusão serem baseados em observações empíricas, a necessidade de uma pequena sistemática das relações entre parâmetros de extrusão, composição do material e propriedades dos extrusados é essencial (CHEFTEL, 1986; CHEN et al., 1991; CARDOSO-SANTIAGO, 2002).

Portanto, a partir de todos os tópicos abordados, observa-se que a extrusão termoplástica aplicada a alimentos é um assunto complexo a ser tratado, pelo grande número de variáveis envolvidas, incluindo a composição alimentar, cuja inclusão do feijão-caupi como matéria-prima principal a ser utilizada no processo de extrusão para elaboração de *snacks* tem sido pouco explorada, tornando este estudo de grande importância quanto aos aspectos tecnológicos, nutricionais e socioeconômicos.

### 3. OBJETIVOS

#### 3.1 Geral

Avaliar os efeitos de parâmetros da extrusão termoplástica nas características físico-químicas de farinhas de cotilédone de feijão-caupi.

#### 3.2 Específicos

- ✓ Elaborar *snacks* a partir de 100% de farinha de cotilédone de feijão-caupi (FCFC) das cultivares BRS Novaera e BRS Guariba;
- ✓ Determinar as características físicas das farinhas estudadas: granulometria e o diâmetro médio da partícula;
- ✓ Analisar as características físico-químicas (umidade, cinzas, proteínas, lipídios, carboidratos, pH e acidez total titulável), valor energético total e teores de minerais (Ca, P, Mg, Na, K, Fe, Zn, Cu e Mn) das farinhas “in natura” e extrusadas das cultivares;
- ✓ Relacionar os efeitos da umidade da matéria-prima “in natura” e temperatura de extrusão sobre as características físico-químicas, valor energético total e teor de minerais.

## 4. METODOLOGIA

### 4.1 Local e período do estudo

As cultivares de feijão-caupi escolhidas para a pesquisa foram a BRS Guariba e a BRS Novaera, desenvolvidas pela Embrapa Meio-Norte (Teresina, PI, Brasil) e utilizadas, pois eram aquelas com maior disponibilidade de sementes e as mais comercializadas na época.

Os grãos de feijão-caupi foram decorticados no equipamento da marca Maqland, modelo DSF 2000, na Empresa Brasil Agropulses Ltda., Sorriso/MT. De cada cultivar, foram obtidos 60 kg de cotilédones de feijão-caupi, que foram transformados em farinhas de cotilédone de feijão-caupi (FCFC) “in natura” e extrusadas no Laboratório de Cereais, Raízes e Tubérculos da Universidade Estadual de Campinas/SP, onde também foram realizadas as análises físicas das farinhas supracitadas. As análises químicas e físico-químicas do estudo foram realizadas no Laboratório de Bromatologia da Embrapa Meio-Norte (Teresina, PI, Brasil), durante o biênio 2014/2015.

### 4.2 Preparo da farinha de cotilédone de feijão-caupi (FCFC)

Os cotilédones isentos de tegumento e eixo embrionário foram triturados em moinho de facas (Renard, modelo MFC 180-75-01) e transformados em farinha de cotilédone de feijão-caupi (FCFC) no moinho de rolos (Brabender, modelo Quadrumat Senior). Uma amostra representativa de cada FCFC foi submetida à análise granulométrica utilizando-se um tamizador, marca Produtest, e um conjunto de peneiras equivalentes a 14, 20, 35, 60, 80 e 100 *mesh*). O restante de cada FCFC “in natura” foi armazenado em sacos de polietileno a -18°C até o momento do preparo das farinhas de acordo com o delineamento experimental, para ser submetido ao processo de extrusão.

### 4.3 Delineamento experimental

As variáveis independentes controladas no processo foram: conteúdo de umidade da farinha e a temperatura de extrusão na 4ª zona. As variáveis dependentes foram: teor de cinzas, teor de proteínas, teor de lipídios, teor de

carboidratos, teor de pH, grau de acidez total titulável, conteúdo do VET e teor de minerais (Ca, P, Mg, Na, K, Fe, Zn, Cu e Mn) analisados nos *snacks* e nas FCFC extrusadas.

Para analisar o efeito das variáveis independentes sobre as dependentes ou respostas, nas características tecnológicas dos extrusados, foi utilizada a metodologia de superfície de resposta com delineamento do tipo central composto rotacional de 2ª ordem ( $2^2$ ) (Box et al., 1978), com um total de 12 tratamentos (Tabela 3), a saber:

- Quatro tratamentos correspondentes ao fatorial  $2^2$ , onde os dois fatores foram: X1 = temperatura na 4ª zona (°C) e X2 = umidade da matéria-prima, cada qual em dois níveis codificados como -1 e +1;
- Quatro tratamentos com níveis mínimo e máximo de cada fator (pontos axiais), codificados como  $-\alpha$  e  $+\alpha$ , respectivamente, sendo  $\alpha = 2^{1/2} = 1,414$  (Tabela 2);
- Um tratamento central repetido quatro vezes, onde os fatores estão todos no nível médio, codificado como zero.

**Tabela 1.** Parâmetros variáveis do processo de extrusão.

Variável independente	Nível				
	$-\alpha = -1,414$	-1	0	1	$\alpha = 1,414$
Temperatura de extrusão (°C)	124	130	145	160	166
Umidade da farinha crua (%)	16,16	17	19	21	21,84

A extrusão foi realizada em extrusor termoplástico (Werner & Pfleiderer, modelo ZSK-30), dupla rosca corrotacional e encaixadas, com velocidade de rotação da rosca de 260 rpm, taxa de alimentação de 13 kg/h, matriz com dois orifícios circulares de 2,8 mm de diâmetro, temperatura na 1ª zona fixada em 60°C, na 2ª zona em 95°C, a temperatura na 3ª zona (114, 120, 135, 150 e 156°C) sempre foi 10°C inferior à ajustada na 4ª zona. As variáveis independentes, temperatura de extrusão na 4ª zona (124, 130, 145, 160 e 166°C) e o teor de umidade da farinha “in natura” (16,16; 17; 19; 21 e 21,84%) (Tabela 1), foram utilizadas para obtenção dos *snacks* extrusados de FCFC, conforme o delineamento apresentado na Tabela 2.

**Tabela 2.** Delineamento experimental do processo de extrusão das FCFC.

T	Variáveis codificadas		Variáveis Independentes	
	X1	X2	T (°C)	U (%)
1	-1	-1	130	17
2	-1	+1	130	21
3	+1	-1	160	17
4	+1	+1	160	21
5	0	- 1,414	145	16,16
6	0	+ 1,414	145	21,84
7	- 1,414	0	124	19
8	+ 1,414	0	166	19
9	0	0	145	19
10	0	0	145	19
11	0	0	145	19
12	0	0	145	19

Legenda: T = tratamentos; X1 = temperatura de extrusão na 4ª zona (°C); X2 = umidade da farinha crua (%); T = temperatura de extrusão na 4ª zona; U= umidade da farinha crua.

#### 4.4 Extrusão das FCFC

Por sorteio, foi realizada primeiramente a extrusão da FCFC da cultivar BRS Guariba e os tratamentos apresentados na Tabela 2 foram processados em ordem aleatória. Uma vez executada a extrusão dos 12 tratamentos, utilizando a farinha da BRS Guariba, procedeu-se para a extrusão da FCFC da BRS Novaera, adotando-se os mesmos procedimentos.

Para realizar a extrusão das FCFC, foi preciso inicialmente adequar o teor de umidade das FCFC das duas cultivares para os valores de cada tratamento apresentado na Tabela 2. Para tal, foi necessário determinar o teor de umidade inicial das farinhas, determinada conforme a metodologia descrita no item 4.5.1. A quantidade de água adicionada às amostras foi calculada pela equação abaixo:

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

Onde:

Y = quantidade de água necessária a ser adicionada (mL);

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

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

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

A massa inicial de FCFC utilizada para cada tratamento foi de 5 kg e o ajuste para o teor de umidade desejado (condicionamento) foi realizado através da adição



lenta e gradual de água por gotejamento. O volume de água inicial foi mensurado com o auxílio de uma bureta graduada. Simultaneamente ao gotejamento, a haste misturadora da bateadeira planetária (Hypo, modelo BH12, Ferraz de Vasconcelos) promovia a homogeneização da FCFC com a água adicionada. Após finalizada a adição de água, a mistura foi realizada por mais 5 minutos e a FCFC com o teor de umidade ajustada foi armazenada overnight em embalagem de polietileno de alta densidade selada para uniformização da distribuição hídrica.

Antes do processo de extrusão, as FCFC foram retiradas da geladeira e deixadas em temperatura ambiente por duas horas. As FCFC das cultivares BRS Guariba e BRS Novaera, constituídos com 100% de feijão-caupi, foram processadas no extrusor. A partir do momento que a extrusora iniciou o processo, a coleta das amostras de cada tratamento só foi realizada quando as 4 (quatro) zonas alcançaram e se estabilizaram nas temperaturas apresentadas no delineamento proposto. Durante o processo, o sistema de corte dos *snacks* com faca rotativa foi acionado na velocidade de 29 rpm.

As faixas de estudo de cada variável independente do processo de extrusão foram baseadas em dados de literatura que utilizaram farinhas semelhantes, testes preliminares e dentro das condições de operacionais do extrusor utilizado.



**Figura 1:** Extrusor termoplástico dupla-rosca utilizado na elaboração dos *snacks* extrusados.

Fonte: Arquivo pessoal

#### 4.5 Elaboração das FCFC extrusadas

Após a extrusão, os *snacks* foram secos parcialmente em tambor rotativo (Inbramaq, modelo 2068, Ribeirão Preto, Brasil), aquecidos a  $95^{\circ}\text{C}/1$  min.. A secagem complementar foi realizada em estufa de circulação forçada de ar a  $80 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$  (Tecnal, modelo TE-394/2, Piracicaba, Brasil) até atingir umidade entre 6 a 8%. Em seguida, foram triturados em liquidificador blender (OXY, modelo OBL 10/2, Santana de Parnaíba, Brasil), a 35.000 rpm por três min. e peneirados em malha de 0,5 mm. Em seguida, as farinhas foram acondicionadas em embalagens de polietileno devidamente seladas e armazenados à temperatura ambiente até o momento das análises.

## 4.6 Granulometria

A granulometria da farinha foi determinada utilizando-se um tamizador (marca Produtest) e um conjunto de peneiras equivalentes a 14, 20, 35, 60, 80 e 100 *mesh*. As quantidades retidas foram pesadas e as respectivas porcentagens calculadas. Logo após, as FCFC “in natura” foram armazenadas em sacos de polietileno a -18°C até o momento da elaboração dos *snacks* extrusados.

## 4.7 Diâmetro Médio da Partícula

A determinação foi realizada pelo método descrito por Henderson e Perry (1976), através da fórmula:

$$D = 104,14 \times 2^{MF}$$

D = diâmetro médio da partícula em micrômetros

MF = módulo de finura, definido como a soma das frações retidas acumuladas em cada peneira dividido por 100 (MF =  $\Sigma\%$  retida acumulada/100)

## 4.8 Análises das características físico-químicas e Valor energético total (VET)

A determinação da composição físico-química foi realizada nas farinhas de cotilédone de feijão-caupi cruas e extrusadas das duas cultivares, em triplicata. Foram realizadas as seguintes análises: umidade, cinzas, proteínas, lipídios, carboidratos, pH e acidez total titulável.

### 4.8.1 Composição centesimal

#### 4.8.1.1 Umidade

A umidade foi analisada de acordo com o método 950.46, adotado pela AOAC (2010), método 934.01. Amostras de 2,0 g foram pesadas em cápsulas de porcelana, previamente taradas, e levadas à estufa de secagem a 105°C durante 6 horas. Em seguida, resfriadas em dessecador até a temperatura ambiente e pesadas.

$$\text{Umidade} = \frac{100 \times N}{P}$$

Onde:

N = n° de gramas de umidade (perda de massa em g)

P = n° de gramas da amostra

#### 4.8.1.2 Cinzas

A matéria mineral foi determinada de acordo com a metodologia adotada pela AOAC (2010), método 920.39. Amostras pesando 3,0 g foram carbonizadas, em cadinhos de porcelana, levadas ao forno mufla e calcinadas completamente à temperatura de 550°C por 4 h. O valor da matéria mineral foi determinado pela diferença dos pesos inicial e final dos cadinhos.

#### 4.8.1.3 Proteínas

As proteínas totais foram determinadas segundo o método de Kjeldahl, método 923.04 da AOAC (2010). Balões de Kjeldahl contendo 0,2 g da amostra, embrulhadas em papel filtro, 0,5 g de mistura digestora e 4,0 mL de ácido sulfúrico concentrado foram levados para um bloco digestor e deixados por 1 h após atingir 400°C. Após esfriar, foram adicionados 10 mL de água destilada e o material digerido foi transferido para tubos do destilador. Em erlenmeyers de 125 mL, foram transferidos 10 mL da solução de ácido bórico a 1%, juntamente com o indicador vermelho de metila e verde de bromocresol. Para o reservatório do aparelho de destilação micro-Kjeldahl, foram transferidos, através de copo abastecedor, aproximadamente 30 mL da solução de hidróxido de sódio a 50%. Em seguida, o destilado foi titulado com solução de ácido sulfúrico 0,01 N em micro bureta. Também foi feita uma prova em branco, usando mistura digestora e ácido sulfúrico. Esta análise foi calculada através da determinação do nitrogênio, pelo método de Kjeldahl, usando o fator de conversão de 6,25. A mesma metodologia foi empregada com modificações, utilizando-se também o fator de conversão de 5,75 para calcular concentração proteica dos produtos.

#### 4.8.1.4 Lipídios

O teor de lipídios totais (correspondentes à fração extrato etéreo) foi determinado em triplicata, segundo o método 960.52 da AOAC (2010). Foram

pesados 3g da amostra e depositados em cartuchos de papel filtro, sendo, então acoplados em conjunto de Soxlet com balões de tara conhecida e devidamente anotada. Sobre os cartuchos foram adicionados 200 mL de éter de petróleo. O banho-maria do conjunto foi ligado e deixado em refluxo por 6 horas. Os balões foram retirados e o éter evaporado em estufa de ar circulante a 105°C por 2 horas. Decorridas estas etapas, os balões foram retirados, esfriados em dessecador e pesados.

#### 4.8.1.5 Carboidratos

O teor de carboidratos totais foi calculado em base seca por diferença dos demais constituintes analisados (100 - cinzas (%) - proteínas (%) - lipídios (%)), de forma que o total some 100% (AOAC, 2010).

#### 4.8.2 Potencial hidrogeniônico (pH)

O pH foi averiguado utilizando-se pHmetro digital (marca Lucadema, modelo Luca-210) em triplicata. Foram pesadas 10g da amostra em um béquer de 250 mL, adicionando-se 100 mL de água destilada. Em seguida, foi agitado em agitador magnético durante 30 minutos, sendo em seguida deixado em repouso por 10 minutos. O líquido sobrenadante decantado foi colocado em um frasco seco e o pH foi imediatamente determinado inserindo o eletrodo do pH-metro na amostra (AOAC, 2010).

#### 4.8.3 Acidez total titulável (ATT)

Após o pH ter sido determinado, manteve-se o pHmetro digital ligado. Sob agitação magnética constante, titulou-se com a solução padronizada de NaOH a 0,1 N até atingir o pH 8,2 no pHmetro, anotando-se o volume gasto. A acidez total foi expressa em gramas de ácido por 100 g (AOAC, 2010).

#### 4.9 Valor energético total (VET)

O valor calórico foi estimado utilizando-se os fatores de conversão de ATWATER: 4 kcal.g<sup>-1</sup> para proteínas, 4 kcal.g<sup>-1</sup> para carboidratos e 9 kcal.g<sup>-1</sup> para lipídios (WATT; MERRILL, 1963).

#### 4.10 Conteúdo de minerais

Para a determinação do Na e K, foram pesados 0,2 g da amostra e transferidos para tubos de digestão. Em seguida, foram adicionados aos tubos 5 mL da solução nitroperclórica (3:1) e levados ao bloco digestor, por aproximadamente 2 horas, elevando gradualmente a temperatura de 100 a 200°C. Após a digestão, os tubos foram evolumados com 20 mL de água destilada, a fim de se obter o extrato. As leituras foram realizadas em fotômetro de chama (marca micronal, modelo B462).

Para a determinação do Fe, Zn, Cu, Ca e Mg, após evolumar os tubos, foi transferido 0,2 mL do extrato para tubos de ensaio de 15 mL, com o auxílio de uma micropipeta. Em seguida, foram adicionados 3,5 mL de solução de cloreto de estrôncio 0,3% e 3,3 mL de água destilada. Procedeu-se à leitura em espectrofotômetro de absorção atômica (GBC, modelo 906AA) em condições específicas de comprimento de onda para cada elemento, a saber: Fe (248,3 nm), Zn (213,9 nm), Ca (422,7 nm), Cu (324,7 nm), Mg (285,2) e Mn (279,5 nm) (AOAC, 2010). O fósforo foi determinado colorimetricamente, sob comprimento de onda de 725 nm, pelo método de Chen, Toribara e Warner (1956). Todas as análises foram realizadas em duplicata.

$$\text{Cálculo: \% Mineral} = \text{valor da leitura em ppm}/10000$$

#### 4.11 Análise estatística

Para a análise estatística dos resultados experimentais foi utilizado o modelo:

$$y_k = b_0 + \sum_{i=1}^{41} b_{ik} x_{ik} + \sum_{i=1}^{41} \sum_{j=1}^{41} b_{ijk} x_{ik} x_{jk} + e_k$$

onde:

$y_{k=}$  valor observado da variável dependente no nível  $K$ ,  $K = 1, \dots, 30$ ;

$x_{iK}$  =  $i$ -ésima variável independente, no nível  $K$ ,  $i = 1, 2, 3, 4$ ;

$b_0$  = parâmetro do modelo, independente de  $x$ ;

$b_i$  = parâmetros correspondentes aos efeitos lineares de  $x_i$ ;

$b_{ij}$  = parâmetros correspondentes aos efeitos de 2ª ordem de  $x_i x_j$ ,  $i = 1, 2, 3, 4$   $j = 1, \dots, 4$ ;

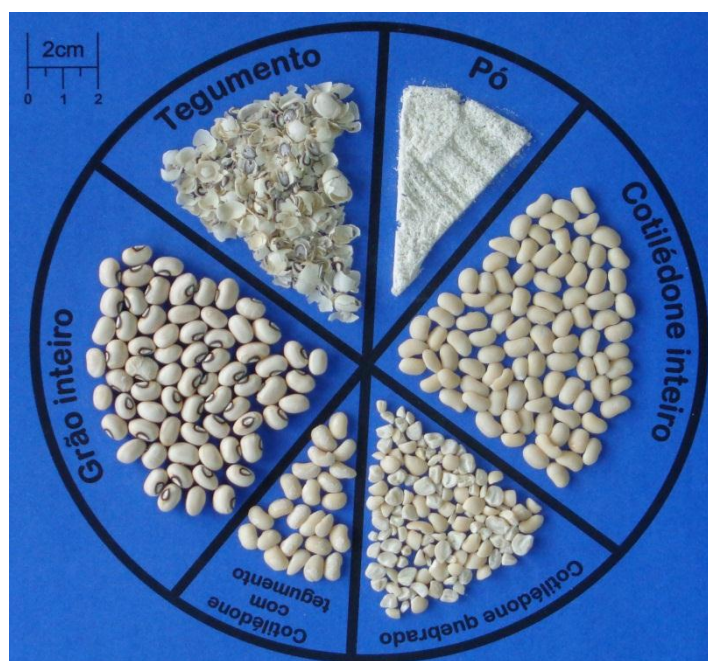
$e_k$  = erro experimental associado à  $k$ -ésima parcela.

