



**UNICAMP**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS**

**VANINA HELEN DE CASTRO TEREZAN**  
Engenheira de Alimentos

**DESENVOLVIMENTO DE SALGADINHOS EXPANDIDOS À  
BASE DE FARINHAS DE MILHO E QUINOA PELO  
PROCESSO DE EXTRUSÃO TERMOPLÁSTICA**

**TESE DE DOUTORADO  
APRESENTADA À FACULDADE DE ENGENHARIA DE  
ALIMENTOS DA UNICAMP PARA OBTENÇÃO DO TÍTULO DE  
DOUTOR EM TECNOLOGIA DE ALIMENTOS**

**PROF<sup>ª</sup> DR<sup>ª</sup> FERNANDA PAULA COLLARES QUEIROZ**  
Orientadora

Este exemplar corresponde à versão final da tese defendida por Vanina Helen de Castro Terezan, aprovada pela comissão julgadora em 18/07/2011 e orientada pela Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Fernanda Paula Collares Queiroz.

---

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Fernanda Paula Collares Queiroz

**CAMPINAS, 2011**

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA POR  
CLAUDIA AP. ROMANO DE SOUZA – CRB8/5816 - BIBLIOTECA DA FACULDADE DE  
ENGENHARIA DE ALIMENTOS – UNICAMP

C279d Castro Terezan, Vanina Helen de.  
Desenvolvimento de salgadinhos expandidos à base de farinhas de milho e quinoa pelo processo de extrusão termoplástica / Vanina Helen de Castro Terezan. – Campinas, SP: [s.n], 2011.

Orientador: Fernanda Paula Collares Queiroz.  
Tese (doutorado) – Universidade Estadual de Campinas.Faculdade de Engenharia de Alimentos.

1. Quinoa. 2. Extrusão termoplástica. 3. Extrudados. 4. Lisina. 5. Milho. I. Collares-Queiroz, Fernanda Paula. II. Universidade Estadual de Campinas.Faculdade de Engenharia de Alimentos. III. Título.

Informações para Biblioteca Digital

Título em inglês: Development of expanded snacks made from corn and quinoa flours by a thermoplastic extrusion process

Palavras-chave em inglês (Keywords):

Quinoa

Thermoplastic extrusion

Extrudates

Lysine

Corn

Área de concentração: Tecnologia de Alimentos

Titulação: Doutor em Tecnologia de Alimentos

Banca examinadora:

Fernanda Paula Collares Queiroz [Orientador]

Luciana Brigatto Fontes

Rita de Cássia Salvucci Celeste Ormenese

Maria Isabel Rodrigues

Vera Sônia Nunes da Silva

Data da defesa: 18/07/2011

Programa de Pós Graduação: Tecnologia de Alimentos

## Banca examinadora

---

Profª Drª Fernanda Paula Collares Queiroz  
Orientadora

---

Drª Elizabeth Harumi Nabeshima  
Membro

---

Drª Farayde Matta Fakhouri  
Membro

---

Drª Luciana Cristina Brigatto Fontes  
Membro

---

Profª Drª Maria Isabel Rodrigues  
Orientadora

---

Drª Renata Maria dos Santos Celeghini  
Membro

---

Drª Rita de Cássia Salvucci Celeste Ormenese  
Membro

---

Drª Vera Sônia Nunes da Silva  
Membro



“Só existem dois dias no ano em que nada pode ser feito. Um se chama ontem e o outro se chama amanhã, portanto hoje é o dia certo para amar, acreditar, fazer e principalmente viver”.

*Dalai Lama*



*Dedico*

Aos meus pais Alberto e Vera, ao meu avô  
Geraldo (*in memoriam*) e as minhas avós  
Lina e Elza pelo incentivo aos estudos e  
por seus ensinamentos de vida.

Ao meu marido, Leandro, por seu amor,  
dedicação e compreensão.



## **Agradecimentos**

À Fernanda, pela amizade e por estar sempre bastante presente durante o desenvolvimento do projeto, orientando, motivando e incentivando, principalmente nos momentos mais difíceis. Sua participação foi fundamental para a finalização do doutorado. Obrigada!

À Larissa, pela amizade e pela constante ajuda. A extrusão não teria sido possível sem ela.

Ao Kenzi e ao Eliseu, por terem me proporcionado a oportunidade de desenvolver este projeto em paralelo ao meu trabalho na Emulzint. Obrigada pelas orientações do dia a dia.

Aos membros da banca, pelas excelentes sugestões e correções que contribuíram para o enriquecimento da tese. Em especial, à Professora Bel pelo auxílio na interpretação dos resultados obtidos nos planejamentos experimentais.

À minha irmã Marina, minha cunhada Cristiane e meus sogros Marília e Odair, pelo carinho e apoio durante todos esses anos de desenvolvimento da tese.

À Lilian, Isabela, Michele, Híria e Vanessinha pelo companheirismo e amizade na Emulzint.

Ao pessoal do Controle de Qualidade da Emulzint, Paulo, Ana Luiza, Carol Carneiro, Carol Beme, Alexandre e Felipe pela contribuição na realização de parte das análises laboratoriais.