A significância do modelo foi testada pela análise de variância (ANOVA) e do valor do coeficiente de determinação ( $R^2$ ), sendo adotado o nível de significância de 5%. Na análise dos dados realizada pelo software Statistica 10.0, inicialmente foi executada a análise de variância (ANOVA), em seguida determinados os coeficientes de regressão do modelo incluindo todos os parâmetros (linear, quadrática e de interação). A metodologia de superfície de resposta foi utilizada na construção dos gráficos tridimensionais.

Para as variáveis dependentes que não geraram modelo preditivo e nem tendência, isto é, quando o valor do coeficiente de determinação ( $R^2$ ) foi inferior a 0,80, os resultados foram analisados por comparação de médias, analisadas pelo teste de Teste de Scott-knott ( $p < 0,05$ ), utilizando o software SISVAR 5.1 (Ferreira, 2011).

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os grãos de feijão-caupi, os cotilédones, as cascas dos grãos, os *snacks* extrusados e as FCFC extrusadas das cultivares BRS Guariba e BRS Novaera estão apresentados nas figuras abaixo.

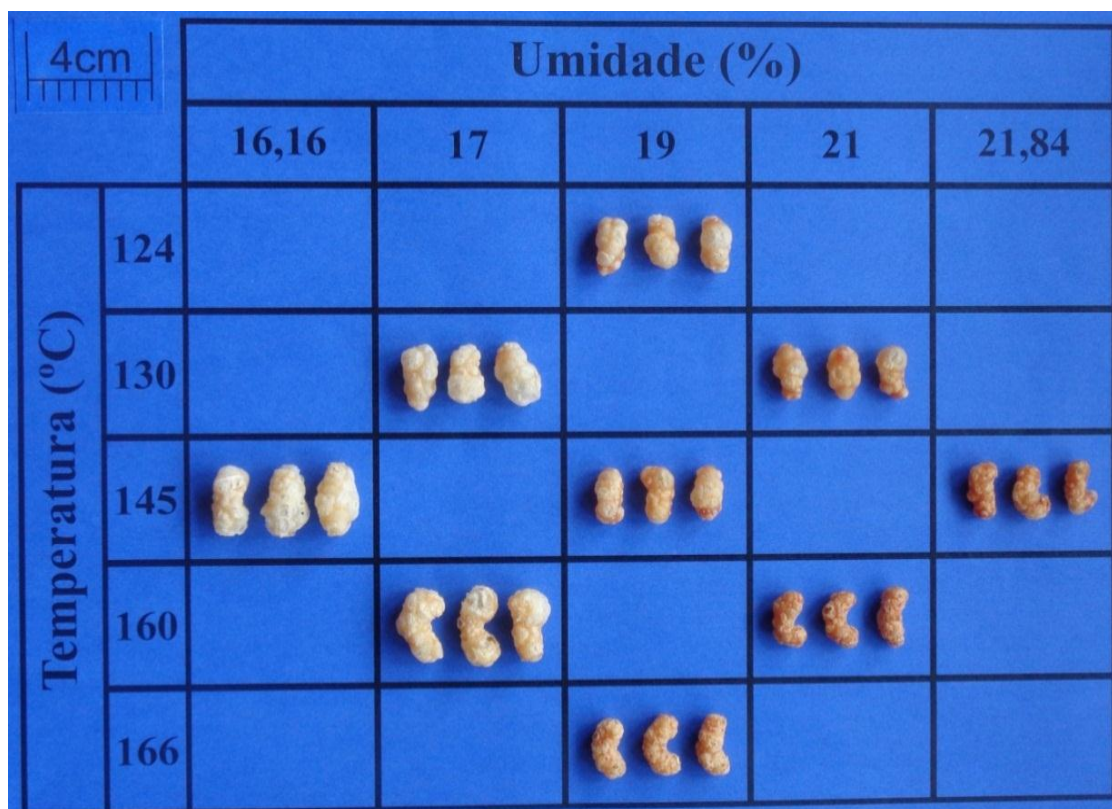


**Figura 2:** Partes do grão de feijão-caupi, após passagem pelo decortificador, cultivar BRS Guariba.  
Fonte: Arquivo pessoal



**Figura 3:** Partes do grão de feijão-caupi, após passagem pelo decortificador, cultivar BRS Novaera.  
Fonte: Arquivo pessoal





**Figura 4** - Snacks extrusados de farinha de cotilédone de feijão-caupi da cultivar BRS Guariba e as respectivas condições do processo.

Fonte: Arquivo pessoal



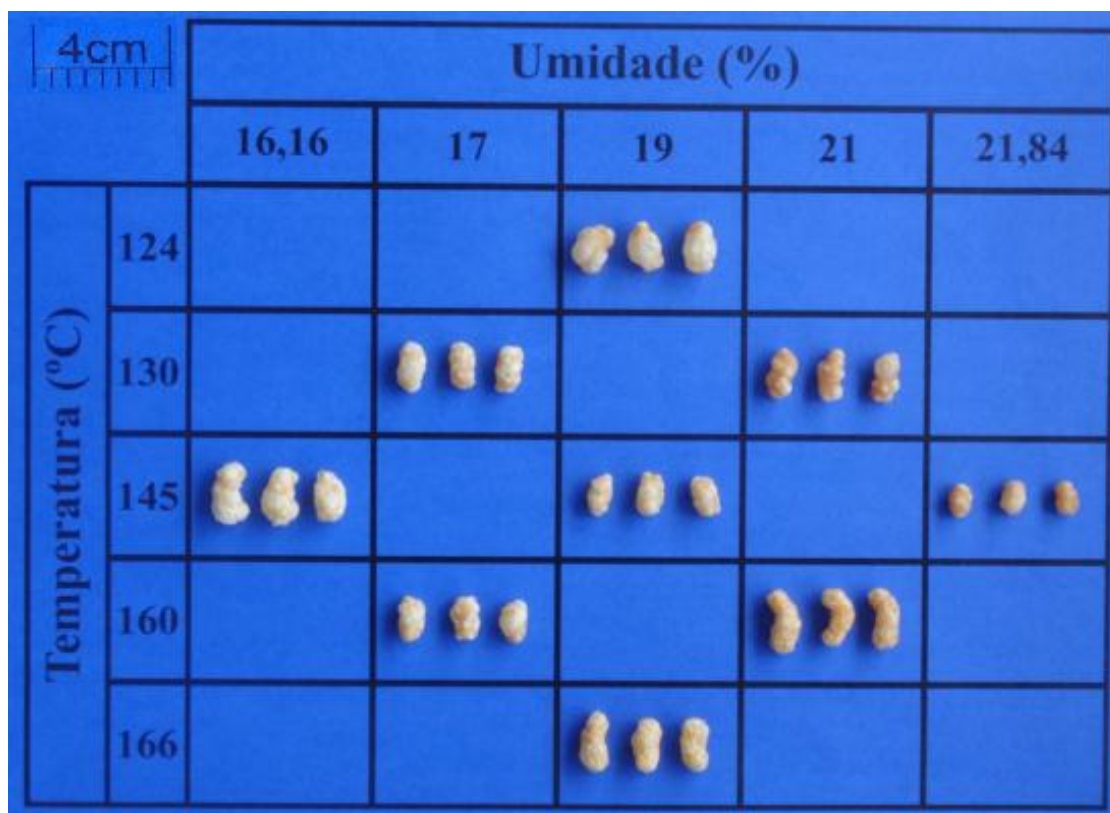
**Figura 5** - FCFC extrusadas referente aos tratamentos 1 a 6 da cultivar BRS Guariba da esquerda para a direita.

Fonte: Arquivo pessoal



**Figura 6** - FCFC extrusadas referente aos tratamentos 7 a 12 da cultivar BRS Guariba da esquerda para a direita.

Fonte: Arquivo pessoal



**Figura 7** - Snacks extrusados de farinha de cotilédone de feijão-caupi da cultivar BRS Novaera e as respectivas condições do processo.

Fonte: Arquivo pessoal



**Figura 8** - FCFC extrusadas referente aos tratamentos 1 a 6 da cultivar BRS Novaera da esquerda para a direita.

Fonte: Arquivo pessoal



**Figura 9** - FCFC extrusadas referente aos tratamentos 7 a 12 da cultivar BRS Novaera da esquerda para a direita.

Fonte: Arquivo pessoal

### 5.1 Análise granulométrica

Os resultados observados para a granulometria e diâmetro médio das partículas (DMP) das farinhas de cotilédone de feijão-caupi (FCFC) “in natura” das cultivares BRS Guariba e BRS Novaera estão apresentados na Tabela 3.

**Tabela 3.** Análise granulométrica e diâmetro médio das partículas (DMP) das FCFC “in natura” das cultivares BRS Guariba e BRS Novaera.

Abertura da peneira (mm)	Abertura da peneira (mesh)	BRS Guariba	BRS Novaera	BRS Guariba	BRS Novaera
		Porcentagem retida (%) <sup>1</sup>			
1,4	14	0,68 ± 0,04 f	0,27 ± 0,05 f	660,96	413
0,85	20	3,09 ± 0,21 e	0,73 ± 0,02 f		
0,5	35	21,42 ± 1,28 b	3,91 ± 0,15 e		
0,25	60	44,83 ± 0,69 a	42,13 ± 0,48 a		
0,18	80	10,41 ± 0,23 d	20,99 ± 0,23 c		
0,15	100	4,18 ± 0,15 e	7,07 ± 0,54 d		
0,0	Fundo	14,69 ± 0,69 c	23,67 ± 1,00 b		

Legenda: <sup>1</sup>Resultados apresentados como média ± desvio-padrão de três replicatas. <sup>2</sup>DMP = Diâmetro Médio das Partículas. Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. Fonte: Dados da pesquisa, Teresina-PI, 2016.

Observou-se que as duas cultivares apresentaram dimensões de partículas heterogêneas após a análise das granulometrias das FCFC “in natura”. Na cultivar BRS Guariba, 44,8% da farinha ficou retida na abertura de 60 mesh e o restante (55,2%) se distribuiu, principalmente, nas peneiras de 35 mesh (21,4%), 80 mesh (10,41%) e no fundo (14,69%). De forma semelhante ocorreu na cultivar BRS Novaera, onde 42% da farinha ficou retida na peneira de 60 mesh, entretanto, o restante da farinha (58%) se distribuiu de forma mais homogênea em relação à cultivar anterior, se concentrando, principalmente, no fundo (23,67%) e na peneira de 80 mesh (21%) (Tabela 3).

Carvalho et al. (2012a) observaram em seu trabalho com farinhas de quirera de arroz e bandinhas de feijão tipo carioca, que, a maior parte das partículas (61,58 e 84,23%, respectivamente) ficou retida na peneira de 20 mesh, ao contrário do observado neste estudo, evidenciando que as matérias-primas apresentaram uma distribuição de partículas relativamente homogênea. A granulometria das partículas do produto é um parâmetro importante a ser investigado antes da extrusão, pois pode influenciar diretamente na qualidade final do extrusado.

## 5.2 Diâmetro médio da partícula

A Tabela 3 mostra o diâmetro médio das partículas das FCFC “in natura” das cultivares BRS Guariba e BRS Novaera, calculados com os resultados das análises granulométricas obtidos. Observa-se que o diâmetro médio das partículas da FCFC “in natura” da cultivar BRS Guariba foi maior (660,96  $\mu\text{m}$ ) do que o verificado nas partículas da FCFC da cultivar BRS Novaera (413  $\mu\text{m}$ ). Este fato ocorreu tendo em vista que a maior parte das partículas retidas durante a análise granulométrica da farinha BRS Guariba tinha um diâmetro maior que o observado da farinha BRS Novaera.

Milalouk et al. (2014) afirmam que matérias-primas com o tamanho das partículas variando significativamente podem resultar em um produto final com qualidade inferior, sendo importante o controle granulométrico da matéria-prima. Este fato baseia-se no princípio da difusividade da água, segundo o qual as partículas de menor tamanho serão as que mais rapidamente absorverão água em detrimento das demais. O produto final poderá conter partículas indesejáveis com diferentes graus de cocção, resultando na diminuição da qualidade tanto na aparência como na palatabilidade do produto final (CARVALHO et al., 2009).

A legislação brasileira afirma que a farinha de trigo para uso doméstico e industrial deve possuir diâmetro médio de partícula igual ou inferior a 250  $\mu\text{m}$  (INMETRO, 2014), não existindo uma legislação específica para a farinha de feijão-caupi. Observa-se, portanto, que os valores obtidos neste trabalho foram maiores que o citado pela legislação para o trigo. Rios (2014) obteve em seu estudo com farinhas decorticadas de cinco cultivares (BRS Guariba, BRS Cauamé, BRS Xiquexique, BRS Novaera e BRS Itaim) de feijão-caupi, diâmetros que variaram de 261,4 a 306,2  $\mu\text{m}$  e Lira Filho (2002) determinou o diâmetro médio da partícula de 315,7  $\mu\text{m}$  em farinha integral “in natura” de feijão-caupi da cultivar Epace-10. Certamente, as maiores porcentagens de farinha retida nestes trabalhos foram compostas, em maior proporção, por partículas de menor diâmetro, o que ocasionou, portanto, um menor valor no diâmetro médio das partículas.

### 5.3 Características físico-químicas

#### 5.3.1 Composição centesimal

##### 5.3.1.1 Cinzas

Os resultados do conteúdo de cinzas das FCFC extrusadas e “in natura” de cotilédone de feijão-caupi das cultivares BRS Guariba e BRS Novaera estão apresentados na Tabela 4.

Nas FCFC “in natura” e extrusadas da cultivar BRS Guariba foi verificada variação significativa de 3,48 a 4,22%, sendo observados dois grupos cujas médias diferenciaram significativamente entre si. Os tratamentos 9 e 10 (145°C/19%) apresentaram teores significativamente inferiores, 3,59 e 3,48%, respectivamente (Tabela 4). Na FCFC “in natura” da mesma cultivar, a quantidade de cinzas obtida foi estatisticamente igual (4,22%) ao verificado na maioria das FCFC extrusadas. Fato semelhante foi observado no estudo de Marques (2013) que constatou, na condição de alta temperatura (190°C) e umidade (28%), teor de cinzas de 3,51% e 3,44% na farinha integral de feijão-caupi BRS Milênio “in natura” e extrusada, respectivamente, e também não observou diferença estatisticamente significativa entre os valores. Maia et al. (1999) também obtiveram teores semelhantes aos deste estudo (3,46%) em farinha extrusada integral de feijão-caupi Br 1-Poty, a 23% de umidade. Essas diferenças nas farinhas são decorrentes de vários fatores como cultivar, clima, solo, ponto de colheita, variabilidade genética, matéria-prima e outros (SOUZA et al., 2008).

Nas FCFC extrusadas da cultivar BRS Novaera não houve diferença significativa entre as médias dos tratamentos ( $p < 0,05$ ), sendo a média do teor de cinzas de 3,93%. Observou-se que a FCFC “in natura” da mesma cultivar apresentou conteúdo de cinzas (3,04%) significativamente menor em relação às farinhas extrusadas. Cavalcante (2015) determinou teores maiores em seu estudo com farinhas integrais de cinco cultivares de feijão-caupi (BRS Marataoã, BRS Gurguéia, BRS Itaim, BRS Cauamé e BRS Guariba) que variaram de 3,69 a 4,5%.

**Tabela 4.** Teor de cinzas, proteínas e lipídios (g/100g base seca) das FCFC “in natura” e extrusadas das cultivares BRS Guariba e BRS Novaera.

T	Variáveis Independentes		Cinzas*		Proteínas*				Lipídios*	
	T (°C)	U (%)	BRS Guariba	BRS Novaera	BRS Guariba**	BRS Guariba***	BRS Novaera**	BRS Novaera***	BRS Guariba	BRS Novaera
1	130	17	4,12 ± 0,23 a	3,95 ± 0,08 a	27,73 ± 0,12 c	25,51 ± 0,11 c	24,26 ± 0,03 a	22,32 ± 0,03 a	0,37 ± 0,12 b	0,15 ± 0,04 c
2	130	21	4,17 ± 0,08 a	4,06 ± 0,16 a	28,09 ± 0,17 b	25,84 ± 0,16 b	24,17 ± 0,06 a	22,23 ± 0,05 a	0,25 ± 0,15 c	0,21 ± 0,04 c
3	160	17	4,03 ± 0,17 a	3,95 ± 0,05 a	27,39 ± 0,14 c	25,20 ± 0,13 c	23,89 ± 0,51 a	21,98 ± 0,47 a	0,19 ± 0,12 c	0,17 ± 0,08 c
4	160	21	4,07 ± 0,22 a	3,97 ± 0,02 a	27,45 ± 0,20 c	25,26 ± 0,19 c	23,89 ± 0,10 a	21,98 ± 0,09 a	0,28 ± 0,05 c	0,17 ± 0,10 c
5	145	16,16	4,12 ± 0,08 a	3,90 ± 0,10 a	28,17 ± 0,24 b	25,92 ± 0,22 b	23,81 ± 0,13 a	21,91 ± 0,12 a	0,44 ± 0,09 b	0,11 ± 0,03 c
6	145	21,84	4,10 ± 0,23 a	3,99 ± 0,08 a	28,08 ± 0,15 b	25,84 ± 0,14 b	24,38 ± 0,59 a	22,43 ± 0,55 a	0,31 ± 0,13 c	0,30 ± 0,12 b
7	124	19	4,01 ± 0,12 a	3,98 ± 0,04 a	28,90 ± 0,81 a	26,59 ± 0,74 a	24,32 ± 0,21 a	22,38 ± 0,19 a	0,47 ± 0,02 b	0,37 ± 0,06 b
8	166	19	4,10 ± 0,03 a	3,93 ± 0,02 a	27,47 ± 0,35 c	25,28 ± 0,32 c	24,72 ± 0,22 a	22,74 ± 0,20 a	0,31 ± 0,05 c	0,35 ± 0,14 b
9	145	19	3,59 ± 0,38 b	3,92 ± 0,03 a	28,91 ± 0,49 a	26,60 ± 0,45 a	24,10 ± 0,24 a	22,17 ± 0,22 a	0,45 ± 0,04 b	0,27 ± 0,10 b
10	145	19	3,48 ± 0,80 b	3,90 ± 0,01 a	28,43 ± 0,34 a	26,15 ± 0,31 a	23,90 ± 0,09 a	21,99 ± 0,08 a	0,51 ± 0,10 b	0,25 ± 0,04 b
11	145	19	4,09 ± 0,22 a	3,95 ± 0,06 a	27,98 ± 0,13 b	25,74 ± 0,12 b	24,30 ± 0,59 a	22,36 ± 0,55 a	0,46 ± 0,18 b	0,32 ± 0,04 b
12	145	19	4,17 ± 0,04 a	3,94 ± 0,04 a	28,65 ± 0,16 a	26,36 ± 0,14 a	24,46 ± 0,10 a	22,50 ± 0,09 a	0,15 ± 0,03 c	0,35 ± 0,03 b
Média			4,00	3,93	28,11	25,86	24,18	22,25	0,35	0,25
FCFC	-----		4,22 ± 0,03 a	3,04 ± 0,05 b	23,98 ± 0,28 d	22,06 ± 0,26 d	21,08 ± 0,36 b	19,40 ± 0,33 b	1,89 ± 0,10 a	1,73 ± 0,07 a

Legenda: T = tratamento; FCFC = farinha de cotilédone de feijão-caupi;

\*Médias em triplicata ± desvio-padrão

\*\*Médias proteicas calculadas através do  $F_c$  6,25

\*\*\*Médias proteicas calculadas através do  $F_c$  5,75

Médias com letras iguais nas colunas não apresentam diferenças estatisticamente significativas, ao nível de 5%, segundo teste de Scott-Knott.

Fonte: Dados da pesquisa, Teresina-PI, 2016.

O coeficiente de determinação ( $R^2$ ) do teor de cinzas da cultivar BRS Guariba foi de 31,8%, não sendo significativo para os parâmetros de extrusão estudados, indicando, portanto, um baixo ajuste do modelo aos dados (Tabela 5). Ao contrário, o coeficiente de correlação múltipla ( $R^2$ ) da cultivar BRS Novaera foi de 84,5%, indicando um bom ajuste do modelo aos dados, observando-se foram significativos os efeitos linear da temperatura e da umidade e o efeito quadrático da temperaturas sobre o teor de cinzas (Tabela 6). A equação abaixo descreve o teor de cinzas da cultivar BRS Novaera previsto pelo modelo matemático em função das variáveis independentes codificadas (Equação 1) utilizando somente os coeficientes de regressão estatisticamente significativos ( $p < 0,05$ ).

$$\text{Teor de cinzas BRS Novaera} = 3,93 - 0,02x + 0,02x^2 + 0,03 y^2 \text{ (Equação 1)}$$

**Tabela 5.** Coeficiente de regressão e ANOVA para o teor de cinzas das FCFC extrusadas da cultivar BRS Guariba.

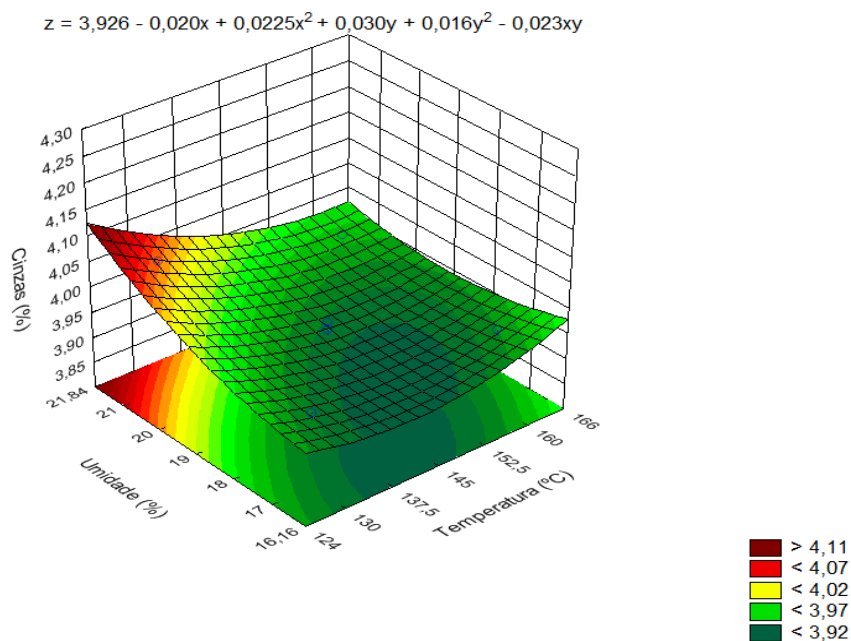
	<b>Coeficiente de regressão</b>	<b>Erro padrão</b>	<b>t(6)</b>	<b>p-valor</b>
<b>Média*</b>	<b>3,833692</b>	<b>0,126265</b>	<b>30,36223</b>	<b>0,000000</b>
(1) Temperatura (L)	-0,008852	0,089283	-0,09915	0,924248
Temperatura (Q)	0,114424	0,099821	1,14628	0,295328
(2) Umidade (L)	0,008589	0,089283	0,09620	0,926495
Umidade (Q)	0,141456	0,099821	1,41709	0,206228
T*U	-0,001295	0,126265	-0,01025	0,992151
$R^2$	0,318			
p	0,729			
Fc	0,561			

Valores em negrito e com asterisco indicam valores estatisticamente significativos. Fonte: Dados da pesquisa, Teresina-PI, 2016.

**Tabela 6.** Coeficiente de regressão e ANOVA para o teor de cinzas das FCFC extrusadas da cultivar BRS Novaera.

	<b>Coeficiente de regressão</b>	<b>Erro padrão</b>	<b>t(6)</b>	<b>p-valor</b>
<b>Média*</b>	<b>3,926026</b>	<b>0,011452</b>	<b>342,8359</b>	<b>0,000000</b>
(1) <b>Temperatura (L)*</b>	<b>-0,020368</b>	<b>0,008098</b>	<b>-2,5154</b>	<b>0,045572</b>
<b>Temperatura (Q)*</b>	<b>0,022505</b>	<b>0,009053</b>	<b>2,4859</b>	<b>0,047426</b>
(2) <b>Umidade (L)*</b>	<b>0,030380</b>	<b>0,008098</b>	<b>3,7517</b>	<b>0,009490</b>
Umidade (Q)	0,016633	0,009053	1,8372	0,115819
T*U	-0,023629	0,011452	-2,0634	0,084662
$R^2$	0,845			
p	0,020			
Fc	6,542			

Valores em negrito e com asterisco indicam valores estatisticamente significativos. Fonte: Dados da pesquisa, Teresina-PI, 2016.



**Figura 10** – Efeito da temperatura do processo de extrusão e do conteúdo de umidade sobre o teor de cinzas das FCFC extrusadas da cultivar BRS Novaera.

### 5.3.1.2 Proteínas

Os conteúdos proteicos das FCFC extrusadas e “in natura” das cultivares BRS Guariba e Novaera foram calculados através dos fatores de conversão ( $F_c$ ) de 6,25, usualmente utilizado, e de 5,75, respectivamente destinados aos cálculos das concentrações de proteínas de carnes e de proteínas vegetais (Tabela 4). Esta diferenciação foi realizada para efeito de comparação, tendo em vista que a utilização nas análises somente do fator de conversão de 6,25 pode superestimar os valores proteicos nas farinhas, supondo que todo o nitrogênio seja proveniente de proteínas, o que não ocorre nos alimentos vegetais e em alguns alimentos industrializados, como a FCFC.

Em relação às concentrações proteicas das FCFC extrusadas da cultivar BRS Guariba, verificou-se variação estatisticamente significativa de 27,39 a 28,91% e de 25,20 a 26,36%, respectivamente obtidas dos  $F_c$  de 6,25 e de 5,75. Nas duas varrições, os teores significativamente maiores foram observados nos tratamentos 7 (124°C/19%), 9 (145°C/19%), 10 (145°C/19%) e 12 (145°C/19%), caracterizados pela baixa/média temperatura e umidade, e os menores teores obtidos nos tratamentos 1 (130°C/17%), 3 (160°C/17%), 4 (160°C/21%) e 8 (166°C/19%), a maioria com alta temperatura.



Nas FCFC extusadas da cultivar BRS Novaera, não foram observadas diferenças estatisticamente significativas entre as médias dos tratamentos obtidas com os dois fatores de conversão, sendo as médias de concentração proteica de 24,18% e de 22,25%, respectivamente obtidas pela utilização do F<sub>c</sub> de 6,25 e de 5,75. De maneira geral, observa-se que os teores de proteínas determinados na cultivar BRS Novaera foram inferiores aos verificados na cultivar BRS Guariba, decorrentes de vários fatores como cultivar, clima, solo, ponto de colheita, variabilidade genética, matéria-prima e outros (SOUZA et al., 2008).

A Tabela 4 mostra que os teores proteicos das FCFC “in natura” das cultivares BRS Guariba (23,98%) e BRS Novaera (21,08%) foram estatisticamente menores do que os determinados nas respectivas FCFC extrusadas, independente do fator de conversão utilizado. Apesar das mudanças estruturais normalmente observadas nas proteínas durante o processo de extrusão, e que levam à diminuição deste nutriente, este fato não foi observado neste trabalho. Este aumento no teor proteico durante a extrusão também foi reportado por outras pesquisas. Silva (2005) estudou a composição físico-química de farinhas de feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) e verificou um aumento significativo no teor proteico da farinha extrusada (26,38%), em relação à farinha “in natura” (23,18%). Gomes et al. (2006) também observaram um aumento nos conteúdos proteicos de 23,18% para 26,38% quando analisaram farinha “in natura” e extrusada de feijão-caupi, respectivamente, concluindo que o alto teor proteico é um bom índice de adequação do uso da farinha de feijão em alimentos formulados. Semelhantemente, Lira Filho (2002) determinou em seu trabalho com farinhas de feijão-caupi integral “in natura” e extrusada da cultivar BRS Epace-10, um aumento no teor proteico da farinha processada, tendo observado teores de 23,65 e média de 25,5%, respectivamente. Marques (2013) analisou farinhas integrais “in natura” e extrusada de feijão-caupi da cultivar BRS Milênio, esta última elaborada em condições de alta temperatura (190°C) e umidade (28%), obteve conteúdos de 23,72 e 25,61%, respectivamente, maiores que os analisados neste trabalho para a cultivar BRS Novaera.

Os coeficientes de determinação calculados para os conteúdos de proteína das FCFC extrusadas da cultivar BRS Guariba foram os mesmos obtidos através do F<sub>c</sub> de 6,25 e de 5,75 (64,6%), e de 29,5% para as FCFC extrusadas da cultivar BRS Novaera calculado com os dois fatores. De forma geral, observou-se que eles

não foram significativos para os parâmetros de extrusão estudados (Tabelas 7, 8, 9 e 10), demonstrando que nenhum deles influenciou na concentração de proteínas dos *snacks*.

**Tabela 7.** Coeficiente de regressão e ANOVA para o teor de proteínas das FCFC extrusadas da cultivar BRS Guariba, com cálculo através do Fc de 6,25.

	<b>Coeficiente de regressão</b>	<b>Erro padrão</b>	<b>t(6)</b>	<b>p-valor</b>
<b>Média*</b>	<b>28,49152</b>	<b>0,216695</b>	<b>131,4824</b>	<b>0,000000</b>
(1) Temperatura (L)	-0,37491	0,153226	-2,4468	0,050009
Temperatura (Q)	-0,27474	0,171312	-1,6038	0,159888
(2) Umidade (L)	0,03679	0,153226	0,2401	0,818247
Umidade (Q)	-0,30479	0,171312	-1,7792	0,125520
T*U	-0,07353	0,216695	-0,3393	0,745937
R <sup>2</sup>	0,646			
p	0,184			
Fc	2,189			

Valores em negrito e com asterisco indicam valores estatisticamente significativos. Fonte: Dados da pesquisa, Teresina-PI, 2016.

**Tabela 8.** Coeficiente de regressão e ANOVA para o conteúdo de proteínas das FCFC extrusadas da cultivar BRS Novaera, com cálculo através do Fc de 6,25.

	<b>Coeficiente de regressão</b>	<b>Erro padrão</b>	<b>t(6)</b>	<b>p-valor</b>
<b>Média*</b>	<b>24,19012</b>	<b>0,156585</b>	<b>154,4854</b>	<b>0,000000</b>
(1) Temperatura (L)	-0,00995	0,110722	-0,0899	0,931287
Temperatura (Q)	0,10115	0,123791	0,8171	0,445093
(2) Umidade (L)	0,08821	0,110722	0,7967	0,456002
Umidade (Q)	-0,11142	0,123791	-0,9000	0,402775
T*U	0,02135	0,156585	0,1364	0,895986
R <sup>2</sup>	0,295			
p	0,767			
Fc	0,501			

Valores em negrito e com asterisco indicam valores estatisticamente significativos. Fonte: Dados da pesquisa, Teresina-PI, 2016.

**Tabela 9.** Coeficiente de regressão e ANOVA para o teor de proteínas das FCFC extrusadas da cultivar BRS Guariba, com cálculo através do Fc de 5,75.

	<b>Coeficiente de regressão</b>	<b>Erro padrão</b>	<b>t(6)</b>	<b>p-valor</b>
<b>Média*</b>	26,21220	0,199359	131,4824	0,000000
(1) Temperatura (L)	-0,34492	0,140968	-2,4468	0,050009
Temperatura (Q)	-0,25276	0,157607	-1,6038	0,159888
(2) Umidade (L)	0,03385	0,140968	0,2401	0,818247
Umidade (Q)	-0,28041	0,157607	-1,7792	0,125520
T*U	-0,06764	0,199359	-0,3393	0,745937
R <sup>2</sup>	0,646			
p	0,184			
Fc	2,189			

Valores em negrito e com asterisco indicam valores estatisticamente significativos. Fonte: Dados da pesquisa, Teresina-PI, 2016.

**Tabela 10.** Coeficiente de regressão e ANOVA para o conteúdo de proteínas das FCFC extrusadas da cultivar BRS Novaera, com cálculo através do Fc de 5,75.

	<b>Coeficiente de regressão</b>	<b>Erro padrão</b>	<b>t(6)</b>	<b>p-valor</b>
<b>Média*</b>	<b>22,25491</b>	<b>0,144059</b>	<b>154,4844</b>	<b>0,000000</b>
(1) Temperatura (L)	-0,00916	0,101865	-0,0899	0,931301
Temperatura (Q)	0,09306	0,113889	0,8171	0,445087
(2) Umidade (L)	0,08115	0,101865	0,7967	0,456005
Umidade (Q)	-0,10250	0,113889	-0,9000	0,402775
T*U	0,01965	0,144059	0,1364	0,895987
R <sup>2</sup>	0,295			
p	0,767			
Fc	0,501			

Valores em negrito e com asterisco indicam valores estatisticamente significativos. Fonte: Dados da pesquisa, Teresina-PI, 2016.

### 5.3.1.3 Lipídios

O teor de lipídios nas FCFC extrusadas da cultivar BRS Guariba variou significativamente de 0,15 a 0,51% (Tabela 4), verificando-se os mais altos teores nos tratamentos 1 (130°C/17%), 5 (145°C/16,16%), 7 (124°C/19%), 9 (145°C/19%), 10 (145°C/19%) e 11(145°C/19%) e os menores no restante dos tratamentos, enquanto que na cultivar BRS Novaera foi observada variação significativamente menor (0,11 a 0,37%), sendo que os maiores conteúdos foram obtidos nos tratamentos 6 (145°C/21,84%), 7 (124°C/19%), 8 (166°C/19%), 9 (145°C/19%), 10 (145°C/19%), 11 (145°C/19%) e 12(145°C/19%) e os menores no restante. Observou-se que o conteúdo de lipídios dos produtos extrusados das duas

cultivares foi estatisticamente menor em relação às suas FCFC “in natura”, que foi de 1,89 e 1,73%, respectivamente, para a cultivar BRS Guariba e Novaera, fato justificado pela mudanças estruturais que ocorrem nos lipídios (oxidação, hidrogenação, isomerização ou polimerização dos lipídios - formação de complexo com amilose ou proteína) durante o processo de extrusão. Deve-se ressaltar o fato dos grãos terem passado pelo processo de decorticação mecânica, que além de eliminar o tegumento, remove o gérmen, parte rica em lipídios. Marques (2013) obteve um valor maior (0,6%) na farinha extrusada integral de feijão-caupi BRS Milênio, na condição de 190°C, 28% e 200 rpm e semelhante (1,7%) ao analisado nesta pesquisa para a farinha integral “in natura” de feijão-caupi. Frota, Soares e Arêas (2008) observaram valor um pouco maior (2,2%) para a farinha integral “in natura” de feijão-caupi da cultivar BRS Milênio, enquanto que Castellón et al. (2006) verificaram teores de 1,4 a 1,7% em farinhas decorticadas de cinco cultivares (Br-14 Mulato, CE-315, Br-17 Gurguéia, Br-9 Longá, CNC-0434 e Vita 7) de feijão-caupi “in natura”.

Os modelos de regressão adotados para os teores de lipídios das FCFC das cultivares BRS Guariba (30,2%) e Novaera (59,1%) não foram significativo para os parâmetros de extrusão estudados, demonstrando que nenhuma delas influenciou na concentração de proteínas dos *snacks* elaborados.

**Tabela 11.** Coeficiente de regressão e ANOVA para o teor de lipídios das FCFC extrusadas da cultivar BRS Guariba.

	<b>Coeficiente de regressão</b>	<b>Erro padrão</b>	<b>t(6)</b>	<b>p-valor</b>
<b>Média*</b>	<b>0,393742</b>	<b>0,065994</b>	<b>5,966374</b>	<b>0,000993</b>
(1) Temperatura (L)	-0,046587	0,046664	-0,998340	0,356659
Temperatura (Q)	-0,029656	0,052172	-0,568424	0,590371
(2) Umidade (L)	-0,025637	0,046664	-0,549383	0,602574
Umidade (Q)	-0,036115	0,052172	-0,692218	0,514682
T*U	0,051962	0,065994	0,787385	0,461019
R <sup>2</sup>	0,302			
p	0,756			
Fc	0,518			

Valores em negrito e com asterisco indicam valores estatisticamente significativos. Fonte: Dados da pesquisa, Teresina-PI, 2016.

**Tabela 12.** Coeficiente de regressão e ANOVA para o teor de lipídios das FCFC extrusadas da cultivar BRS Novaera.

	<b>Coeficiente de regressão</b>	<b>Erro padrão</b>	<b>t(6)</b>	<b>p-valor</b>
<b>Média*</b>	<b>0,298904</b>	<b>0,038706</b>	<b>7,72253</b>	<b>0,000247</b>
(1) Temperatura (L)	-0,006824	0,027369	-0,24935	0,811408
Temperatura (Q)	0,002449	0,030599	0,08005	0,938803
(2) Umidade (L)	0,040172	0,027369	1,46778	0,192539
<b>Umidade (Q)*</b>	<b>-0,074938</b>	<b>0,030599</b>	<b>-2,44900</b>	<b>0,049858</b>
T*U	-0,013823	0,038706	-0,35714	0,733213
R <sup>2</sup>	0,591			
p	0,260			
Fc	1,736			

Valores em negrito e com asterisco indicam valores estatisticamente significativos. Fonte: Dados da pesquisa, Teresina-PI, 2016.

#### 5.3.1.4 Carboidratos

Em relação aos teores de carboidratos, verificou-se que as FCFC extrusadas apresentaram teores inferiores em relação às FCFC “in natura”. Os tratamentos da cultivar BRS Guariba apresentaram conteúdos que variaram significativamente de 66,68 a 69,92%, destacando-se os tratamentos 1 (130°C/17%), 3 (160°C/17%), 4 (160°C/21%) e 8 (166°C/19%), com os valores significativamente maiores (Tabela 4) e 7 (124°C/19%), 9 (145°C/19%) e 12(145°C/19%) com os menores. O teor de carboidratos apresentados nas FCFC extrusadas da cultivar BRS Novaera foi maior (71 a 72,18%), obtendo-se os teores significativamente maiores nos tratamentos 1 (130°C/17%), 3 (160°C/17%), 4 (160°C/21%), 5 (145°C/16,16%), 9 (145°C/19%) e 10(145°C/19%) e os menores no restante dos tratamentos (Tabela 15).

Observou-se que houve redução significativa nos teores de carboidratos dos tratamentos das FCFC extrusadas em comparação à FCFC “in natura” da cultivar BRS Guariba (69,9%) e BRS Novaera (74,2%). Esse fato pode ser atribuído à participação de determinados carboidratos nas reações de Maillard ou caramelização, responsáveis pelas características sensoriais de cor, aroma e sabor dos alimentos (SHIBAO; BASTOS, 2011; ATHAR et al., 2006). Marques (2013) encontrou em seu estudo com farinha integral extrusada de feijão-caupi, conteúdo próximo (70,27%) ao teor de carboidratos encontrado nesta pesquisa.