À Vanessa e ao Emerson, da Emulzint, pelo auxílio na obtenção das matérias-primas.

Ao ITAL, em especial aos pesquisadores do Cereal Chocotec, Marise, Flávio e Cristiane, por viabilizarem a aromatização dos salgadinhos expandidos.

À Ana Koon pela contribuição na realização das análises de composição centesimal.

À Farayde e seus alunos, Gislaine, Matheus e Viviane, pelo auxílio durante a análise sensorial.

À Priscila e à Sandra, pelas aulas sobre como operar a extrusora.

À Carla, do Laboratório de Fontes Protéicas, pela contribuição na execução das análises de aminoácidos.

À FAPESP, UNICAMP, FEA e FEQ, por proverem recursos para a realização deste trabalho.

Finalmente, agradeço aos meus pais, Alberto e Vera e ao meu marido, Leandro, pelo amor e apoio incondicionais, sem os quais a conclusão desta jornada não teria sido possível.

**Obrigada!**

# Índice

<b>Lista de figuras</b> .....	xiv
<b>Lista de tabelas</b> .....	xvi
<b>Resumo</b> .....	xix
<b>Summary</b> .....	xxi
<b>1. Introdução</b> .....	1
<b>2. Objetivos</b> .....	3
2.1. Objetivo geral .....	3
2.2. Objetivos específicos .....	3
<b>3. Revisão bibliográfica</b> .....	5
3.1. Milho .....	5
3.1.1 Características químicas e nutricionais do milho .....	5
3.2. Quinoa .....	6
3.2.1. Características químicas, nutricionais e funcionais da quinoa .....	8
3.3. Extrusão Termoplástica .....	11
3.3.1. Efeito do processo de extrusão no valor nutricional das proteínas .....	13
3.3.2. Efeito do processo de extrusão em produtos de farinha de quinoa .....	15
<b>4. Material e métodos</b> .....	17
4.1. Material .....	17
4.1.1. Matérias-primas .....	17
4.1.2. Principais equipamentos .....	17
4.2. Métodos .....	18
4.2.1. Caracterização das matérias-primas .....	18
4.2.2. Produção dos salgadinhos expandidos .....	22

4.2.3. Estratégia seqüencial para obtenção da melhor condição do processo de extrusão .....	23
4.2.4. Caracterização dos salgadinhos expandidos .....	27
4.2.5. Caracterização dos salgadinhos produzidos na melhor condição do processo de extrusão .....	28
4.2.6. Avaliação do efeito da extrusão sobre as propriedades nutricionais .....	29
4.2.7. Aromatização.....	29
4.2.8. Caracterização dos salgadinhos expandidos aromatizados.....	31
4.2.9. Caracterização dos salgadinhos expandidos comerciais .....	31
4.2.10. Análise sensorial .....	31
4.2.11. Análise Estatística .....	32
<b>5. Resultados e discussões.....</b>	<b>33</b>
5.1. Caracterização das matérias-primas .....	33
5.1.1. Composição centesimal das farinhas .....	33
5.1.2. Análises físicas e químicas.....	34
5.1.3. Avaliação nutricional.....	39
5.2. Estratégia seqüencial para obtenção da melhor condição para o processo de extrusão .....	44
5.2.1. Análise estatística do planejamento experimental fatorial fracionado $2^{5-1}$ .....	44
5.2.2. Análise estatística do delineamento composto central rotacional (DCCR).....	54
5.2.3. Escolha da melhor condição de processamento.....	75
5.2.4. Validação do modelo matemático.....	76
5.2.5. Produção dos salgadinhos expandidos para análise sensorial .....	77
5.2.6. Aromatização dos salgadinhos expandidos .....	77
5.2.7. Caracterização dos salgadinhos expandidos.....	78
5.2.8. Análise sensorial .....	94

<b>6. Conclusões</b> .....	109
<b>7. Sugestões para trabalhos futuros</b> .....	111
<b>8. Referências Bibliográficas</b> .....	113
Anexo A - Ficha de análise sensorial .....	131
Anexo B - Termo de consentimento livre e esclarecido .....	137
Anexo C – Parecer do Comitê de Ética .....	139
Anexo D – Planejamento experimental .....	141