Os modelos de regressão adotados para os teores de carboidratos das FCFC das cultivares BRS Guariba (63,4%) e Novaera (39,5%) não foram significativos (Tabelas 13 e 14) para os parâmetros de extrusão estudados,

demonstrando que nenhuma delas influenciou na concentração de carboidratos dos produtos elaborados.

**Tabela 13.** Coeficiente de regressão e ANOVA para o teor de carboidratos das FCFC extrusadas da cultivar BRS Guariba.

	<b>Coeficiente de regressão</b>	<b>Erro padrão</b>	<b>t(6)</b>	<b>p-valor</b>
<b>Média*</b>	<b>67,18636</b>	<b>0,200680</b>	<b>334,7933</b>	<b>0,000000</b>
(1) Temperatura (L)	0,32971	0,141902	2,3235	0,059163
Temperatura (Q)	0,31900	0,158652	2,0107	0,091067
(2) Umidade (L)	-0,00368	0,141902	-0,0260	0,980136
Umidade (Q)	0,20887	0,158652	1,3165	0,236056
T*U	0,05498	0,200680	0,2740	0,793308
R <sup>2</sup>	0,634			
p	0,200			
Fc	2,078			

Valores em negrito e com asterisco indicam valores estatisticamente significativos. Fonte: Dados da pesquisa, Teresina-PI, 2016.

**Tabela 14.** Coeficiente de regressão e ANOVA para o teor de carboidratos das FCFC extrusadas da cultivar BRS Novaera.

	<b>Coeficiente de regressão</b>	<b>Erro padrão</b>	<b>t(6)</b>	<b>p-valor</b>
<b>Média*</b>	<b>71,59113</b>	<b>0,193947</b>	<b>369,1280</b>	<b>0,000000</b>
(1) Temperatura (L)	0,04656	0,137141	0,3395	0,745791
Temperatura (Q)	-0,13213	0,153328	-0,8618	0,421918
(2) Umidade (L)	-0,16259	0,137141	-1,1856	0,280619
Umidade (Q)	0,16506	0,153328	1,0765	0,323057
T*U	0,03686	0,193947	0,1901	0,855532
R <sup>2</sup>	0,395			
p	0,596			
Fc	0,785			

Valores em negrito e com asterisco indicam valores estatisticamente significativos. Fonte: Dados da pesquisa, Teresina-PI, 2016.

**Tabela 15.** Teor de carboidratos (g/100g base seca), pH e grau de acidez das FCFC “in natura” e extrusadas das cultivares BRS Guariba e BRS Novaera.

T	Variáveis Independentes		COMPOSIÇÃO FÍSICO-QUÍMICA						Valor energético total	
	T (°C)	U (%)	Carboidratos*		pH*		Acidez*		BRS Guariba	BRS Novaera
			BRS Guariba	BRS Novaera	BRS Guariba	BRS Novaera	BRS Guariba	BRS Novaera		
1	130	17	67,78 ± 0,37 b	71,64 ± 0,14 b	6,75 ± 0,00 a	6,63 ± 0,02 c	0,69 ± 0,05 a	0,96 ± 0,23 b	385,36 ± 0,69 c	384,98 ± 0,16 c
2	130	21	67,49 ± 0,06 c	71,51 ± 0,05 c	6,55 ± 0,01 e	6,52 ± 0,01 d	0,54 ± 0,04 c	1,21 ± 0,17 a	384,58 ± 0,94 c	384,56 ± 0,88 c
3	160	17	68,26 ± 0,04 b	71,99 ± 0,64 b	6,74 ± 0,01 a	6,72 ± 0,01 b	0,37 ± 0,02 d	0,86 ± 0,0 b	384,48 ± 0,47 c	385,03 ± 0,24 c
4	160	21	68,20 ± 0,10 b	72,01 ± 0,04 b	6,43 ± 0,01 f	6,41 ± 0,02 e	0,40 ± 0,03 d	1,09 ± 0,02 a	385,15 ± 0,65 c	385,01 ± 0,55 c
5	145	16,16	67,27 ± 0,35 c	72,18 ± 0,14 b	6,73 ± 0,01 a	6,75 ± 0,06 a	0,26 ± 0,01 f	0,94 ± 0,17 b	385,71 ± 0,16 c	384,93 ± 0,38 c
6	145	21,84	67,50 ± 0,17 c	71,34 ± 0,50 c	6,45 ± 0,01 f	6,50 ± 0,01 d	0,30 ± 0,02 e	0,75 ± 0,08 b	385,15 ± 1,49 c	385,54 ± 0,82 b
7	124	19	67,10 ± 0,21 d	71,33 ± 0,27 c	6,63 ± 0,02 c	6,65 ± 0,01 c	0,22 ± 0,01 f	0,76 ± 0,06 b	386,43 ± 0,68 c	385,90 ± 0,32 b
8	166	19	68,12 ± 0,38 b	71,00 ± 0,10 c	6,53 ± 0,03 e	6,61 ± 0,02 c	0,22 ± 0,02 f	0,66 ± 0,05 c	385,12 ± 0,26 c	385,98 ± 0,89 b
9	145	19	66,68 ± 0,64 d	71,71 ± 0,29 b	6,59 ± 0,03 d	6,71 ± 0,01 b	0,17 ± 0,00 g	0,50 ± 0,02 c	387,03 ± 0,64 c	385,69 ± 0,64 b
10	145	19	67,58 ± 0,55 c	71,99 ± 0,04 b	6,66 ± 0,01 b	6,75 ± 0,03 a	0,14 ± 0,01 g	0,51 ± 0,03 c	388,63 ± 3,17 b	385,61 ± 0,23 b
11	145	19	67,47 ± 0,25 c	71,42 ± 0,63 c	6,72 ± 0,01 a	6,70 ± 0,05 b	0,14 ± 0,01 g	0,40 ± 0,03 c	385,92 ± 0,61 c	385,82 ± 0,06 b
12	145	19	67,02 ± 0,11 d	71,24 ± 0,04 c	6,65 ± 0,00 b	6,61 ± 0,01 c	0,14 ± 0,02 g	0,35 ± 0,06 c	384,08 ± 0,21 c	386,14 ± 0,30b
Média	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
FCFC	-----	-----	69,92 ± 0,16 a	74,15 ± 0,38 a	6,19 ± 0,02 g	6,22 ± 0,01 f	0,61 ± 0,00 b	0,44 ± 0,06 c	392,57 ± 0,38 a	396,48 ± 0,52a

Legenda: T = tratamento; FCFC = farinha de cotilédone de feijão-caupi;

\*Médias em triplicata ± desvio-padrão;

Médias com letras iguais nas colunas não apresentam diferenças estatisticamente significativas, ao nível de 5%, segundo teste de Scott-Knott.

Fonte: Dados da pesquisa, Teresina-PI, 2016.

### 5.3.2 Potencial hidrogeniônico (pH)

O pH das FCFC extrusadas de feijão exibiu valores próximos ao neutro para as duas cultivares, como é demonstrado na Tabela 15. Os conteúdos variaram significativamente de 6,43 a 6,75 para a cultivar BRS Guariba com os maiores teores nos tratamentos 1 (130°C/17%), 3 (160°C/17%), 5 (145°C/16,16%) e 11 (145°C/19%). De forma semelhante, os conteúdos variaram significativamente de 6,41 a 6,75 nas FCFC extrusadas da cultivar BRS Novaera, verificando-se os maiores teores destes nutrientes nos tratamentos 3 (160°C/17%), 5 (145°C/16,16%), 9 (145°C/19%), 10 (145°C/19%) e 11 (145°C/19%). Nas FCFC “in natura” das duas cultivares, o valor de pH determinado foi estatisticamente menor que o das FCFC extrusadas, sendo 6,19 para a cultivar BRS Guariba e de 6,22 para a cultivar BRS Novaera.

Os valores de pH próximos ao valor neutro indicam que as FCFC “in natura” e extrusadas são originárias de um lote de feijão-caupi novo, já que o pH e a acidez são parâmetros que visam monitorar a qualidade do feijão durante o armazenamento prolongado. Gomes et al. (2006) descreveram pH de 6,37 em farinha “in natura” de feijão comum e 6,28 para farinha de feijão extrusada, mas não foi observada diferença significativa. Martín-Cabrejas et al. (1997), ao estudarem cinco cultivares de feijão comum, observaram variação de 6,30 a 6,42, e que, após o armazenamento prolongado, variaram de 5,85 a 6,16, indicando que o pH pode ser um indicador conveniente de grãos com defeito “hard-to-cook” induzido por armazenamento em condições adversas.

As tabelas abaixo mostram que os modelos de regressão adotados para os teores de pH das FCFC das cultivares BRS Guariba (91,4%) e Novaera (86,9%) foram significativos para os parâmetros de extrusão estudados, demonstrando que os mesmos influenciaram no valor do pH dos *snacks* elaborados. As equações abaixo descrevem os teores de pH das duas cultivares pelo modelo matemático, em função das variáveis independentes codificadas, utilizando somente os coeficientes de regressão estatisticamente significativos ( $p < 0,05$ ).

$$\text{Teor de pH BRS Guariba} = 6,65 - 0,113y \quad \text{(Equação 2)}$$

$$\text{Teor de pH BRS Novaera} = 6,69 - 0,098y \quad \text{(Equação 3)}$$



**Tabela 16.** Coeficiente de regressão e ANOVA para o valor do pH das FCFC extrusadas da cultivar BRS Guariba.

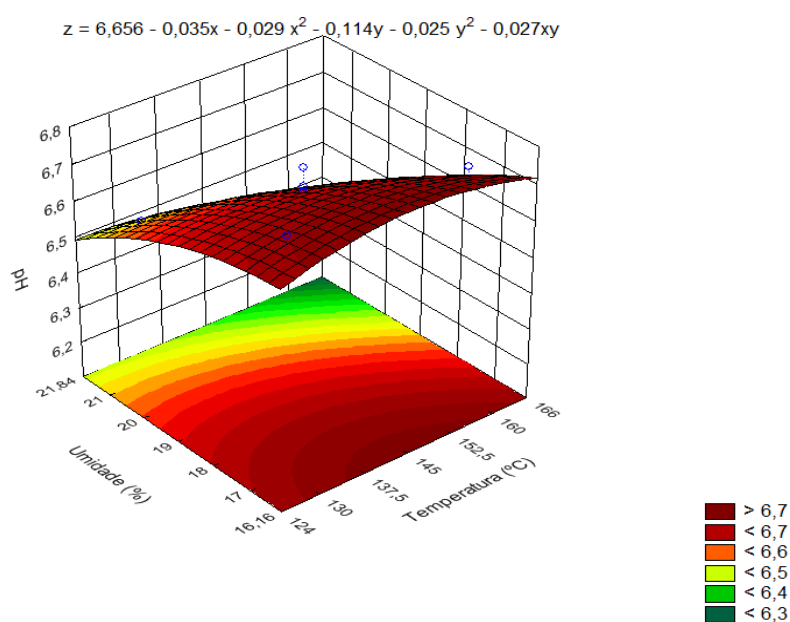
	<b>Coeficiente de regressão</b>	<b>Erro padrão</b>	<b>t(6)</b>	<b>p-valor</b>
<b>Média*</b>	<b>6,655833</b>	<b>0,022022</b>	<b>302,2316</b>	<b>0,000000</b>
(1) Temperatura (L)	-0,034517	0,015572	-2,2166	0,068519
Temperatura (Q)	-0,028750	0,017410	-1,6513	0,149760
<b>(2) Umidade (L)*</b>	<b>-0,113593</b>	<b>0,015572</b>	<b>-7,2946</b>	<b>0,000338</b>
Umidade (Q)	-0,024583	0,017410	-1,4120	0,207648
T*U	-0,027500	0,022022	-1,2487	0,258275
R <sup>2</sup>	0,914			
p	0,004			
Fc	12,726			

Valores em negrito e com asterisco indicam valores estatisticamente significativos. Fonte: Dados da pesquisa, Teresina-PI, 2016.

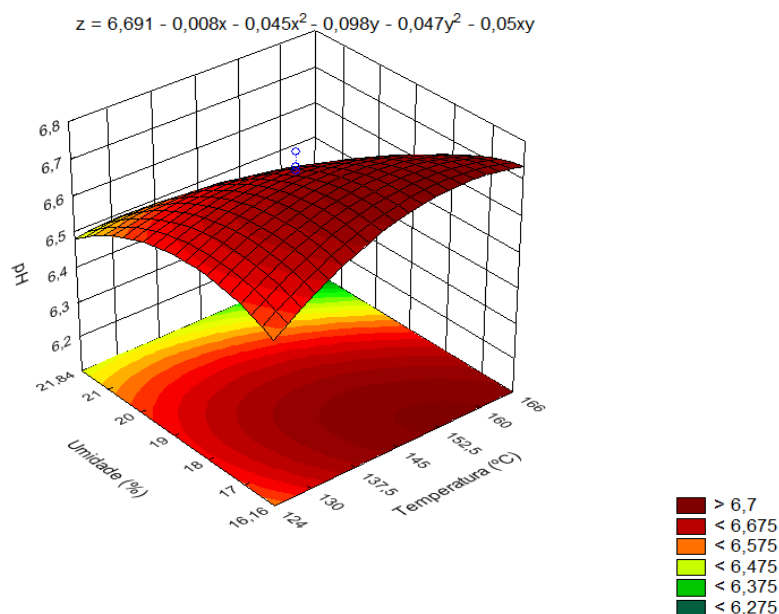
**Tabela 17.** Coeficiente de regressão e ANOVA para o valor do pH das FCFC extrusadas da cultivar BRS Novaera.

	<b>Coeficiente de regressão</b>	<b>Erro padrão</b>	<b>t(6)</b>	<b>p-valor</b>
<b>Média*</b>	<b>6,690833</b>	<b>0,026236</b>	<b>255,0293</b>	<b>0,000000</b>
(1) Temperatura (L)	-0,008393	0,018551	-0,4524	0,666880
Temperatura (Q)	-0,044792	0,020741	-2,1596	0,074121
<b>(2) Umidade (L)*</b>	<b>-0,097873</b>	<b>0,018551</b>	<b>-5,2758</b>	<b>0,001873</b>
Umidade (Q)	-0,047292	0,020741	-2,2801	0,062791
T*U	-0,050000	0,026236	-1,9058	0,105318
R <sup>2</sup>	0,869			
p	0,013			
Fc	7,979			

Valores em negrito e com asterisco indicam valores estatisticamente significativos. Fonte: Dados da pesquisa, Teresina-PI, 2016.



**Figura 11** – Efeito do conteúdo de umidade para o valor de pH das FCFC extrusadas da cultivar BRS Guariba.



**Figura 12** – Efeito do conteúdo de umidade para o valor de pH das FCFC extrusadas da cultivar BRS Novaera.

### 5.3.3 Acidez total titulável (ATT)

Em relação ao grau de acidez das FCFC extrusadas, observou-se variação estatisticamente significativa nas duas cultivares. Na cultivar BRS Guariba, a variação foi de 0,14 a 0,69% de ácido cítrico, com o maior valor significativo no tratamento 1 (130°C/17%) e os menores valores nos tratamentos 9 (145°C/19%), 10 (145°C/19%), 11 (145°C/19%) e 12 (145°C/19%). Na cultivar BRS Novaera, os teores variaram de 0,35 a 1,21% de ácido cítrico, verificando-se os valores significativamente maiores nos tratamentos 2 (130°C/21%) e 4 (160°C/21%), caracterizados pela maior teor de umidade (Tabela 5). A FCFC “in natura” da cultivar BRS-Novaera obteve teor semelhante aos verificados nas FCFC extrusadas. Entretanto, o valor obtido na FCFC “in natura” da cultivar BRS-Guariba destacou-se por ser semelhante ao maior valor encontrado (0,69) nas FCFC extrusadas da mesma cultivar.

O modelo de regressão apresentado para o grau de acidez das FCFC extrusadas das duas cultivares, sendo de 53,8% para a cultivar BRS Guariba e de 73,4% para a cultivar BRS Novaera não foram significativos para os parâmetros de extrusão estudados, demonstrando que nenhuma delas influenciou no grau de acidez das FCFC extrusadas.

**Tabela 18.** Coeficiente de regressão e ANOVA para o grau de acidez das FCFC extrusadas da cultivar BRS Guariba.

	<b>Coeficiente de regressão</b>	<b>Erro padrão</b>	<b>t(6)</b>	<b>p-valor</b>
<b>Média</b>	<b>0,146141</b>	<b>0,080159</b>	<b>1,82315</b>	<b>0,118104</b>
(1) Temperatura (L)	-0,058739	0,056681	-1,03632	0,340003
Temperatura (Q)	0,099845	0,063371	1,57557	0,166195
(2) Umidade (L)	-0,007812	0,056681	-0,13782	0,894888
Umidade (Q)	0,129010	0,063371	2,03578	0,087957
T*U	0,045107	0,080159	0,56272	0,594010
R <sup>2</sup>	0,538			
p	0,345			
Fc	1,395			

Valores em negrito e com asterisco indicam valores estatisticamente significativos. Fonte: Dados da pesquisa, Teresina-PI, 2016.

**Tabela 19.** Coeficiente de regressão e ANOVA para o grau de acidez das FCFC extrusadas da cultivar BRS Novaera.

	<b>Coeficiente de regressão</b>	<b>Erro padrão</b>	<b>t(6)</b>	<b>p-valor</b>
<b>Média*</b>	<b>0,440231</b>	<b>0,096391</b>	<b>4,567161</b>	<b>0,003822</b>
(1) Temperatura (L)	-0,045140	0,068158	-0,662275	0,532394
<b>Temperatura (Q)*</b>	<b>0,198583</b>	<b>0,076203</b>	<b>2,605961</b>	<b>0,040338</b>
(2) Umidade (L)	0,026450	0,068158	0,388062	0,711365
<b>Umidade (Q)*</b>	<b>0,265410</b>	<b>0,076203</b>	<b>3,482915</b>	<b>0,013096</b>
T*U	-0,004485	0,096391	-0,046531	0,964397
R <sup>2</sup>	0,734			
p	0,089			
Fc	3,304			

Valores em negrito e com asterisco indicam valores estatisticamente significativos. Fonte: Dados da pesquisa, Teresina-PI, 2016.

#### 5.4 Valor energético total (VET)

O valor energético total das FCFC extrusadas variou significativamente nas duas cultivares (Tabela 5). Na cultivar BRS Guariba, a variação foi de 384,08 a 388,63 kcal, sendo que o tratamento 10 (145°C/19%) foi o único desta cultivar a se destacar significativamente. A cultivar BRS Novaera variou significativamente de 384,56 a 386,14 kcal, destacando-se os tratamentos 6(145°C/21%), 7(124°C/19%), 8(166°C/19%), 9 a 12(145°C/19%), com os valores significativamente maiores.

Quanto às FCFC “in natura” observou-se que elas apresentaram valores maiores que suas respectivas FCFC extrusadas, sendo de 392,57 kcal para a cultivar BRS Guariba, e de 396,48 kcal para a cultivar BRS Novaera. Isso ocorreu provavelmente devido às variações que ocorreram nos teores de carboidratos,

proteínas e lipídios durante o processo. Cavalcante (2015) obteve um VET de 391,84 em farinha integral “in natura” de feijão-caupi da cultivar BRS Guariba, enquanto que Frota, Soares e Arêas (2008) obtiveram VET de 323,4 kcal em farinha integral “in natura de feijão-caupi da cultivar BRS Milênio.