## Lista de figuras

<b>Figura 4. 1.</b> Pulverizador utilizado para aromatização dos salgadinhos .....	30
<b>Figura 4. 2.</b> Drageadeira do Cereal Chocotec do Ital .....	30
<b>Figura 5. 1.</b> Foto das farinhas de milho (A) e de quinoa (B).....	36
<b>Figura 5. 2.</b> Valores experimentais de índice de expansão em função dos valores previstos pelo modelo ajustado .....	58
<b>Figura 5. 3.</b> Superfície de resposta e respectiva curva de contorno para o índice de expansão (IE) como função da concentração de farinha de quinoa e da temperatura da 5ª zona do extrusor, com umidade inicial da amostra de 17,5% .....	60
<b>Figura 5. 4.</b> Superfície de resposta e respectiva curva de contorno para o índice de expansão (IE) como função da concentração de farinha de quinoa e umidade inicial da amostra, com temperatura da 5ª zona do extrusor de 135°C .....	61
<b>Figura 5. 5.</b> Superfície de resposta e respectiva curva de contorno para o índice de expansão (IE) como função da temperatura da 5ª zona do extrusor e umidade inicial da amostra, com concentração de farinha de quinoa de 22% .....	62
<b>Figura 5. 6.</b> Valores experimentais de dureza em função dos valores previstos pelo modelo ajustado.....	70
<b>Figura 5. 7.</b> Valores experimentais de lisina biodisponível em função dos valores previstos pelo modelo ajustado .....	75
<b>Figura 5. 8.</b> Distribuição das notas de análise sensorial para crocância .....	96
<b>Figura 5. 9.</b> Distribuição das notas de análise sensorial para sabor .....	97
<b>Figura 5. 10.</b> Distribuição das notas de análise sensorial para aparência.....	100
<b>Figura 5. 11.</b> Distribuição das notas de análise sensorial para odor .....	101
<b>Figura 5. 12.</b> Distribuição das notas de análise sensorial para cor .....	102
<b>Figura 5. 13.</b> Distribuição das notas de análise sensorial para dureza .....	103
<b>Figura 5. 14.</b> Distribuição das notas de análise sensorial para aceitação global.....	104

<b>Figura 5. 15.</b> Distribuição das notas de intenção de compra .....	106
<b>Figura 5. 16.</b> Comparação visual dos salgadinhos expandidos de milho (A), com incorporação de 22% de quinoa (B) e 43% de quinoa (C).....	108
<b>Figura C. 1.</b> Parecer do Comitê de Ética . .....	140

## Lista de tabelas

<b>Tabela 3. 1.</b> Composição química aproximada do grão de milho .....	5
<b>Tabela 3. 2.</b> Composição em aminoácidos essenciais do endosperma de milho comum...	6
<b>Tabela 3. 3.</b> Composição química aproximada do grão de quinoa.....	9
<b>Tabela 3. 4.</b> Composição em aminoácidos essenciais da farinha de quinoa.....	10
<b>Tabela 4. 1.</b> Estratégia seqüencial para obtenção da melhor condição de processamento para produção dos salgadinhos expandidos .....	24
<b>Tabela 4. 2.</b> Variáveis independentes e níveis de variação do planejamento fatorial fracionado $2^{5-1}$ .....	24
<b>Tabela 4. 3.</b> Matriz do planejamento fatorial fracionado $2^{5-1}$ com os valores codificados e reais das variáveis independentes .....	25
<b>Tabela 4. 4.</b> Variáveis independentes e níveis de variação do delineamento composto central rotacional (DCCR) .....	26
<b>Tabela 4. 5.</b> Matriz do delineamento composto central rotacional (DCCR) com os valores codificados e reais das variáveis independentes.....	26
<b>Tabela 5. 1.</b> Composição centesimal das farinhas de milho e quinoa (base seca).....	33
<b>Tabela 5. 2.</b> Granulometria (% de retenção) das farinhas de milho e quinoa .....	35
<b>Tabela 5. 3.</b> Resultado de luminosidade $L^*$ e parâmetros de cor $a^*$ e $b^*$ das farinhas de milho e quinoa.....	35
<b>Tabela 5. 4.</b> Teor de amido das farinhas de milho e quinoa .....	37
<b>Tabela 5. 5.</b> Teor de amilose das farinhas de milho e quinoa .....	38
<b>Tabela 5. 6.</b> Digestibilidade proteína <i>in vitro</i> das farinhas de milho e quinoa .....	39
<b>Tabela 5. 7.</b> Aminograma das farinhas de milho e quinoa.....	41
<b>Tabela 5. 8.</b> Aminoácidos essenciais para proteína de milho e quinoa, padrão FAO/WHO (1973) .....	42

<b>Tabela 5. 9.</b> Valores de lisina biodisponível para proteína de milho e quinoa. ....	43
<b>Tabela 5. 10.</b> Índice de expansão, dureza (N) e lisina biodisponível (%) como resultado experimental obtido no delineamento fatorial fracionado $2^{5-1}$ e perda de lisina (%) .....	45
<b>Tabela 5. 11.</b> Estimativa dos efeitos para o índice de expansão no planejamento fracionado $2^{5-1}$ , considerando 80% de significância ( $p < 0,20$ ) .....	47
<b>Tabela 5. 12.</b> Estimativa dos efeitos para a dureza no planejamento fracionado $2^{5-1}$ , considerando 80% de significância ( $p < 0,20$ ) .....	48
<b>Tabela 5. 13.</b> Estimativa dos efeitos para a lisina biodisponível no planejamento fracionado $2^{5-1}$ , considerando 80% de significância ( $p < 0,20$ ) .....	50
<b>Tabela 5. 14.</b> Valores de lisina biodisponível para proteína das misturas de farinha de milho e quinoa, antes da extrusão.....	51
<b>Tabela 5. 15.</b> Índice de expansão, dureza (N) e lisina biodisponível (%) como resultado experimental obtido no delineamento composto central rotacional (DCCR) e perda de lisina (%).....	54
<b>Tabela 5. 16.</b> Coeficientes de regressão para a resposta índice de expansão.....	57
<b>Tabela 5. 17.</b> Análise de variância (ANOVA) para a resposta índice de expansão, considerando todos os parâmetros do modelo.....	57
<b>Tabela 5. 18.</b> Coeficientes de regressão para a resposta dureza .....	69
<b>Tabela 5. 19.</b> Análise de variância (ANOVA) para a resposta dureza, considerando todos os parâmetros do modelo.....	69
<b>Tabela 5. 20.</b> Valores de lisina biodisponível para proteína das misturas de farinha de milho e quinoa, antes da extrusão.....	72
<b>Tabela 5. 21.</b> Coeficientes de regressão para a resposta lisina biodisponível* .....	74
<b>Tabela 5. 22.</b> Análise de variância (ANOVA) para a resposta lisina biodisponível, considerando todos os parâmetros do modelo.....	74
<b>Tabela 5. 23.</b> Valor experimental e predito para o índice de expansão .....	77
<b>Tabela 5. 24.</b> Composição centesimal dos salgadinhos expandidos de quinoa e milho e apenas milho, não aromatizados e aromatizados (base seca) .....	78