Os modelos de regressão adotados para o valor energético total das cultivares BRS Guariba (28,8%) e BRS Novaera (52,2%) não foram significativos para os parâmetros de extrusão estudados, demonstrando que os mesmos não influenciaram no VET das FCFC extrusadas.

**Tabela 20.** Coeficiente de regressão e ANOVA para o valor energético total das FCFC extrusadas da cultivar BRS Guariba.

	<b>Coeficiente de regressão</b>	<b>Erro padrão</b>	<b>t(6)</b>	<b>p-valor</b>
<b>Média*</b>	<b>386,4181</b>	<b>0,716952</b>	<b>538,9734</b>	<b>0,000000</b>
(1) Temperatura (L)	-0,2704	0,506962	-0,5333	0,613003
Temperatura (Q)	-0,4976	0,566800	-0,8779	0,413758
(2) Umidade (L)	-0,1133	0,506962	-0,2235	0,830531
Umidade (Q)	-0,6714	0,566800	-1,1846	0,280971
T*U	0,3634	0,716952	0,5069	0,630318
R <sup>2</sup>	0,288			
p	0,778			
Fc	0,485			

Valores em negrito e com asterisco indicam valores estatisticamente significativos. Fonte: Dados da pesquisa, Teresina-PI, 2016.

**Tabela 21.** Coeficiente de regressão e ANOVA para o valor energético total das FCFC extrusadas da cultivar BRS Novaera.

	<b>Coeficiente de regressão</b>	<b>Erro padrão</b>	<b>t(6)</b>	<b>p-valor</b>
<b>Média*</b>	<b>385,8157</b>	<b>0,237945</b>	<b>1621,451</b>	<b>0,000000</b>
(1) Temperatura (L)	0,0753	0,168252	0,447	0,670223
Temperatura (Q)	-0,1110	0,188112	-0,590	0,576786
(2) Umidade (L)	0,0545	0,168252	0,324	0,756996
<b>Umidade (Q)*</b>	<b>-0,4636</b>	<b>0,188112</b>	<b>-2,464</b>	<b>0,048832</b>
T*U	0,0966	0,237945	0,406	0,698789
R <sup>2</sup>	0,522			
p	0,371			
Fc	1,311			

Valores em negrito e com asterisco indicam valores estatisticamente significativos. Fonte: Dados da pesquisa, Teresina-PI, 2016.

## 5.5. Conteúdo de minerais

### 5.5.1 Análise de cálcio, magnésio, fósforo e sódio

Os resultados da composição de cálcio, magnésio, fósforo e sódio das FCFC “in natura” e extrusadas das cultivares estão apresentados na Tabela 22.

Pesquisas apresentando os resultados da composição mineral de FCFC “in natura” e extrusadas de feijão-caupi são escassas. Os teores de cálcio, magnésio, fósforo e sódio, determinados neste estudo para as FCFC extrusadas das duas cultivares, não apresentaram diferença estatisticamente significativa ( $p < 0,05$ ).

Em relação aos teores de cálcio observados nas FCFC extrusadas das duas cultivares, a cultivar BRS Guariba obteve valor de 47,99 mg/100g na média dos tratamentos, e na cultivar BRS Novaera foi de 66,7 mg/100g, bastante significativos quando comparado com o teor encontrado no *snack* convencional de milho (2,4 mg/100) (MOREIRA-ARAÚJO, ARAÚJO, ARÊAS, 2008). Moura (2012) analisou farinhas extrusadas elaboradas com milho, feijão comum e arroz branco e concluiu que, dos cinco tratamentos, somente dois apresentaram conteúdos de cálcio de 46,76 mg/100g, semelhantes ao valor médio encontrado nas FCFC extrusadas da cultivar BRS Guariba. Estudo realizado por Moreira-Araújo, Araújo e Arêas (2008) com outra leguminosa, verificaram que *snack* extrusado aromatizado elaborado com grão de bico, pulmão bovino e milho (72:8:20) apresentou teor de cálcio de 55,4 mg/100g. Nas FCFC “in natura” foram obtidos teores médios de 55,74 e de 67,52 mg/100g, respectivamente, nas cultivares BRS Guariba e BRS Novaera. Rios (2014) obteve teores maiores para este mineral do que os do presente estudo em farinhas “in natura” de feijão-caupi decorticados da cultivar BRS Guariba (134,95 mg/100g) e da cultivar BRS Novaera (122,85 mg/100g).

Em relação ao teor de magnésio, a média dos tratamentos obtida para as FCFC extrusadas da cultivar BRS Guariba foi de 186,54 mg/100g e de 188,06 mg/100g para a cultivar BRS Novaera. Nas FCFC “in natura” foram obtidas teores menores para as cultivares BRS Guariba (174 mg/100g) e BRS Novaera (121,9 mg/100g).

**Tabela 22.** Conteúdo de cálcio, magnésio, fósforo e sódio em FCFC “in natura” e extrusadas das cultivares BRS Guariba e BRS Novaera.

T	Variáveis Independentes		COMPOSIÇÃO QUÍMICA							
	T (°C)	U (%)	CÁLCIO (mg/100g)*		MAGNÉSIO (mg/100g)*		FÓSFORO (mg/100g)*		SÓDIO (mg/100g)*	
			BRS Guariba	BRS Novaera	BRS Guariba	BRS Novaera	BRS Guariba	BRS Novaera	BRS Guariba	BRS Novaera
1	130	17	46,86 ± 2,91 a	54,94 ± 14,18 a	196,23 ± 0,99 a	192,38 ± 11,51 a	510,81 ± 4,16 a	536,96 ± 16,43 a	6,74 ± 0,07 a	6,57 ± 0,03 a
2	130	21	41,78 ± 2,15 a	75,05 ± 7,68 a	189,06 ± 1,22 a	181,47 ± 1,53 a	512,19 ± 7,31 a	524,12 ± 14,84 a	6,56 ± 0,28 a	6,56 ± 0,11 a
3	160	17	43,75 ± 3,75 a	62,54 ± 5,51 a	196,55 ± 0,65 a	186,62 ± 0,26 a	522,16 ± 10,54 a	552,72 ± 14,99 a	6,47 ± 0,03 a	6,37 ± 0,09 a
4	160	21	51,64 ± 10,56 a	64,03 ± 11,73 a	179,26 ± 0,04 a	187,52 ± 1,26 a	513,85 ± 6,60 a	547,42 ± 15,39 a	6,41 ± 0,16 a	6,61 ± 0,03 a
5	145	16,16	44,94 ± 4,73 a	79,96 ± 26,51 a	187,61 ± 2,42 a	199,35 ± 7,96 a	520,24 ± 1,23 a	566,54 ± 18,02 a	6,73 ± 0,21 a	6,63 ± 0,01 a
6	145	21,84	56,68 ± 9,30 a	69,29 ± 5,69 a	187,35 ± 1,22 a	197,23 ± 10,57 a	505,18 ± 7,33 a	541,45 ± 12,41 a	6,59 ± 0,06 a	6,61 ± 0,06 a
7	124	19	46,25 ± 1,69 a	60,23 ± 0,06 a	186,52 ± 1,70 a	176,60 ± 0,91 a	516,72 ± 13,63 a	535,56 ± 15,79 a	6,53 ± 0,21 a	6,60 ± 0,09 a
8	166	19	47,92 ± 5,63 a	60,84 ± 3,94 a	181,55 ± 10,24 a	186,44 ± 0,49 a	516,25 ± 8,11 a	552,26 ± 10,39 a	6,52 ± 0,06 a	6,43 ± 0,09 a
9	145	19	46,25 ± 1,77 a	64,09 ± 5,05 a	184,80 ± 1,09 a	185,88 ± 2,02 a	518,47 ± 13,62 a	550,63 ± 13,64 a	6,24 ± 0,12 a	6,49 ± 0,08 a
10	145	19	45,52 ± 2,17 a	62,76 ± 1,09 a	185,71 ± 1,44 a	187,18 ± 4,39 a	517,05 ± 10,43 a	523,33 ± 14,02 a	6,70 ± 0,1 a	6,61 ± 0,02 a
11	145	19	57,70 ± 3,57 a	64,43 ± 10,69 a	181,07 ± 0,61 a	184,53 ± 2,75 a	520,19 ± 13,04 a	539,97 ± 11,42 a	6,42 ± 0,35 a	6,48 ± 0,14 a
12	145	19	46,59 ± 0,00 a	82,26 ± 14,99 a	182,76 ± 2,09 a	191,50 ± 0,90 a	513,23 ± 12,66 a	546,78 ± 8,46 a	6,57 ± 0,13 a	6,54 ± 0,07 a
<b>Média</b>			47,99	66,70	186,54	188,06	515,53	543,14	6,54	6,54
<b>FCFC</b>			55,74 ± 12,92 a	67,52 ± 3,71 a	174,14 ± 2,55 a	121,87 ± 0,65 b	472,5 ± 9,20 a	434,27 ± 17,51 a	6,45 ± 0,36 a	6,56 ± 0,07 a

Legenda: T = tratamento; FCFC= farinha de cotilédone de feijão-caupi

\*Médias em duplicata ± desvio-padrão

Médias com letras iguais nas colunas não apresentam diferenças estatísticas significativas, ao nível de 5%, segundo teste de Scott-Knott

Fonte: Dados da pesquisa, Teresina-PI, 2016.

Rios (2014) obteve 149,01 mg/100g e 111,38 mg/100g, respectivamente, nas farinhas “in natura” decorticadas de feijão-caupi das cultivares BRS Guariba e BRS Novaera. Buratto (2012) verificou em sua pesquisa na qual avaliou 10 (dez) cultivares de feijão, sendo cinco de origem mesoamericana (IPR Siriri, IPR Juriti, IPR Uirapuru, IPR Gralha e IAPAR 31) e cinco de origem andina (IPR Garça, Hooter, BRS Radiante, Jalo Precoce e Red Hawk), obtidas de diferentes instituições de pesquisa, que do total de Mg encontrado nos grãos de feijão, 82,8% desse mineral, em média, foi encontrado no cotilédone e que, em média, 15% foi encontrado no tegumento.

As médias dos teores de fósforo determinados neste estudo para as FCFC extrusadas da cultivar BRS Guariba foram de 515,53 mg/100g e de 543,14 mg/100g para a BRS Novaera, bem maiores que o encontrado no *snack* convencional de milho (34,1 mg/100) (MOREIRA-ARAÚJO, ARAÚJO, ARÊAS, 2008), indicando que o *snack* extrusado de farinha de cotilédone de feijão-caupi é um alimento fonte de fósforo. Frota, Soares e Arêas (2008) analisaram farinha integral “in natura” de feijão-caupi da cultivar BRS Milênio e obtiveram 510 mg/100g próximo ao resultado deste estudo. Pesquisa realizada por Moreira-Araújo, Araújo e Arêas (2008), com o grão de bico, encontrou teor de 314 mg/100g para *snack* extrusado aromatizado elaborado com farinha de grão de bico e pulmão bovino. Rios (2014) obtiveram teores menores de fósforo nas farinhas “in natura” decorticadas de feijão-caupi das cultivares BRS Guariba (472 mg/100g) e BRS Novaera (443,33 mg/100g), semelhante ao observado nas farinhas “in natura” das cultivares BRS Guariba (472,5 mg/100g) e BRS Novaera (434,27 mg/100g).

As análises de sódio das FCFC extrusadas das duas cultivares não apresentaram diferença estatisticamente significativa. O valor das médias obtidas pelas FCFC da cultivar BRS Guariba e BRS Novaera foi de 6,54. Em relação aos teores das FCFC “in natura” das duas cultivares, estes não apresentaram diferença estatisticamente significativa em relação aos encontrados nas respectivas FCFC extrusadas.

Em relação aos modelos de regressão adotados para os teores de cálcio, magnésio, fósforo e sódio das FCFC extrusadas das cultivares estudadas, observa-se que somente o modelo de regressão adotado para o conteúdo de magnésio da cultivar BRS Novaera (83,3%) foi significativo (Tabela 24) para os parâmetros de extrusão estudados, demonstrando a influência destas variáveis na concentração

de magnésio das FCFC extrusadas, principalmente do efeito quadrático da temperatura e umidade. A equação abaixo, descreve os teores de magnésio da cultivar BRS Novaera pelo modelo matemático, em função das variáveis independentes codificadas (Equação 4), utilizando somente os coeficientes de regressão estatisticamente significativos ( $p < 0,05$ ).

Teor de magnésio da cultivar BRS Novaera =  $187,27 - 3,6x^2 + 4,78y^2$  (**Equação 4**)

**Tabela 23.** Coeficiente de regressão e ANOVA para o teor de cálcio das FCFC extrusadas da cultivar BRS Guariba.

	<b>Coeficiente de regressão</b>	<b>Erro padrão</b>	<b>t(6)</b>	<b>p-valor</b>
<b>Média*</b>	<b>49,01569</b>	<b>2,454419</b>	<b>19,97038</b>	<b>0,000001</b>
(1) Temperatura (L)	1,14087	1,735536	0,65736	0,535338
Temperatura (Q)	-1,70034	1,940388	-0,87629	0,414576
(2) Umidade (L)	2,42590	1,735536	1,39778	0,211674
Umidade (Q)	0,16264	1,940388	0,08382	0,935928
T*U	3,23967	2,454419	1,31993	0,234978
R <sup>2</sup>	0,453			
p	0,493			
Fc	0,993			

Valores em negrito e com asterisco indicam valores estatisticamente significativos. Fonte: Dados da pesquisa, Teresina-PI, 2016.

**Tabela 24.** Coeficiente de regressão e ANOVA para o teor de cálcio das FCFC extrusadas da cultivar BRS Novaera.

	<b>Coeficiente de regressão</b>	<b>Erro padrão</b>	<b>t(6)</b>	<b>p-valor</b>
<b>Média*</b>	<b>67,19966</b>	<b>1,900604</b>	<b>35,35700</b>	<b>0,000000</b>
(1) Temperatura (L)	-1,57064	1,343930	-1,16869	0,286855
Temperatura (Q)	-3,25382	1,502559	-2,16552	0,073515
(2) Umidade (L)	0,96645	1,343930	0,71912	0,499104
Umidade (Q)	0,04048	1,502559	0,02694	0,979381
T*U	-2,15346	1,900604	-1,13304	0,300433
R <sup>2</sup>	0,574			
p	0,287			
Fc	1,615			

Valores em negrito e com asterisco indicam valores estatisticamente significativos. Fonte: Dados da pesquisa, Teresina-PI, 2016.



**Tabela 25.** Coeficiente de regressão e ANOVA para o teor de magnésio das FCFC extrusadas da cultivar BRS Guariba.

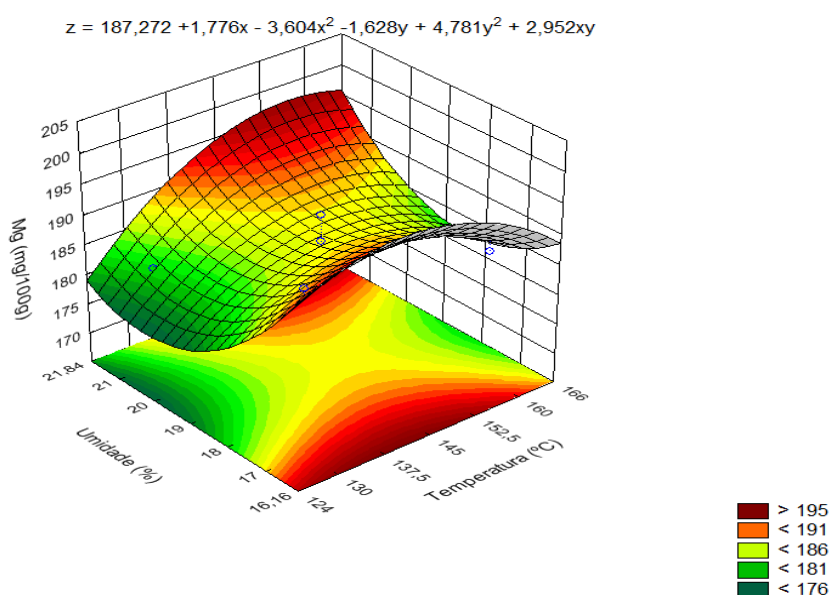
	<b>Coeficiente de regressão</b>	<b>Erro padrão</b>	<b>t(6)</b>	<b>p-valor</b>
<b>Média*</b>	<b>183,5857</b>	<b>2,300352</b>	<b>79,80766</b>	<b>0,000000</b>
(1) Temperatura (L)	-2,0639	1,626595	-1,26888	0,251486
Temperatura (Q)	1,3532	1,818588	0,74412	0,484916
(2) Umidade (L)	-3,1026	1,626595	-1,90742	0,105083
Umidade (Q)	3,0764	1,818588	1,69165	0,141663
T*U	-2,5308	2,300352	-1,10018	0,313424
R <sup>2</sup>	0,613			
p	0,229			
Fc	1,898			

Valores em negrito e com asterisco indicam valores estatisticamente significativos. Fonte: Dados da pesquisa, Teresina-PI, 2016.

**Tabela 26.** Coeficiente de regressão e ANOVA para o teor de magnésio das FCFC extrusadas da cultivar BRS Novaera.

	<b>Coeficiente de regressão</b>	<b>Erro padrão</b>	<b>t(6)</b>	<b>p-valor</b>
<b>Média*</b>	<b>187,2720</b>	<b>1,751530</b>	<b>106,9191</b>	<b>0,000000</b>
(1) Temperatura (L)	1,7758	1,238519	1,4338	0,201609
<b>Temperatura (Q)*</b>	<b>-3,6045</b>	<b>1,384706</b>	<b>-2,6031</b>	<b>0,040496</b>
(2) Umidade (L)	-1,6279	1,238519	-1,3144	0,236725
<b>Umidade (Q)*</b>	<b>4,7813</b>	<b>1,384706</b>	<b>3,4529</b>	<b>0,013585</b>
T*U	2,9519	1,751530	1,6853	0,142902
R <sup>2</sup>	0,833			
p	0,025			
Fc	5,969			

Valores em negrito e com asterisco indicam valores estatisticamente significativos. Fonte: Dados da pesquisa, Teresina-PI, 2016.



**Figura 13** – Efeito da temperatura de extrusão e do conteúdo de umidade sobre o teor de magnésio das FCFC extrusadas da cultivar BRS Novaera.

**Tabela 27.** Coeficiente de regressão e ANOVA para o teor de fósforo das FCFC extrusadas da cultivar BRS Guariba.

	<b>Coeficiente de regressão</b>	<b>Erro padrão</b>	<b>t(6)</b>	<b>p-valor</b>
<b>Média*</b>	<b>517,2356</b>	<b>1,773717</b>	<b>291,6111</b>	<b>0,000000</b>
(1) Temperatura (L)	1,5419	1,254207	1,2294	0,264952
Temperatura (Q)	-0,3350	1,402247	-0,2389	0,819146
<b>(2) Umidade (L)*</b>	<b>-3,5282</b>	<b>1,254207</b>	<b>-2,8131</b>	<b>0,030631</b>
Umidade (Q)	-2,2237	1,402247	-1,5858	0,163884
T*U	-2,4231	1,773717	-1,3661	0,220885
R <sup>2</sup>	0,697			
p	0,124			
Fc	2,762			

Valores em negrito e com asterisco indicam valores estatisticamente significativos. Fonte: Dados da pesquisa, Teresina-PI, 2016.