<b>Tabela 5. 25.</b> Luminosidade L* e parâmetros de cor a* e b* dos salgadinhos expandidos de quinoa e milho e apenas milho, não aromatizados e aromatizados.....	81
<b>Tabela 5. 26.</b> Dureza dos salgadinhos expandidos de quinoa e milho e apenas milho, não aromatizados, aromatizados e também dos salgadinhos comerciais de milho .....	84
<b>Tabela 5. 27.</b> Índice de expansão dos salgadinhos expandidos de quinoa e milho e apenas milho, produzidos na melhor condição de processamento.....	86
<b>Tabela 5. 28.</b> Diâmetro dos salgadinhos expandidos de quinoa e milho e apenas milho aromatizados e dos salgadinhos comerciais .....	86
<b>Tabela 5. 29.</b> Digestibilidade proteína <i>in vitro</i> dos salgadinhos expandidos apenas de milho e com incorporação de 22 e 43% de farinha de quinoa .....	87
<b>Tabela 5. 30.</b> Digestibilidade proteína <i>in vitro</i> das misturas de farinhas de milho e quinoa (0, 22 e 43%) .....	88
<b>Tabela 5. 31.</b> Aminograma dos salgadinhos expandidos apenas de milho e com incorporação de 22 e 43% de farinha de quinoa .....	89
<b>Tabela 5. 32.</b> Aminograma das misturas de farinhas de milho e quinoa (0, 22 e 43%) ....	90
<b>Tabela 5. 33.</b> Aminoácidos essenciais para proteína dos salgadinhos de milho e quinoa (22% e 43%) e padrão FAO/WHO (1973) .....	91
<b>Tabela 5. 34.</b> Lisina biodisponível dos salgadinhos expandidos apenas de milho e com incorporação de 22 e 43% de farinha de quinoa .....	92
<b>Tabela 5. 35.</b> Lisina biodisponível das misturas de farinhas de milho e quinoa (0, 22 e 43%) .....	93
<b>Tabela 5. 36.</b> Perda de lisina dos salgadinhos expandidos apenas de milho e com incorporação de 22 e 43% de farinha de quinoa .....	93
<b>Tabela 5. 37.</b> Teste de aceitação sensorial para os salgadinhos expandidos .....	95
<b>Tabela 5. 38.</b> Teste de intenção de compra para os salgadinhos expandidos .....	105
<b>Tabela D. 1.</b> Valores experimentais, previstos pelo modelo e erro para o índice de expansão (IE) dos salgadinhos expandidos. ....	141

## Resumo

Neste trabalho, foram desenvolvidos, pelo processo de extrusão termoplástica, salgadinhos expandidos à base de farinha de milho enriquecidos com a incorporação de farinha de quinoa, visando o aumento do valor nutricional. O milho é muito utilizado na fabricação de salgadinhos pelo fato de expandir com facilidade. A quinoa (*Chenopodium quinoa*) é um pseudocereal de importante potencial agrônômico e alto valor nutricional, apresentando elevado teor de proteína, com expressivos níveis do aminoácido lisina. As matérias-primas foram caracterizadas quanto às propriedades físicas, químicas e nutricionais. Para verificar quais parâmetros influenciariam as propriedades dos salgadinhos expandidos, primeiramente foi realizado um delineamento fatorial fracionado  $2^{5-1}$ , cujas variáveis independentes foram: (i) umidade inicial da amostra; (ii) teor de farinha de quinoa; (iii) temperatura da 4ª zona do extrusor; (iv) temperatura da 5ª zona do extrusor e (v) velocidade da rosca. As variáveis dependentes avaliadas foram: (i) índice de expansão, (ii) dureza e (iii) lisina biodisponível. As variáveis que influenciaram significativamente pelo menos uma das respostas, considerando  $p < 0,20$ , foram: (i) umidade inicial da amostra, (ii) teor de farinha de quinoa e (iii) temperatura da 5ª zona do extrusor. Na sequência, foi executado um Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR), com essas três variáveis independentes, alterando as faixas de estudos em função do impacto que as mesmas apresentaram sobre as respostas. Não foi possível gerar modelos matemáticos válidos que descrevessem a tendência da dureza e da lisina biodisponível nas faixas de variação estudadas (umidade de 15 a 20%, teor de farinha de quinoa entre 15 e 50% e temperatura da 5ª zona do extrusor de 110 a 160°C). O aumento destas três variáveis independentes promoveu a redução do índice de expansão. Pela análise de superfície de resposta, observou-se que as condições para a produção de

salgadinhos extrudados com alta expansão foram: umidade inicial da amostra em 17,5%, adição de 22% de farinha de quinoa e temperatura de 110°C na 5ª zona do extrusor. Nestas condições, foram produzidos salgadinhos expandidos apenas de milho (padrão) e salgadinhos com incorporação de 22 e 43% de quinoa, que foram caracterizados, aromatizados e submetidos a uma avaliação sensorial de aceitação e intenção de compra. Os salgadinhos expandidos de milho e quinoa apresentaram dureza e diâmetros similares aos disponíveis no mercado, indicando que as condições do processo de extrusão foram adequadamente escolhidas. Do ponto de vista nutricional, os salgadinhos com quinoa apresentaram maior teor de proteína, aminoácidos essenciais (treonina, cisteína, isoleucina, lisina e triptofano) e lisina biodisponível, em relação ao salgadinho apenas de milho, mostrando a viabilidade da adição de farinha de quinoa em produtos à base de milho para aumentar o seu valor nutricional. O salgadinho expandido com 22% farinha de quinoa apresentou boa aceitação e alta intenção de compra, enquanto o salgadinho com 43% não foi bem aceito, por apresentar menor expansão, escurecimento e sabor residual.

**Palavras-chave:** quinoa, extrusão termoplástica, extrudados, lisina, milho

## Summary

In this work, expanded snacks made from corn flour enriched by incorporating quinoa flour with the aim of increasing the nutritional value, were developed and processed by thermoplastic extrusion. Corn is widely used in snack production since it expands easily. Quinoa (*Chenopodium quinoa*) is a pseudocereal with important agronomic potential and a high nutritional value, containing an elevated protein content and expressive amount of the amino acid lysine. The raw materials were characterized with respect to their physical, chemical and nutritional properties. Initially a  $2^{5-1}$  Fractional Factorial Design was used to determine which parameters influenced the properties of the expanded snacks, the independent variables being: (i) initial moisture content; (ii) amount of quinoa flour; (iii) temperature of the 4<sup>th</sup> extruder zone; (iv) temperature of the 5<sup>th</sup> extruder zone and (v) screw speed. The dependent variables evaluated were: (i) expansion ratio; (ii) hardness and (iii) available lysine. The independent variables that significantly influenced at least one of the responses, considering  $p < 0.20$ , were: (i) initial moisture content; (ii) amount of quinoa flour; and (iii) temperature of the 5<sup>th</sup> extruder zone. In sequence, a Central Composite Rotatable Design (CCRD) was carried out with the above three independent variables, altering the range of the study considering the impact they had on the responses. It was not possible to obtain valid mathematical models to describe the trends with respect to hardness and available lysine in the range of variation studied (moisture content from 15 to 20%, quinoa flour content from 15 to 50% and temperature in the 5<sup>th</sup> extruder zone from 110 to 160°C). Increases in these three independent variables resulted in a reduction in the expansion ratio. From the analysis of the response surface, it was observed that the conditions required to produce highly expanded extruded snacks were:

initial moisture content of 17.5%, addition of 22% of quinoa flour and a temperature of 110°C in the 5<sup>th</sup> extruder zone. Under these conditions, expanded snacks were produced with 100% corn (standard) and with the incorporation of 22 and 43% of quinoa flour, and subsequently characterized, aromatized and subjected to a sensory evaluation for acceptance and purchasing intention. The expanded corn and quinoa snacks showed values for hardness and diameter similar to those available on the market, indicating that the extrusion process conditions were suitably chosen. From the nutritional point of view, the snacks with the incorporation of quinoa showed higher protein and essential amino acid (threonine, cysteine, isoleucine, lysine and tryptophan) contents and available lysine, as compared to the 100% corn snacks, demonstrating the feasibility of adding quinoa flour to corn products to increase their nutritional value. The expanded snack with 22% of quinoa flour was well accepted and showed high purchasing intention, whereas the snack with 43% was not well accepted because it showed less expansion, darkening and an aftertaste.

**Keywords:** quinoa, thermoplastic extrusion, extrudates, lysine, corn

# 1. Introdução

Atualmente, a indústria alimentícia demonstra uma tendência cada vez maior em desenvolver produtos práticos e de consumo rápido, como cereais matinais, salgadinhos e barras de cereais, visando atender a crescente demanda por este tipo de produto. Porém, além da facilidade de preparação, os consumidores estão procurando alimentos de alto valor nutritivo e que tragam benefícios à saúde (ILO; LIU; BERGHOFER, 1999).