**Tabela 28.** Coeficiente de regressão e ANOVA para o teor de fósforo das FCFC extrusadas da cultivar BRS Novaera.

	<b>Coeficiente de regressão</b>	<b>Erro padrão</b>	<b>t(6)</b>	<b>p-valor</b>
<b>Média*</b>	<b>540,1752</b>	<b>5,219308</b>	<b>103,4956</b>	<b>0,000000</b>
(1) Temperatura (L)	7,8349	3,690608	2,1229	0,077968
Temperatura (Q)	-0,2942	4,126225	-0,0713	0,945480
(2) Umidade (L)	-6,7023	3,690608	-1,8160	0,119274
Umidade (Q)	4,7472	4,126225	1,1505	0,293721
T*U	1,8847	5,219308	0,3611	0,730400
R <sup>2</sup>	0,609			
p	0,234			
Fc	1,87			

Valores em negrito e com asterisco indicam valores estatisticamente significativos. Fonte: Dados da pesquisa, Teresina-PI, 2016.

**Tabela 29.** Coeficiente de regressão e ANOVA para o teor de sódio das FCFC extrusadas da cultivar BRS Guariba.

	<b>Coeficiente de regressão</b>	<b>Erro padrão</b>	<b>t(6)</b>	<b>p-valor</b>
<b>Média*</b>	<b>6,482553</b>	<b>0,077453</b>	<b>83,69646</b>	<b>0,000000</b>
(1) Temperatura (L)	-0,053336	0,054768	-0,97387	0,367734
Temperatura (Q)	0,009281	0,061232	0,15156	0,884498
(2) Umidade (L)	-0,053689	0,054768	-0,98030	0,364797
Umidade (Q)	0,077982	0,061232	1,27355	0,249934
T*U	0,030291	0,077453	0,39109	0,709243
R <sup>2</sup>	0,381			
p	0,621			
Fc	0,739			

Valores em negrito e com asterisco indicam valores estatisticamente significativos. Fonte: Dados da pesquisa, Teresina-PI, 2016.

**Tabela 30.** Coeficiente de regressão e ANOVA para o teor de sódio das FCFC extrusadas da cultivar BRS Novaera.

	<b>Coeficiente de regressão</b>	<b>Erro padrão</b>	<b>t(6)</b>	<b>p-valor</b>
<b>Média*</b>	<b>6,529112</b>	<b>0,031177</b>	<b>209,4182</b>	<b>0,000000</b>
(1) Temperatura (L)	-0,048563	0,022046	-2,2028	0,069829
Temperatura (Q)	-0,016716	0,024648	-0,6782	0,522927
(2) Umidade (L)	0,025509	0,022046	1,1571	0,291212
Umidade (Q)	0,035767	0,024648	1,4511	0,196948
T*U	0,063483	0,031177	2,0362	0,087907
R <sup>2</sup>	0,691			
p	0,13			
Fc	2,68			

Valores em negrito e com asterisco indicam valores estatisticamente significativos. Fonte: Dados da pesquisa, Teresina-PI, 2016.

### 5.5.2 Análise de potássio, ferro, zinco, cobre e manganês

Os resultados dos teores de potássio, ferro, zinco, cobre e manganês das FCFC “in natura” e extrusadas das duas cultivares estão apresentados Tabela 31. No caso do potássio, as FCFC extrusadas da cultivar BRS Novaera apresentaram diferença estatisticamente significativa entre os seus tratamentos ( $p < 0,05$ ), variando de 1668,71 a 1799,47 mg/100g, destacando-se os tratamentos 4 (160°C/21%) ao 12 (145°C/19%). A média dos tratamentos das FCFC extrusadas da cultivar BRS Guariba foi de 1717,87 mg/100. Em relação às FCFC “in natura”, observou-se que os teores obtidos foram de 1601,61 mg/100g na cultivar BRS Guariba e de 1422,97 mg/100g na cultivar BRS Novaera, estatisticamente menores daqueles obtidos nos produtos extrusados. Frota, Soares e Arêas (2008) e Frota et al. (2010) obtiveram teores de 1430 mg/100g e 1036,4 mg/100g, respectivamente, ao analisar farinha integral “in natura” de feijão-caupi, cultivar BRS Milênio, sendo o valor do primeiro semelhante aos verificados nas farinhas “in natura” deste estudo. O cotilédone de feijão é considerado fonte de potássio, sendo que 96,2%, em média, deste mineral está localizado nesta parte do grão, enquanto que 2,8% encontra-se no tegumento (BURATTO, 2012).

Os teores de ferro das FCFC extrusadas da cultivar BRS Guariba variaram significativamente de 4,04 a 5,49 mg/100g, (destacando-se o tratamento 8 (166°C/19%)), sendo encontrado por Moreira-Araújo, Araújo e Arêas (2008) teor de 1,8 mg/100g, em *snack* de milho. Esta variação pode estar relacionada à contaminação de algumas amostras dentro da extrusora durante o processamento

(ANDRADE et al., 2013). O cotilédone, além de fonte de outros minerais, também é considerada uma parte do grão com significativo teor de ferro. Buratto (2012) avaliou 10 cultivares de feijão, de origem mesopotâmica e andina, e verificou que o cotilédone continha, em média, 80,7% de ferro e que 15,9%, em média, encontrava-se no tegumento.

Todos os outros minerais analisados, das FCFC extrusadas das duas cultivares, não mostraram diferença significativa entre os tratamentos (Tabela 7). Em relação aos outros teores de minerais analisados, as médias dos tratamentos obtidas para as FCFC extrusadas da cultivar BRS Guariba foram de 3,83 mg/100g para o teor de zinco, 0,21 mg/100g para o teor de cobre e 1,24 mg/100g para o teor de manganês. No caso da cultivar BRS Novaera, a média dos tratamentos foi de 5,94 mg/100g para o teor de ferro, 4,05 mg/100g para o teor de zinco, 0,37 mg/100g para o teor de cobre e 1,16 para o teor de manganês. A explicação para isso pode estar no fato dos minerais não sofrerem degradação no processo de extrusão, permanecendo como partículas dentro da fase dispersa. A importância deste processo está na capacidade de melhorar a disponibilidade dos minerais ao organismo, através da redução dos níveis de fitatos, substâncias que dificultam a absorção dos minerais (CAMIRE, 2000).

**Tabela 31.** Conteúdo de potássio, ferro, zinco, cobre e manganês em FCFC “in natura” e extrusadas das cultivares BRS Guariba e BRS Novaera.

T	COMPOSIÇÃO QUÍMICA									
	POTÁSSIO (mg/100g)*		FERRO (mg/100g)*		ZINCO (mg/100g)*		COBRE (mg/100g)*		MANGANÊS (mg/100g)*	
	BRS Guariba	BRS Novaera	BRS Guariba	BRS Novaera	BRS Guariba	BRS Guariba	BRS Guariba	BRS Guariba	BRS Guariba	BRS Guariba
1	1708,27 ± 3,21 b	1690,85 ± 7,64 b	4,58 ± 0,11 c	6,12 ± 0,16 a	3,81 ± 0,07 a	4,01 ± 0,04 a	0,19 ± 0,02 a	0,36 ± 0,02 a	1,38 ± 0,05 a	1,20 ± 0,05 a
2	1715,46 ± 16,60 b	1668,71 ± 0,55 b	4,04 ± 0,04 d	4,66 ± 0,22 a	3,97 ± 0,31 a	3,94 ± 0,18 a	0,20 ± 0,01 a	0,34 ± 0,04 a	1,25 ± 0,10 a	1,19 ± 0,18 a
3	1693,09 ± 9,92 b	1704,64 ± 17,45 b	5,00 ± 0,04 b	5,96 ± 0,08 a	3,87 ± 0,03 a	4,06 ± 0,01 a	0,19 ± 0,01 a	0,38 ± 0,04 a	1,22 ± 0,04 a	1,35 ± 0,06 a
4	1729,75 ± 12,53 b	1730,95 ± 5,51 c	4,80 ± 0,10 b	5,75 ± 0,12 a	3,97 ± 0,13 a	3,93 ± 0,02 a	0,18 ± 0,01 a	0,35 ± 0,02 a	1,25 ± 0,03 a	1,21 ± 0,26 a
5	1745,55 ± 16,42 b	1746,42 ± 53,07 c	5,03 ± 0,19 b	6,88 ± 1,19 a	3,79 ± 0,04 a	4,23 ± 0,34 a	0,20 ± 0,01 a	0,38 ± 0,04 a	1,21 ± 0,01 a	1,20 ± 0,09 a
6	1711,36 ± 14,37 b	1750,32 ± 1,31 c	4,56 ± 0,18 c	5,62 ± 0,05 a	3,64 ± 0,01 a	3,89 ± 0,04 a	0,20 ± 0,01 a	0,36 ± 0,01 a	1,34 ± 0,06 a	1,20 ± 0,07 a
7	1719,98 ± 18,57 b	1756,94 ± 31,32 c	4,64 ± 0,07 c	5,14 ± 0,17 a	3,78 ± 0,05 a	3,85 ± 0,04 a	0,22 ± 0,02 a	0,33 ± 0,01 a	1,21 ± 0,05 a	0,97 ± 0,06 a
8	1732,69 ± 2,88 b	1761,38 ± 10,36 c	5,49 ± 0,19 a	7,62 ± 0,13 a	3,83 ± 0,02 a	4,08 ± 0,07 a	0,23 ± 0,01 a	0,39 ± 0,01 a	1,25 ± 0,02 a	1,27 ± 0,18 a
9	1696,10 ± 2,39 b	1738,33 ± 7,16 c	4,37 ± 0,04 c	5,30 ± 0,55 a	3,80 ± 0,04 a	4,10 ± 0,19 a	0,24 ± 0,02 a	0,36 ± 0,01 a	1,17 ± 0,14 a	1,01 ± 0,07 a
10	1739,57 ± 25,53 b	1759,77 ± 4,92 c	4,49 ± 0,02 c	6,10 ± 0,64 a	3,81 ± 0,03 a	4,13 ± 0,08 a	0,23 ± 0,01 a	0,36 ± 0,01 a	1,19 ± 0,05 a	1,43 ± 0,04 a
11	1704,88 ± 36,39 b	1735,15 ± 22,56 c	4,43 ± 0,08 c	5,54 ± 0,24 a	3,90 ± 0,05 a	4,21 ± 0,03 a	0,22 ± 0,01 a	0,39 ± 0,02 a	1,22 ± 0,02 a	1,29 ± 0,06 a
12	1717,69 ± 14,76 b	1799,47 ± 7,75 c	4,48 ± 0,06 c	5,63 ± 0,15 a	3,79 ± 0,01 a	4,13 ± 0,11 a	0,25 ± 0,02 a	0,40 ± 0,00 a	1,16 ± 0,01 a	1,23 ± 0,25 a
<b>Média</b>	1717,87	1736,91	4,66	5,94	3,83	4,05	0,21	0,37	1,24	1,16
<b>FCFC</b>	1606,61 ± 34,37a	1422,97 ± 0,93 a	4,42 ± 0,24 c	4,24 ± 0,14 a	3,30 ± 0,14 b	3,94 ± 0,00 b	0,30 ± 0,03 a	0,47 ± 0,01 a	1,34 ± 0,32 a	0,89 ± 0,24 a

Legenda: T = tratamento; FCFC= farinha de cotilédone de feijão-caupi

\*Médias em duplicata ± desvio-padrão

Médias com letras iguais nas colunas não apresentam diferenças estatísticas significativas, ao nível de 5%, segundo teste de Scott-Knott

Fonte: Dados da pesquisa, Teresina-PI, 2016.

Moreira-Araújo, Araújo e Arêas (2008) obtiveram teor de ferro de 5,57 mg/100g em *snack* extrusado elaborado com farinha de grão de bico, pulmão bovino e milho. O teor de ferro da FCFC “in natura” da cultivar BRS Guariba se manteve estatisticamente igual aos valores obtidos por alguns tratamentos da respectiva FCFC extrusada. O teor de zinco da FCFC “in natura” da cultivar BRS Guariba também se destacou, sendo menor significativamente que a média obtida nas respectivas farinhas extrusadas.

As FCFC extrusadas e “in natura” demonstraram conteúdos de minerais semelhantes aos verificados em outros trabalhos com farinhas integrais de feijão-caupi “in natura” de feijão-caupi. Pesquisas relatam resultados de análises de ferro, zinco e manganês e são raros os que analisam o mineral cobre. Frota, Soares e Arêas (2008) ao avaliar a farinha integral “in natura” de feijão-caupi, cultivar BRS Milênio, obtiveram teores para ferro (6,8 mg/100g), zinco (4,1 mg/100g) e manganês (1,5 mg/100g). Adebooye e Sing (2007) analisando farinha de feijão-caupi decorticados de duas cultivares (C-152-White e S-152-white), determinaram teores de ferro e manganês que variaram de 4,4 a 4,8 mg/100g e de 1,1 a 1,9mg/100g, respectivamente, próximos aos verificados nesta pesquisa, mas obtiveram valores de cobre de 0,9 a 1,0 e zinco de 7,4 a 9,8, acima dos observados neste estudo. Os autores citados concluíram que na decorticação das duas cultivares existiram perdas significativas de Ca, Fe, Mn, Mg, Zn, K e Cu. Frota et al. (2010), em seu estudo com farinha integral “in natura” de feijão-caupi da cultivar Tracuateua - 235, obtiveram teores de ferro de 4,52 mg/100g e zinco de 3,74 mg/100g, semelhantes aos do presente trabalho.

Os modelos de regressão adotados para os teores de potássio, ferro, zinco, cobre e manganês das FCFC extrusadas das cultivares estudadas, encontram-se nas tabelas 32 a 41. Observa-se que somente os modelos de regressão adotados para os conteúdos de ferro da cultivar BRS Guariba (85,7%) (Tabela 31) e de zinco da cultivar BRS Novaera (83,3%) (Tabela 37) foram significativos para os parâmetros de extrusão estudados, demonstrando a influência dos efeitos linear da temperatura e umidade e quadrático da temperatura no teor de ferro e a influência dos efeitos linear da umidade e quadrático da temperatura no teor de zinco das FCFC extrusadas.

As equações abaixo descrevem os teores de ferro da cultivar BRS Guariba e os teores de zinco da cultivar BRS Novaera pelo modelo matemático, em função

das variáveis independentes codificadas (Equações 5 e 6), utilizando somente os coeficientes de regressão estatisticamente significativos ( $p < 0,05$ ).

Teor de ferro da cultivar BRS Guariba =  $4,44 + 0,30x + 0,23x^2 - 0,18y$  (Equação 5)

Teor de zinco da cultivar BRS Novaera =  $4,14 - 0,10x^2 - 0,08y$  (Equação 6)

**Tabela 32.** Coeficiente de regressão e ANOVA para o teor de potássio das FCFC extrusadas da cultivar BRS Guariba.

	<b>Coeficiente de regressão</b>	<b>Erro padrão</b>	<b>t(6)</b>	<b>p-valor</b>
<b>Média*</b>	<b>1714,560</b>	<b>10,55443</b>	<b>162,4493</b>	<b>0,000000</b>
(1) Temperatura (L)	2,136	7,46311	0,2862	0,784336
Temperatura (Q)	1,951	8,34401	0,2338	0,822891
(2) Umidade (L)	-0,561	7,46311	-0,0752	0,942526
Umidade (Q)	3,009	8,34401	0,3606	0,730748
T*U	7,366	10,55443	0,6979	0,511354
R <sup>2</sup>	0,109			
p	0,974			
Fc	0,146			

Valores em negrito e com asterisco indicam valores estatisticamente significativos. Fonte: Dados da pesquisa, Teresina-PI, 2016.

**Tabela 33.** Coeficiente de regressão e ANOVA para o teor de potássio das FCFC extrusadas da cultivar BRS Novaera.

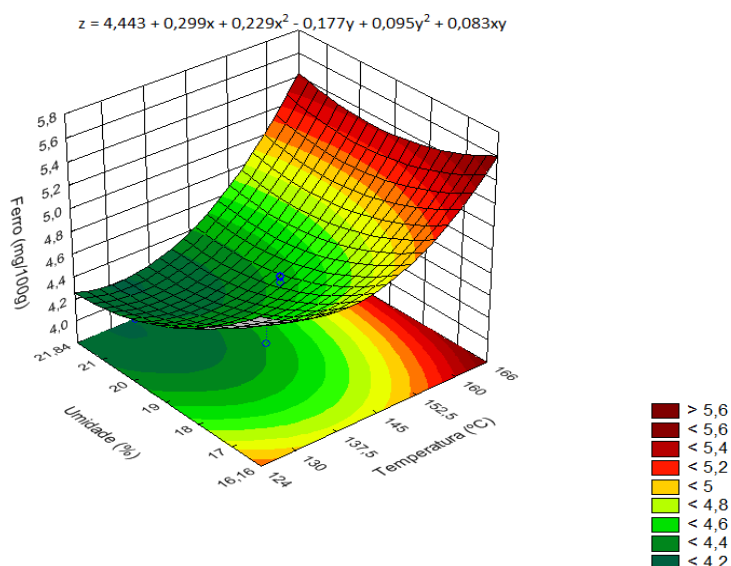
	<b>Coeficiente de regressão</b>	<b>Erro padrão</b>	<b>t(6)</b>	<b>p-valor</b>
<b>Média*</b>	<b>1758,180</b>	<b>19,66876</b>	<b>89,38946</b>	<b>0,000000</b>
(1) Temperatura (L)	10,289	13,90791	0,73981	0,487343
Temperatura (Q)	-13,254	15,54952	-0,85240	0,426704
(2) Umidade (L)	1,209	13,90791	0,08690	0,933579
Umidade (Q)	-18,651	15,54952	-1,19943	0,275573
T*U	12,111	19,66876	0,61576	0,560671
R <sup>2</sup>	0,315			
p	0,734			
Fc	0,552			

Valores em negrito e com asterisco indicam valores estatisticamente significativos. Fonte: Dados da pesquisa, Teresina-PI, 2016.

**Tabela 34.** Coeficiente de regressão e ANOVA para o teor de ferro das FCFC extrusadas da cultivar BRS Guariba.

	<b>Coeficiente de regressão</b>	<b>Erro padrão</b>	<b>t(6)</b>	<b>p-valor</b>
<b>Média*</b>	<b>4,443313</b>	<b>0,096933</b>	<b>45,83887</b>	<b>0,000000</b>
<b>(1) Temperatura (L)</b>	<b>0,299456</b>	<b>0,068542</b>	<b>4,36893</b>	<b>0,004724</b>
Temperatura (Q)	<b>0,229294</b>	<b>0,076632</b>	<b>2,99212</b>	<b>0,024254</b>
<b>(2) Umidade (L)</b>	<b>-0,176919</b>	<b>0,068542</b>	<b>-2,58116</b>	<b>0,041704</b>
Umidade (Q)	0,095294	0,076632	1,24352	0,260060
T*U	0,082650	0,096933	0,85265	0,426574
R <sup>2</sup>	0,857			
p	0,016			
Fc	7,173			

Valores em negrito e com asterisco indicam valores estatisticamente significativos. Fonte: Dados da pesquisa, Teresina-PI, 2016.

**Figura 14** – Efeito da temperatura de extrusão e do conteúdo de umidade sobre o teor de ferro das FCFC extrusadas da cultivar BRS Guariba.**Tabela 35.** Coeficiente de regressão e ANOVA para o teor de ferro das FCFC extrusadas da cultivar BRS Novaera.

	<b>Coeficiente de regressão</b>	<b>Erro padrão</b>	<b>t(6)</b>	<b>p-valor</b>
<b>Média*</b>	<b>5,642413</b>	<b>0,413004</b>	<b>13,66188</b>	<b>0,000010</b>
<b>(1) Temperatura (L)</b>	<b>0,731612</b>	<b>0,292038</b>	<b>2,50520</b>	<b>0,046202</b>
Temperatura (Q)	0,384609	0,326508	1,17795	0,283418
<b>(2) Umidade (L)</b>	<b>-0,432505</b>	<b>0,292038</b>	<b>-1,48099</b>	<b>0,189113</b>
Umidade (Q)	0,067372	0,326508	0,20634	0,843349
T*U	0,314025	0,413004	0,76034	0,475856
R <sup>2</sup>	0,635			
p	0,198			
Fc	2,087			

Valores em negrito e com asterisco indicam valores estatisticamente significativos. Fonte: Dados da pesquisa, Teresina-PI, 2016.



**Tabela 36.** Coeficiente de regressão e ANOVA para o teor de zinco das FCFC extrusadas da cultivar BRS Guariba.

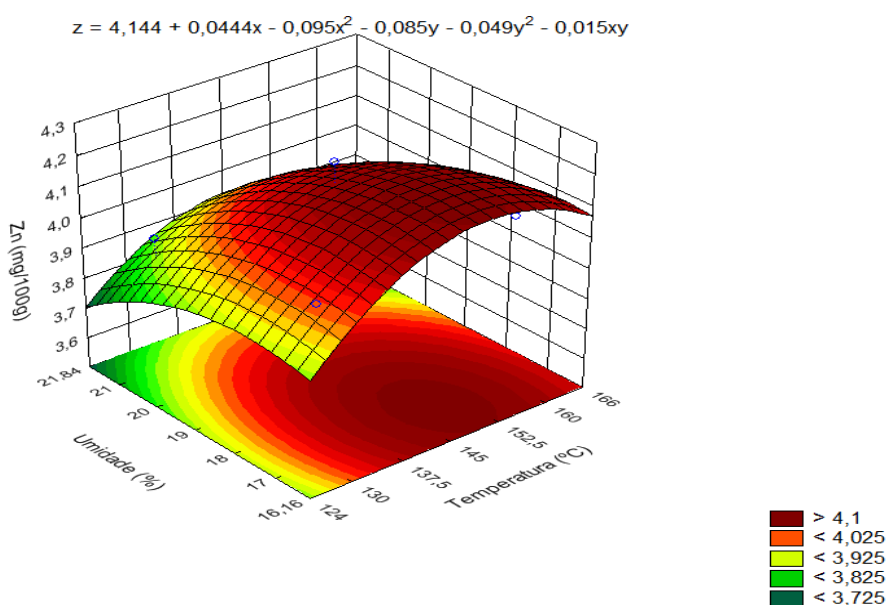
	<b>Coeficiente de regressão</b>	<b>Erro padrão</b>	<b>t(6)</b>	<b>p-valor</b>
<b>Média*</b>	<b>3,825350</b>	<b>0,057542</b>	<b>66,47879</b>	<b>0,000000</b>
(1) Temperatura (L)	0,015844	0,040689	0,38940	0,710423
Temperatura (Q)	0,026047	0,045491	0,57257	0,587734
(2) Umidade (L)	0,006199	0,040689	0,15236	0,883896
Umidade (Q)	-0,018416	0,045491	-0,40482	0,699649
T*U	-0,016500	0,057542	-0,28675	0,783952
R <sup>2</sup>	0,126			
p	0,963			
Fc	0,174			

Valores em negrito e com asterisco indicam valores estatisticamente significativos. Fonte: Dados da pesquisa, Teresina-PI, 2016.

**Tabela 37.** Coeficiente de regressão e ANOVA para o teor de zinco das FCFC extrusadas da cultivar BRS Novaera.

	<b>Coeficiente de regressão</b>	<b>Erro padrão</b>	<b>t(6)</b>	<b>p-valor</b>
<b>Média*</b>	<b>4,144150</b>	<b>0,034016</b>	<b>121,8280</b>	<b>0,000000</b>
(1) Temperatura (L)	0,044420	0,024053	1,8468	0,114303
<b>Temperatura (Q)*</b>	<b>-0,095241</b>	<b>0,026892</b>	<b>-3,5416</b>	<b>0,012196</b>
(2) <b>Umidade (L)*</b>	<b>-0,084956</b>	<b>0,024053</b>	<b>-3,5320</b>	<b>0,012338</b>
Umidade (Q)	-0,049378	0,026892	-1,8361	0,115997
T*U	-0,015275	0,034016	-0,4490	0,669161
R <sup>2</sup>	0,833			
p	0,025			
Fc	5,991			

Valores em negrito e com asterisco indicam valores estatisticamente significativos. Fonte: Dados da pesquisa, Teresina-PI, 2016.

**Figura 15** – Efeito da temperatura de extrusão e do conteúdo de umidade sobre o teor de zinco das FCFC extrusadas da cultivar BRS Novaera.

**Tabela 38.** Coeficiente de regressão e ANOVA para o teor de cobre das FCFC extrusadas da cultivar BRS Guariba.

	<b>Coeficiente de regressão</b>	<b>Erro padrão</b>	<b>t(6)</b>	<b>p-valor</b>
<b>Média*</b>	<b>0,234575</b>	<b>0,008460</b>	<b>27,72867</b>	<b>0,000000</b>
(1) Temperatura (L)	0,000523	0,005982	0,08739	0,933209
Temperatura (Q)	-0,010431	0,006688	-1,55971	0,169846
(2) Umidade (L)	0,000053	0,005982	0,00883	0,993241
<b>Umidade (Q)*</b>	<b>-0,024006</b>	<b>0,006688</b>	<b>-3,58948</b>	<b>0,011511</b>
T*U	-0,006625	0,008460	-0,78313	0,463332
R <sup>2</sup>	0,704			
p	0,117			
Fc	2,849			

Valores em negrito e com asterisco indicam valores estatisticamente significativos. Fonte: Dados da pesquisa, Teresina-PI, 2016.

**Tabela 39.** Coeficiente de regressão e ANOVA para o teor de cobre das FCFC extrusadas da cultivar BRS Novaera.

	<b>Coeficiente de regressão</b>	<b>Erro padrão</b>	<b>t(6)</b>	<b>p-valor</b>
<b>Média*</b>	<b>0,378250</b>	<b>0,008504</b>	<b>44,47746</b>	<b>0,000000</b>
(1) Temperatura (L)	0,012886	0,006013	2,14292	0,075844
Temperatura (Q)	-0,010675	0,006723	-1,58777	0,163436
(2) Umidade (L)	-0,010438	0,006013	-1,73576	0,133289
Umidade (Q)	-0,006150	0,006723	-0,91474	0,395603
T*U	-0,001775	0,008504	-0,20872	0,841574
R <sup>2</sup>	0,637			
p	0,195			
Fc	2,108			

Valores em negrito e com asterisco indicam valores estatisticamente significativos. Fonte: Dados da pesquisa, Teresina-PI, 2016.

**Tabela 40.** Coeficiente de regressão e ANOVA para o teor de manganês das FCFC extrusadas da cultivar BRS Guariba.

	<b>Coeficiente de regressão</b>	<b>Erro padrão</b>	<b>t(6)</b>	<b>p-valor</b>
<b>Média*</b>	<b>1,188775</b>	<b>0,028871</b>	<b>41,17502</b>	<b>0,000000</b>
(1) Temperatura (L)	-0,013751	0,020415	-0,67356	0,525675
Temperatura (Q)	0,028125	0,022825	1,23222	0,263962
(2) Umidade (L)	0,010343	0,020415	0,50663	0,630491
Umidade (Q)	0,049612	0,022825	2,17363	0,072697
T*U	0,038638	0,028871	1,33827	0,229291
R <sup>2</sup>	0,568			
p	0,296			
Fc	1,578			

Valores em negrito e com asterisco indicam valores estatisticamente significativos. Fonte: Dados da pesquisa, Teresina-PI, 2016.

**Tabela 41.** Coeficiente de regressão e ANOVA para o teor de manganês das farinhas extrusadas da cultivar BRS Novaera.

	<b>Coeficiente de regressão</b>	<b>Erro padrão</b>	<b>t(6)</b>	<b>p-valor</b>
<b>Média*</b>	<b>1,077613</b>	<b>0,088960</b>	<b>12,11347</b>	<b>0,000019</b>
(1) Temperatura (L)	0,076219	0,062904	1,21167	0,271186
Temperatura (Q)	0,040947	0,070329	0,58222	0,581621
(2) Umidade (L)	-0,017226	0,062904	-0,27384	0,793390
Umidade (Q)	0,082009	0,070329	1,16608	0,287831
T*U	-0,034475	0,088960	-0,38753	0,711735
R <sup>2</sup>	0,346			
p	0,682			
Fc	0,636			

Valores em negrito e com asterisco indicam valores estatisticamente significativos. Fonte: Dados da pesquisa, Teresina-PI, 2016.

## 6. CONCLUSÕES

- Na análise de composição centesimal das FCFC extrusadas das duas cultivares, observou-se que as duas destacaram-se por obter altos conteúdos proteicos e de carboidratos e baixo teor de lipídios, além de adequados valores de pH e acidez;
- Em relação aos conteúdos de minerais das FCFC extrusadas das duas cultivares, foi observada diferença somente nos teores de Fe (BRSG), Na (BRSG) e K (BRSN);
- Em relação aos os modelos de regressão adotados às FCFC extrusadas da cultivar BRS Guariba, destacaram-se somente o teor de pH e o teor de ferro, para a temperatura do processo e/ou umidade;
- No caso da cultivar BRS Novaera, os modelos de regressão adotados que se destacaram foram o teor de cinzas, o teor de pH e o conteúdo de Zn para a temperatura do processo e umidade;
- Dentre os parâmetros tecnológicos avaliados (umidade da mistura e temperatura na 4ª zona), o teor de umidade da matéria-prima foi o que exerceu efeito mais pronunciado sobre as características dos produtos obtidos das duas cultivares, seguido da temperatura de extrusão;
- O emprego da farinha de cotilédone de feijão-caupi na elaboração de *snacks* é uma opção para a elaboração de um alimento extrusado, obtendo-se um produto final com boas características nutricionais.

## 7. SUGESTÕES

Este trabalho abordou e discutiu parte dos resultados oriundos de um projeto maior intitulado: “Desenvolvimento de alimentos convenientes por extrusão termoplástica a partir de grãos e derivados de feijão-caupi”, financiado pela Embrapa Meio-Norte. De maneira geral, o projeto já alcançou outros objetivos além dos já observados neste estudo, como a análise dos efeitos de alguns parâmetros da extrusão termoplástica nas características tecnológicas de *snacks* extrusados de feijão-caupi. Além disso, o trabalho destacou-se por abordar o uso de uma farinha que pode ser utilizada para fins alimentícios, já que não contém glúten, o que a torna interessante para a elaboração de produtos alternativos aos celíacos ou intolerantes à proteína do glúten.

Como os produtos elaborados têm como características o alto valor proteico e o baixo valor lipídico, torna-se de suma importância e recomendável a realização da análise sensorial dos produtos para avaliar a aceitação visual, sabor e textura (crocância) dos produtos.

A fim de obter um perfil nutricional mais completo das farinhas de cotilédone de feijão-caupi extrusadas nessa pesquisa, sugere-se que futuramente sejam realizadas análises relacionadas de compostos bioativos, vitaminas (principalmente as do complexo B), fibras solúveis e insolúveis, perfil de aminoácidos e digestibilidade “in vitro”.

Outra sugestão seria a elaboração de novos produtos extrusados utilizando outras farinhas, além da farinha de cotilédone de feijão-caupi, como a farinha integral ou outras farinhas com uma qualidade nutricional superior, de forma que possam surgir destas combinações produtos com valor nutricional interessante ao consumidor.

## REFERÊNCIAS

ADEBOOYE, O. C.; SINGH, V. Effect of cooking on the profile of phenolics, tannins, phytate, amino acid, fatty acid and mineral nutrients of whole-grain and decorticated vegetable cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp). **J. Food Qual.**, v. 30, dec. 2007.

ALONSO, R.; AGUIRRE, A.; MARZO, F. Effects of extrusion and traditional processing methods on antinutrients and in vitro digestibility of protein and starch in faba and kidney beans. **Food Chemistry**, Londres, v. 68, n. 2, p. 159-165, 2000.

ALVIM, I. D.; SGARBIERI, V. C.; CHANG, Y. K. Desenvolvimento de farinhas mistas extrusadas à base de farinha de milho, derivados de levedura e caseína. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 22, n. 2, maio-ago. 2002.

ANDRADE, K. C. S et al. Goma de cajueiro (*Anacardium occidentale*): Avaliação das modificações químicas e físicas por extrusão termoplástica. **Polímeros**, v. 23, n. 5, oct. 2013.

AOAC. **Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemistry**. 16 edição. (2010). Arlington: Washington, 2005.

ARABBI, P. R. Alimentos funcionais – Aspectos gerais. **Nutrire: Revista da Sociedade Brasileira de Alimentação e Nutrição, São Paulo**, v.21, p.87-102, 2001. Disponível em: <[http://www.sban.com.br/educacao/nutrire/21/nut21\\_7.htm](http://www.sban.com.br/educacao/nutrire/21/nut21_7.htm)>. Acesso em: 10 ago. 2015.

ARÊAS, J. A. G. Interações moleculares do amido durante o processo de extrusão. **Boletim da Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 30, n. 1, p. 28-30, 1996.

ARÊAS, J. A. G. Extrusion of food proteins. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**. v. 32, nº 4, p.365-392, 1992.

ASCHERI, J. L. R. Curso de processo de extrusão de alimentos: aspectos tecnológicos para o desenvolvimento e produção de alimentos para consumo humano e animal. **EMBRAPA**, Abril, 2009, 89p.

ASCHERI, J. L. R.; CARVALHO, C. W. P.; MATSUURA, F. C. A. U. Elaboração de pellets de farinha de raspa de mandioca por extrusión termoplástica (escala piloto e industrial). **Alimentaria**, Madri, v. 37, n. 309, p. 101-106, 2000.

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, J. L.; SPEHAR, C. R.; NASCIMENTO, N. E. Caracterización química comparativa de harinas instantaneas por extrusión de quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.), maíz y arroz. **Alimentaria**, Madrid, v. 39, n.331, p. 82-89. 2002.

BARROS NETO, B; SACARMÍNIO, I. S.; BRUNS, R. E. **Como fazer experimentos: pesquisa e desenvolvimento na ciência e na indústria**. 401 p. Campinas: Ed. da Unicamp, 2003.

BATISTA, K. A.; PRUDÊNCIO, S. H.; FERNANDES, K. F. Changes in the biochemical and functional properties of the extruded hard-to-cook cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp). *International Journal of Food Science & Technology*, v. 45, nº 4, pg 794–799, April 2010.

BOMBO, A. J. **Obtenção e caracterização nutricional de snacks de milho (*Zea mays L.*) e linhaça (*Linum usitatissimum L.*)**. 2006. 96f. Dissertação (Mestrado em Saúde Pública) - Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, SP.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução nº 64 de 16 de setembro de 2008. Aprova o Regulamento Técnico sobre Atribuição de aditivos e seus limites máximos para alimentos. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**. Brasília, 17 set. 2008.

BURATTO, J. S. **Teores de minerais e proteínas em grãos de feijão e estimativas de parâmetros genéticos**. 2012. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Lavras, Programa de Pós-Graduação de Genética e Melhoramento de Plantas, Lavras/MG, 2012.

CAMIRE, M. E. Chemical and nutritional changes in food during extrusion. *In: RIAZ, M. N. Extruders in food applications*. CRC Press, Boca Raton, p.127-147, 2000.

CAMIRE, M. E.; CAMIRE, A.; KRUMHAR, K. Chemical and nutritional changes in foods during extrusion. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 19, 1990.

CAPRILES, V. D.; ARÊAS, J. A. G. Desenvolvimento de salgadinhos com teores reduzidos de gordura saturada e de ácidos graxos *trans*. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 25, n. 2, 2005.

CAPRILES, V. D.; SOARES, R. A. M.; ARÊAS, J. A. G. Development and assessment of acceptability and nutritional properties of a light *snack*. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 27, n. 3, 2007.

CAPRILES, V. D.; SOARES, R. A. M.; PINTO e SILVA, M. E. M.; ARÊAS, J. A. G. Effect of fructans-based fat replacer on chemical composition, starch digestibility and sensory acceptability of corn snacks. **International Journal of Food Science & Technology**, Malden, v. 44, n. 10, p. 1895-1901, 2009.

CARDOSO-SANTIAGO, R.A. **Desenho de alimento extrusado para intervenção nutricional à base de milho (*Zea mays L.*) e pulmão bovino**. São Paulo-SP, Universidade de São Paulo, Faculdade de Saúde Pública, 2002, 103p. Tese de Doutorado em Saúde Pública, Universidade de São Paulo, Faculdade de Saúde Pública.

CARDOSO-SANTIAGO, R. A.; MOREIRA-ARAÚJO, R. S. R.; ARÊAS, J. A. G. The potential of extruded chickpea, corn and bovine lung for malnutrition program. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 2, n. 3, 2001.

CARREIRO, A.; GODOY, A.; LIMA, A. C.; TAVARES, C.; LOPES, D.; MAGALHAES, V. A. **Alimentos extrusados**. São Paulo: Faculdade de Ciências Farmacêuticas – Universidade de São Paulo, 2008.

CARVALHO, A. V.; BASSINELLO, P. Z.; MATTIETTO, R. A.; CARVALHO, R. N.; RIOS, A. O.; SECCADIO, L. L. Processamento e caracterização de *snack* extrudado a partir de farinhas de quirera de arroz e de bandinha de feijão. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 15, n. 1, 2012a.

CARVALHO, R. V. **Formulações de *snacks* de terceira geração por extrusão: caracterização textuométrica e microestrutural**. 2000. 89 f. Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos). Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2000.

CARVALHO, R. V.; ASCHERI, J. L. R.; CAL-VIDAL, J. Efeito dos parâmetros de extrusão nas propriedades físicas de pellets (3G) de misturas de farinhas de trigo, arroz e banana. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 26, n. 5, 2002.

CARVALHO, A. V.; VASCONCELOS, M. A. M.; SILVA, P. A.; ASSIS, G. T.; ASCHERI, J. L. R. Caracterização tecnológica de extrusados de terceira geração à base de farinhas de mandioca e pupunha. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34 n. 4, p. 995-1003, 2010.

CARVALHO, A. V.; VASCONCELOS, M. A. M.; SILVA, P. A.; ASCHERI, J. L. R. Produção de *snacks* de terceira geração por extrusão de misturas de farinhas de pupunha e mandioca. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 12, n. 4, 2009.

CASTELLÓN, R. E. R. et al. Composição elementar e caracterização das frações lipídicas de seis cultivares de caupi. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 7, n. 1, 2003.

CAVALCANTE, R. B. M. **Efeito do processamento térmico no conteúdo de compostos bioativos e atividade antioxidante em cultivares de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp)**. 2015. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Alimentos e Nutrição, Universidade Federal do Piauí, Teresina, PI.

CEREDA, M. P.; VILPOUX, O.; FRANCO, C. M. L. Uso de amido e seus derivados na produção de salgadinhos extrusados (*snacks*). In: CEREDA, M. P.; VILPOUX, O. F. (Org.). **Tecnologia, usos e potencialidades de tuberosas amiláceas Latino Americanas**. São Paulo: Fundação Cargill, 2003, v. 3, p. 132-142.

CHUANG, G.C.; YEH, A.I. Effect of screw profile on residence time distribution and starch gelatinization of rice flour during single screw extrusion cooking, **Journal of Food Engineering**, 2004; 63(1): 21-31.



CHEFTEL, J. C. Nutritional effects of extrusion cooking. **Food Chem.** v. 20, n. 4, 1986.

CHEN, O. S.; TORIBARA, T. Y.; WARMER, H. Microdetermination of phosphorus. **Analytical Chemistry**, Washington, v. 28, n. 11, 1956.