Normalmente os salgadinhos não são considerados alimentos saudáveis, pois a maioria apresenta alto teor de lipídios e açúcares (ALMEIDA-DOMÍNGUEZ; VALENCIA; HIGUERA-CIAPARA, 1990), visando melhor o estado nutricional da população, o enriquecimento de cereais com farinhas com alto teor de proteína, fibras, vitaminas e minerais é uma opção atrativa (EL-DASH, 1981).

Considerando os salgadinhos expandidos, a preocupação quanto ao valor nutricional é ainda maior, pois as crianças e adolescentes são os maiores consumidores e normalmente dão preferência a estes produtos. Com adequado enriquecimento, estes salgadinhos podem, além de fornecer energia, contribuir para o desenvolvimento físico e mental dos consumidores (ESCOBAR et al., 1994).

Os salgadinhos expandidos são elaborados pelo processo de extrusão termoplástica, que é uma tecnologia que apresenta alta versatilidade, alta produtividade, baixo custo e não gera efluentes (EL-DASH, 1981). O milho é freqüentemente utilizado na elaboração destes salgadinhos, porém apresenta conteúdo relativamente baixo de proteínas e é deficiente principalmente no aminoácido essencial lisina.

A quinoa (*Chenopodium quinoa*), um pseudocereal, representa uma alternativa potencial de ingrediente para elevar o valor nutricional dos salgadinhos expandidos. Sua

proteína tem perfil de aminoácidos bastante atrativo, o conteúdo de lisina, metionina e cisteína é superior aos encontrados na maioria das proteínas de origem vegetal (DINI et al., 1992; GONZÁLEZ, et al., 1989; RUALES; NAIR, 1992). Adicionalmente, possui quantidades superiores de potássio, cálcio, fósforo, magnésio, ferro (COULTER; LORENZ, 1990; RANHOTRA et al., 1993), riboflavina, ácido fólico,  $\alpha$ -tocoferol e vitaminas do complexo B que os cereais comuns (ASCHERI; RAMÍREZ-ASQUIERI; CARVALHO, 1998; RUALES; NAIR, 1993) e também contêm altos teores de ácidos graxos poliinsaturados (DINI, et al., 1992; RUALES; NAIR, 1993).

No Brasil, a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) está cultivando esse pseudocereal, visando adaptação ao solo brasileiro e incentivo às pesquisas. A quinoa é caracterizada por apresentar capacidade de se desenvolver em condições ambientais adversas, resistindo à seca e às pragas, apresentando importante potencial agrônomo (BHARGAVA; SHUKLA; OHRI, 2006; DINI et al., 1992).

A incorporação de quinoa em salgadinhos expandidos de milho tem por objetivo desenvolver um produto com maior teor de proteína e melhor qualidade de aminoácidos. A produção de salgadinhos apenas de quinoa não é viável, principalmente devido ao alto custo deste grão. Embora alguns autores tenham elaborado salgadinhos expandidos de quinoa (COULTER; LORENZ, 1991a; 1991b; DOGAN; KARWE, 2003), não há muitas informações disponíveis a respeito das melhores condições para o processo de extrusão e dos efeitos das variáveis do processo sobre as propriedades e características nutricionais dos produtos extrudados.

## **2. Objetivos**

### **2.1. Objetivo geral**

Desenvolvimento de salgadinhos expandidos, por processo de extrusão termoplástica, à base de farinha de milho com a incorporação de farinha integral de quinoa, visando o aumento do valor nutricional.

### **2.2. Objetivos específicos**

- Avaliação das características físicas, químicas e nutricionais das farinhas de milho e quinoa;
- Obtenção da melhor condição do processo de extrusão dos salgadinhos expandidos à base de farinha de milho e farinha de quinoa, utilizando estratégia seqüencial de planejamentos experimentais;
- Avaliação das características físicas, químicas e nutricionais dos salgadinhos expandidos;
- Estudo do efeito do processo de extrusão na qualidade nutricional dos salgadinhos expandidos;
- Avaliação sensorial de aceitação e intenção de compra dos salgadinhos expandidos produzidos na melhor condição de processamento.



## 3. Revisão bibliográfica

### 3.1. Milho

O milho (*Zea mays*) é uma planta herbácea monocotiledônea pertencente à família das gramíneas. Originário do México se espalhou ao norte até o Canadá e ao sul até a Argentina. Após o descobrimento das Américas pelos europeus, o milho foi levado para a Europa, África e Ásia (BENSON; PEARCE, 2003).

Este cereal, há alguns séculos, vem sendo utilizado diretamente na alimentação humana e de animais. A farinha de milho é utilizada para fazer pães e bolos, juntamente com a farinha de trigo, além de polenta, cereais matinais e salgadinhos extrudados (ROONEY; SERNA-SALDIVAR, 2003).

#### 3.1.1 Características químicas e nutricionais do milho

Na Tabela 3.1, é apresentada a composição química do grão de milho. Os conteúdos variam em função da variedade, das alterações climáticas, como temperatura e quantidade de chuvas, características do solo e fertilização (WATSON, 2003).