CHEN, J. et al. Effects of extrusion conditions on sensory properties of corn meal extrudates. **J. Food Sci.**, v. 56, n. 1, 1991.

CLERICE, 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, p. 1543-1550, set./out. 2008.

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**, v.66, 2005.

EHLERS, J. D.; HALL, A. E. Cowpea *Vigna unguiculata* (L) Walp. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 53, 1997.

EMBRAPA MEIO NORTE. Circular Técnica: **Cultivo do feijão-Caupi** (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.). Sistemas de Produção 2. Embrapa Meio Norte. ISSN 1678-8818 Versão Eletrônica. Jan/2003. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa>>. Acesso em 10 de mar. 2014.

EMBRAPA ARROZ E FEIJÃO. **Dados conjunturais da produção de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L.) no Brasil (1985 a 2014):** área, produção e rendimento. Disponível em: <<http://www.cnpaf.embrapa.br/socioeconomia/index.htm>>. Acesso em: 26 out. 2015.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (Brasil). **Trigo: extrusão**. Região Sul do Brasil. Passo Fundo – RS. EMBRAPA, 2006.

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Dados da produção mundial de feijão-seco total e feijão-caupi de 2007 a 2011.** 2013.

FAOSTAT. Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Production statistic.** 2011. Disponível em: <<http://www.faostat.fao.org.htm>>. Acesso em: 23 de out. 2015.

FELLOWS, P. Extrusão. In: FELLOWS, P. **Tecnologia do Processamento de Alimentos: princípios e prática.** Porto Alegre: [s.n.], 2006.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n. 6, 2011.

FERREIRA, T. A. P. C. **Avaliação nutricional do amaranto (*Amaranthus caudatus* L.) extrusado em diferentes condições de umidade.** São Paulo, 1999.

157p. Tese (Doutorado) – Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Universidade de São Paulo.

FREIRE FILHO, F. R. et al. **Feijão-caupi no Brasil: produção, melhoramento genético, avanços e desafios**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2011.

FREIRE FILHO, F. R.; CRAVO, M. da S.; VILARINHO, A. A.; CAVALCANTE, E. da S.; FERNANDES, J. B.; SAGRILLO, E.; RIBEIRO, V. Q.; ROCHA, M. de M.; SOUZA, F. de F.; LOPES, A. de M.; GONÇALVES, J. R. P.; CARVALHO, H. W. L. de; RAPOSO, J. A. A.; SAMPAIO, L. S. **BRS Novaera: cultivar de feijão-caupi de porte semi-ereto**. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2008.

FREIRE FILHO, F. R.; RIBEIRO, V. Q.; BARRETO, P. D.; SANTOS, C. A. A. Melhoramento genético. In: FREIRE FILHO, F. R.; LIMA, J. A. de A.; RIBEIRO, V. Q. (Ed.). **Feijão-caupi: avanços tecnológicos**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Teresina: Embrapa Meio Norte, 2005. p 29-92.

FROES, L. O. **Emprego da farinha de bandinha de feijão carioca extrusada na formulação de misturas para bolo sem glúten contendo farinha de quirera de arroz**. 2012. 122 f. Dissertação. (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos da Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2012.

FROTA, K. M. G. **Efeito do feijão caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp) e da proteína isolada no metabolismo lipídico em hamsters hipercolesterolemizados**. Dissertação (Mestrado em Nutrição Humana Aplicada)-Universidade de São Paulo, Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade, Faculdade de Saúde Pública, São Paulo, 2007.

FROTA, K. M. G.; MORGANO, M. A.; SILVA, M. G.; ARAÚJO, M. A. M.; MOREIRA-ARAÚJO, R. S. R. Utilização da farinha de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) na elaboração de produtos de panificação. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 30, 2010.

FROTA, K. M. G.; SOARES, R. A. M.; ARÊAS, J. A. G. Composição química do feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp), cultivar BRS-Milênio. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 28, n. 2, 2008.

GIAMI, S. Y. Compositional and nutritional properties of selected newly developed lines of cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp). **Journal of Food Composition and Analysis**, Oxford, v. 18, n. 7, 2005.

GOMES, J. C.; SILVA, C. O.; COSTA, N. M. B.; PIROZI, M. R. Desenvolvimento e caracterização de farinhas de feijão. **Revista Ceres**, v. 53, n. 309, 2006.

GONÇALVES, R. A. **Rendimentos de cultivares de milho em grits para a produção de snacks**. 2001. Tese de doutorado, Universidade Federal de Lavras Lavras, 2001, 55 p.

GONÇALVES, J. R. P. **BRS Novaera: cultivar de feijão-caupi para cultivo em várzeas do Amazonas**. Jaguariúna, SP: Embrapa Meio Ambiente, Agosto, 2012.

GONÇALVES, J. R. P. et al. **BRS Guariba – Nova Cultivar de Feijão-Caupi para o Estado do Amazonas**. Manaus, AM: Embrapa Amazônia Ocidental, Dezembro, 2009.

GUJRAL, H. S.; SINGH, N.; SINGH, B. Extrusion behaviour of grits from flint and sweet corn. **Food Chemistry**, Londres, v. 74, n.1, p. 303-308, 2001.

GUY, R. **Extrusión de los Alimentos**. Zaragoza: Acribia, 2001. 208 p.

HAGENIMANA, A.; DING, X.; FANG, T. Evaluation of rice flour modified by extrusion cooking. **Journal of Cereal Science**, v. 43, 2006.

HARPER, J. M. **Extrusion processing of food**. **Food Technology**, v.32, n.7, jul. 1978.

\_\_\_\_\_. Extrusion of Foods. Vol. I. **CRC Press Inc.**, FL (1981), p 41-91.

HEIDENREICH, E. MICHAELSEN, T. Manufacture of special feeds with a twin extruder (Spezialfutterherstellung mit einem Zweiwellenextruder). **Kraftfutter.**, n. 12, p. 468 – 488. 1994.

HENDERSON, S.M., PERRY, R.L. **Agricultural Process Engineering**. Westport, Connecticut – EUA: The Avi Publishing Company, 1976.

HERNÁNDEZ-DÍAZ, J. R.; QUINTERO-RAMOS, A.; BARNARD, J.; BALANDRÁN-QUINTANA, R. R. Functional Properties of Extrudates Prepared with Blends of Wheat Flour/Pinto Bean Meal with Added Wheat Bran. **Food Science and Technology International**, Londres, v. 13, p.301-308, 2007.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Levantamento sistemático da produção agrícola**. Rio de Janeiro: IBGE, 2011.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA ESTATÍSTICA. Coordenação de Trabalho e Rendimento. **Pesquisa de orçamentos familiares 2008-2009: análise do consumo alimentar pessoal no Brasil (POF)**. Rio de Janeiro: IBGE, 2010. 150 p.

ILO, S.; BERGHOFER, E. Kinetics of colour change during extrusion cooking of maize grits. **Journal of Food Engineering**, v. 39, n. 1, p. 73-80, 1999.

ILO, S.; LIU, Y.; BERGHOFER, E. Extrusion cooking of rice flour and amaranth blends. **Food Science and Technology - Lebensmittel Wissenschaft & Technologie**, Oxford, v. 32, n. 2, p. 79-88, 1999.

INMETRO. **INSTRUÇÃO NORMATIVA Nº 8, DE 2 DE JUNHO DE 2005**. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br> > Acesso em: 01.03.16.

IQBAL, A.; KHALIL, I. A.; ATEEQ, N.; KHAN, M. S. Nutritional quality of important food legumes. **Food Chemistry**, v. 97, n. 2, 2006.

LEONEL, M.; MISCHAN M. M.; PINHO S. Z.; IATAURO, R. A.; DUARTE FILHO, J. Efeitos de parâmetros de extrusão nas propriedades físicas de produtos expandidos de inhame. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 26, n. 2, 2006.

LIMBERGER, V. M.; COMARELA, C. G.; PATIAS, C. D.; BRUM, F. B.; EMANUELLI, T.; SILVA, L. P. Produção de salgadinho extrusado de quirera de arroz para uso na indústria de alimentos. **Ciência Rural**, v. 39, 2009.

LIRA FILHO, J. F. de. **Efeitos da extrusão termoplástica sobre as propriedades tecnológicas e nutritivas das proteínas da farinha integral do feijão caupi (*Vigna unguiculata* (L. Walp))**. Campinas, 2001. 148 f. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos), Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas.

LOBANCO, C. M.; VEDOVATO, G. M.; CANO, C. B.; BASTOS, D. H. M. Fidedignidade de rótulos de alimentos comercializados no município de São Paulo, SP. **Revista de Saúde Pública**, São Paulo, v. 43, n. 3, p. 499-505, 2009.

LUSTOSA, B. H. B.; LEONEL, M.; MISCHAN, M. M.. Parâmetros de extrusão na produção de *snacks* de farinha de mandioca enriquecidos com caseína. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 31, n. 1, jan./mar. 2010.

MCWATTERS, K. H. et al. Baking performance and consumer acceptability of raw and extruded cowpea flour breads. **Journal of Food Quality**, v. 27, nº 5, pages 337–351, Oct. 2004.

MAIA, G. A et al. Eficiência da farinha desengordurada de gergelim como complemento protéico da farinha extrudada de caupi. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v.34, n.7, jul. 1999.

MARQUES, M. R. **Ação hipocolesterolêmica de hidrolisados de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.** 2013. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

MARÉCHAL, R.; MARCHERPA, J. M.; STAINER, F. Étude taxonomique d' un groupe complexe d'espèces de genres *Phaseolus* et *Vigna* (*Papilionaceae*) sur la base de données morphologiques et polliniques, traitées par l' analyse informatique. **Boissiera**, Geneve, v. 28, 1978.

MARTÍN-CABREJAS, M. A.; ESTEBAN, R. M.; PEREZ, P.; MAINA, G.; WALDRON, K. W. Changes in physicochemical properties of dry beans (*Phaseolus vulgaris* L.) during long-term storage. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 45, 1997.

MENEGASSI, B.; LEONEL, M.; MISCHAN, M. M.; PINHO, S. Z. Efeito de parâmetros de extrusão na cor e propriedades de pasta da farinha de

mandioquinha-salsa (*Arracacia xanthorrhiza*). **Ciência e Agrotecnologia**, v. 31, n. 6, 2007.

MIKALOUSK, F. B. S et al. Influência da granulometria da matéria-prima na expansão de extrusados de milho. **Brazilian Journal Food and Technology**, v. 17, n. 1, jan./mar. 2014.

MITCHELL, J.R.; ARÊAS, J.A.G. Structural changes in biopolymers during extrusion. In: KOKINI, J.L.; HO, C.T.; KARWE, M.V. eds. **Food extrusion science and technology**. New York: Marcel Dekker, n. 49, 1992.

MOREIRA-ARAUJO, R. S. R.; ARAÚJO, M. A. M.; ARÊAS, J. A. Fortified food made by the extrusion of a mixture of chickpea corn and bovine lung controls iron-deficiency anaemia in preschool children. **Food Chemistry**, v. 107, n. 1, 2008.

MOUQUET, A., SALVIGNOL, B., VAN HOAN, N., MONVOIS, J., TRÈCHE, S. Ability of a "very low-cost extruder" to produce instant infant flours at a small scale in Vietnam. **Food Chemistry**, v. 82, 2003.

MOURA, L. S. M.; ASCHERI, J. L. R. Efeitos das variáveis de extrusão sobre propriedades de pasta de farinhas mistas pré-gelatinizadas de arroz (*Oryza sativae*, L.), feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) e milho (*Zea mays* L.). **Alim. Nutr. = Braz. J. Food Nutr.**, v. 24, n. 1, jan./mar. 2013.

NABESHIMA, E. H.; GROSSMANN, M. V. E. Functional properties of pregelatinized and cross-linked cassava starch obtained by extrusion with sodium trimetaphosphate. **Carbohydrate Polymers**, v. 45, 2001.

NG, N. Q.; MARÉCHAL, R. **Cowpea taxonomy, origin germplasm**. In: SINGH, SR.; RACHIE, K. O. (Ed). *Cowpea research, production and a utilization*. Cheichester: John Wiley e Sons, 1985.

NIELSEN. **Mercado de snacks mundial**. Disponível em: <<http://www.nielsen.com>> Acesso em 01.03.16.

O'BRIEN, K.; LEICHENKO, R., KELKAR, U., VENEMA, H., AANDAHL, G., TOMPKINS, H., JAVED, A., BHADWAL, S., BARG, S., NYGAARD, L., WEST, J. Mapping vulnerability to multiple stressors: climate change and globalization in India. **Global Environmental Change**, 14, 303–313, 2004.

OLIVEIRA, A.C.; QUEIROZ, K. S.; HELBIG, E.; REIS, 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 de flatulência rafinose, estaquiose e verbascose. **Archivos Latino Americanos de Nutrition**, v. 51, n. 3, 2001.

OLIVEIRA, M. F.; WANG, S. H.; COSTA, P. S.; ASCHERI, J. L. R. Qualidade de cozimento de massas de trigo e soja pré-cozidas por extrusão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 5, 2004.

OMWAMBA, M.; MAHUNGU, S. M. Development of a protein-rich ready-to-eat extruded snack from a composite blend of rice, sorghum and soybean flour. **Food and Nutrition Sciences**, 2014.

ONWULIRI, V. A.; OBU, J. A. Lipids and other constituents of *Vigna unguiculata* and *Phaseolus vulgaris* grown in northern Nigeria. **Food Chemistry**, v. 76, n.1, 2002.

PADULOSI, S; NG, N. Q. Origin taxonomy, and morphology of *Vigna unguiculata* (L.) Walp. In: SINGH, B. B.; MOHANRAJ, D.R.; DASHIELL, K. E.; JACKAI, L. E. N. (Ed.). Advances in cowpea research. Ibadan: International Institute of Tropical Agriculture; Tsukuba: **Japan International Research Center for Agricultural Sciences**, 1997.

RANGEL, O. J. P.; SILVA, C. A.; BETTIOL, W.; GUILHERME, L. R. G.; DYNIA, J. F. Acúmulo de Cu, Mn, Ni, Pb e Zn em Latossolo Vermelho adubado com fontes de lodo de esgoto e cultivado com milho. **Ciência Agrotécnica**, v.28, p.15-23, 2004

REIFSTECK, B. M.; JEON, I. J. Retention of volatile flavors in confections by extrusion processing. **Food Reviews International**, v. 16, 2000.

RIBAS, A. I.; CÁNOVAS, G. V. B.; GARZA, S. G.; AÑÓ, V. G. **Métodos Experimentales en La Ingeniería de los Alimentos**. 1ª edição. Zaragoza: Acribia, 2000. 292 p.

RIOS, M. J. B. L. **Caracterização de farinhas de cultivares comerciais de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp)**. 2014. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Alimentos e Nutrição, Universidade Federal do Piauí, Teresina, PI.

ROCHA, M. M. et al. **Avaliação dos teores de ferro, zinco e proteína em linhagens de feijão-caupi da classe comercial Branca, subclasse Fradinho**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2011. 4p. (Embrapa Meio-Norte. Comunicado Técnico, 226).

SALGADO, S. M.; GUERRA, N. B.; ANDRADE, S. A. C.; LIVERA, A. V. S. Caracterização físico-química do grânulo do amido do feijão caupi. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 25, n. 3, jul./set. 2005.

SATHE, S. K.; VENKATACHALAM, M. Bean. In: WRIGLEY, C.; CORKE, H.; WALKER, C. E. **Encyclopedia of grain science**. St. Louis: Elsevier, v.1, p. 76-86, 2004.

SILVA, E. M. M; ASCHERI, J. L. R.; ASCHERI, D. P. R.; CARVALHO, L. M. J. Efeito dos parâmetros de extrusão nas características de viscosidade de pasta e Índice de absorção de água de macarrões pré-cozidos elaborados a partir de farinha mista de arroz integral e milho obtidos por extrusão. **Boletim CEPPA**, v. 26, n. 2, 2008.

SILVA, C. O. **Desenvolvimento e caracterização físico-química e biológica de farinhas de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.)**. 2005. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

SMARTT, J. **Grain Legumes: evolution and genetic resources**. Cambridge: Cambridge University Press, 1990.

SOUSA, M. L.; MENEZES, H.C. Otimização do processo de extrusão termoplástica da mistura castanha do Brasil com farinha de mandioca. *Revista Ciência e Tecnologia de Alimentos*, v.28, n. 3, p. 659-667, jul.-set. 2008.

STEELE, W. M.; MEHRA, K. L. **Structure, evolution and adaptation to farming system and environment in *Vigna***. In: SUMERFIELD, D.R.; BUTING, A. H. (Ed.). *Advances in legumes science*. England: Royal Botanic Gardens, 1980.

SOARES JÚNIOR, M. S et al. Desenvolvimento de salgadinhos extrusados a partir de fragmentos de arroz e de feijão. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 32, n. 1, jan./mar. 2011.

SOUZA, J. M. L. et al. Variabilidade físico-química da farinha de mandioca. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, v. 28, n. 4, out./dez. 2008.

STANLEY, D. W. Chemical and structural determinants of texture of fabricated foods. *Food Technology*, v. 40, 1986.

STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM - SAS. **SAS for Windows**. Versão 10.0. Cary: Statistical Analysis System Institute, 1999.

TARDIDO, A. P.; FALCÃO, M. C. O impacto da modernização na transição nutricional e obesidade. *Revista Brasileira de Nutrição Clínica*, v. 21, n. 2, 2006.

THAKUR, S.; SAXENA, D. C. Formulation of extruded snack food: optimization of ingredients levels using response surface methodology. *Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie*, v. 33, n. 5, 2000.

TORRES, L. L. G.; EL-DASH, A. A.; CARVALHO, C. W. P. et al. Efeito da umidade e da temperatura no processamento de farinha de banana verde (*musa acuminata*, Grupo AAA) por extrusão termoplástica. *Boletim do Centro de Pesquisa de Alimentos*, v. 23, n. 2, p. 273-290, jul./dez., 2005.

TRAN, Q. D.; HENDRIKS, W. H.; VAN DER POEL, A. F. B. Effects of extrusion processing on nutrients in dry pet food. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, v. 88, 2008.

VAN DEN EINDE, R. M.; VAN DER VEEN, M. E.; BOSMAN, H.; VANDER GOOT, A. J.; BOON, R. M. Modeling macromolecular degradation of corn starch in a twin screw extruder. *Journal of Food Engineering*, Dublin, v. 66, n. 2, p. 147-154, 2005

VASCONCELOS, I. M. et al. Composition, toxic and antinutritional factors of newly developed cultivars of Brazilian soybean (*Glycine max*). **Journal of the Science of Food and Agriculture**. v.75, n.4, 1997.

VERDCOURT, B. Studies in the leguminosae: papilionoideae for the Flora of tropical East Africa. **KewBulletin**, v. 24, 1970.

XAVIER, T. F. et al. Ontogenia da nodulação em dois cultivares de feijão-caupi. **Ciência Rural**, v. 37, n. 2, 2007.

WATT, B.; MERRILL, A. L. **Composition of foods: raw, processed, prepared**. Washington DC: Consumer and Food Economics Research. Divison/Agricultural Service, 1963. (Agriculture Handbook, 8).

WOOLEY, J. N. A **Survey of the distribution and production of cowpea and prospects for the crop in Central America and the Caribbean**. México: CIMMYT, 1980.

YAGCI, S.; GOGUS, F. Selected physical properties of expanded extrudates from the blends of hazelnut flour-durum clear flour-rice. **Journal Food Properties**, Cidade do Mexico, v. 12,n. 1, p. 405-413, 2009.