**Tabela 3. 1.** Composição química aproximada do grão de milho

<b>Componentes</b>	<b>Conteúdo (%)</b>
Umidade	7,0 – 23,0
Proteínas	6,0 – 12,0
Lipídios	3,1 – 5,7
Fibras <sup>1</sup>	17,4 – 22,8
Cinzas	1,1 – 3,9
Carboidratos	62,0 – 81,0

Fonte: WATSON (2003).

<sup>1</sup> determinadas como fibra bruta

O amido é o principal carboidrato do milho, constituindo cerca de 72% do grão (BOYER; SHANNON, 2003). Seus grânulos apresentam tamanho variando de 3 a 25 $\mu$ m (WATSON, 2003), com valor médio de 12 $\mu$ m, contendo cerca de 25% de amilose (MISHRA; RAI, 2006). A faixa de temperatura de gelatinização do amido de milho está entre 62 e 72°C (CIACCO; CRUZ, 1982).

As proteínas do milho se distribuem em todas as partes do grão, porém a maior quantidade está alocada no endosperma (SGARBIERI, 1996). Na Tabela 3.2, é apresentada a composição de aminoácidos essenciais, sendo a lisina e o triptofano, os aminoácidos limitantes.

**Tabela 3. 2.** Composição em aminoácidos essenciais do endosperma de milho comum

<b>Aminoácidos essenciais</b>	<b>Conteúdo (g/100g proteína)</b>	<b>Aminoácidos essenciais</b>	<b>Conteúdo (g/100g proteína)</b>
Lisina	2,0	Isoleucina	3,8
Histidina	2,8	Leucina	14,3
Treonina	3,5	Fenilalanina	5,3
Valina	4,7	Tirosina	5,3
Cisteína	1,8	Triptofano	0,5
Metionina	2,8		

Fonte: SGARBIERI (1996).

### 3.2. Quinoa

A quinoa (*Chenopodium quinoa*) é um pseudocereal originário da América do Sul, cultivada, há séculos, nas regiões andinas. Atualmente, continua sendo plantada na Colômbia, Equador, México, Peru, Bolívia, Chile e Argentina. É considerada uma

dicotiledônea que se desenvolve em diferentes condições ambientais e topográficas, sendo tolerante a pragas e doenças (BHARGAVA; SHUKLA; OHRI, 2006).

A farinha de quinoa é utilizada na elaboração de pães, bolos, biscoitos, massas alimentícias, cereais matinais e salgadinhos extrudados, normalmente na concentração de 15 a 20%, misturada com farinha de trigo ou milho (BHARGAVA; SHUKLA; OHRI, 2006). Pesquisas recentes mostram a viabilidade de produção de spaghetti com alta concentração de farinha de quinoa, de 50 a 70%. (CHILLO et al., 2009; 2010). A quinoa apresenta demanda crescente no mundo, principalmente como alternativa protéica de qualidade e ausência de glúten (SPEHAR; SANTOS, 2002).

Um fator que pode prejudicar a aceitação de produtos de quinoa é a presença de saponinas, compostos glicosídicos amargos naturalmente presentes na casca dos grãos (BRADY et al., 2007). O teor de saponinas varia conforme o genótipo da quinoa (SOUZA; SPEHAR; SANTOS, 2004). Os genótipos com menores teores de saponinas (entre 0,2 e 0,4g/kg) são classificados como doces, enquanto os com maiores teores (4,7 a 11,3 g/kg) como amargos (MASTEBROEK et al., 2000). As saponinas não afetam o valor nutricional da proteína de quinoa (RUALES; NAIR, 1992), sua remoção pode ser feita pela retirada das camadas mais externas do grão, por descascamento (ASCHERI; RAMÍREZ-ASQUIERI; CARVALHO, 1998).

Em 1990, a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), no Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados iniciou estudos visando adaptação da quinoa ao sistema produtivo brasileiro. A partir de plantas provenientes de Quito-Ecuador, foi desenvolvida a cultivar BRS Piabiru. Após vários experimentos, em 1998, foram obtidas características agrônômicas ideais e ausência de saponina. Um aspecto favorável é que a quinoa pode ser cultivada após a soja ou o milho, aproveitando os resíduos de nutrientes. Plantada em Rio Verde-GO, Cristalina-GO e Planaltina-DF, no período de 1998-1999,

apresentou rendimento de 2,8 t/ha de grãos, superior aos valores normalmente obtidos em regiões andinas (SPEHAR; SANTOS, 2002). Atualmente, a BRS Piabiru não está disponível para comercialização porque apresenta falta de maturidade dos grãos, o que prejudica a mecanização da colheita. Diante disto, em 2010, a Embrapa iniciou uma nova etapa no programa de melhoramento genético da quinoa, visando lançar cultivares com maior uniformidade e produtividade (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 2011).

No Brasil, a demanda por quinoa tem sido crescente, estão disponíveis no mercado vários tipos de produtos como: farinha de quinoa, quinoa em grãos e em flocos, barras de cereais, pães e biscoitos de quinoa. Como a produção brasileira deste grão ainda não consegue atender esta demanda, a importação se faz necessária.

Diante deste cenário, a plantação de quinoa se torna uma opção interessante para o produtor rural. Pesquisadores acreditam que a produção comercial da quinoa no Brasil é apenas uma questão de tempo (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 2011).

### **3.2.1. Características químicas, nutricionais e funcionais da quinoa**

A composição química da quinoa pode apresentar diferenças conforme a variedade dos grãos e condições ambientais de cultivo (RUALES; NAIR, 1992). Na Tabela 3.3, é apresentada a composição química aproximada segundo vários autores.

**Tabela 3. 3.** Composição química aproximada do grão de quinoa

<b>Componentes</b>	<b>Conteúdo (%)</b>
Umidade	12,0 -14,7
Proteínas	11,2 -13,7
Lipídios	4,0 – 12,4
Fibras <sup>1</sup>	2,1 -2,2
Cinzas	2,8 – 3,0
Carboidratos	44,5 – 61,2

Fonte: Chauhan; Eskin; Tkachuk (1992) ; Dini et al. (1992); González, et al. (1989).

<sup>1</sup> determinadas como fibra bruta

Em comparação aos cereais, a quinoa apresenta quantidades superiores de proteínas, lipídios, fibras e cinzas. Em relação ao trigo, o aumento é de 20% para proteínas, 76% para lipídios, 5% para fibras e 43% para cinzas (COULTER; LORENZ, 1990).

As quantidades de fibras na quinoa são similares aos valores encontrados para cereais comuns e sementes de leguminosas. Porém, cerca de 87% das fibras são insolúveis, não sendo considerada fonte significativa de fibras solúveis (RANHOTRA et al., 1993).

Do total dos lipídios, cerca de 70% são insaturados, contendo principalmente os ácidos graxos oléico e linoléico (DINI et al., 1992; RUALES; NAIR, 1993).

A quinoa apresenta maiores quantidades de potássio, cálcio, fósforo, magnésio e ferro do que cereais como trigo, centeio, arroz, milho e aveia (COULTER; LORENZ, 1990; RANHOTRA et al., 1993). Também contêm teores superiores de riboflavina, ácido fólico,  $\alpha$ -tocoferol e vitaminas do complexo B que os cereais comuns (RUALES; NAIR, 1993; ASCHERI; RAMÍREZ-ASQUIERI; CARVALHO, 1998).

O amido é o principal componente das sementes de quinoa, com conteúdo acima de 55% (CHAUHAN; ESKIN; TKACHUK, 1992). Os grânulos apresentam tamanho entre 0,6-2,0 $\mu$ m (RUALES; NAIR, 1994a). O teor de amilose varia entre 7-11%, valor mais baixo

que o encontrado para a maioria dos cereais. A temperatura de gelatinização do amido de quinoa varia de 57 a 64°C (ATWELL et al., 1983).

A proteína da quinoa tem perfil de aminoácidos atrativo, conforme apresentado na Tabela 3.4. O conteúdo de lisina, metionina e cisteína é superior aos encontrados na maioria das proteínas de origem vegetal. Apresenta concentração duas vezes maior de metionina e três vezes maior de lisina que o trigo (RUALES; NAIR, 1992; DINI et al., 1992; GONZÁLEZ, et al., 1989). Conforme estudos realizados em ratos, Ruales e Nair (1992) verificaram que o valor biológico da proteína de quinoa apresentou-se superior ao de arroz, milho, trigo, centeio, soja e equivalente ao da caseína. Além disso, os altos valores de digestibilidade comprovaram a alta disponibilidade da proteína de quinoa ao ataque de enzimas digestivas, sendo comparada a proteínas de alta qualidade. Desta forma, pode ser utilizada para suplementação alimentar, visando o acréscimo do valor biológico dos alimentos (RUALES, NAIR, 1992).

**Tabela 3. 4.** Composição em aminoácidos essenciais da farinha de quinoa

<b>Aminoácidos essenciais</b>	<b>Conteúdo (g/100g proteína)</b>	<b>Aminoácidos essenciais</b>	<b>Conteúdo (g/100g proteína)</b>
Lisina	6,30	Isoleucina	3,02
Histidina	4,09	Leucina	6,88
Treonina	4,41	Fenilalanina	4,52
Valina	3,67	Tirosina	3,66
Cisteína	1,39	Triptofano <sup>1</sup>	1,10
Metionina	2,27		

Fonte: RANHOTRA et al. (1993).

<sup>1</sup>determinação em semente de quinoa - Fonte: RUALES e NAIR (1992).

### 3.3. Extrusão Termoplástica

A extrusão termoplástica de alimentos é definida como um processo contínuo no qual calor e cisalhamento mecânico são combinados para gelatinizar o amido e desnaturar proteínas, plastificando e reestruturando o material para obtenção de produtos com novas formas e texturas (EL-DASH, 1981).

É uma tecnologia que vem se destacando por apresentar inúmeras vantagens como: versatilidade, alta produtividade, baixo custo, capacidade de desenvolver produtos com formatos diferenciados e sem gerar efluente (HARPER, 1979).

Com modificações mínimas nos ingredientes e nas condições operacionais do equipamento, uma larga faixa de produtos pode ser obtida, incluindo cereais matinais, salgadinhos expandidos, alimentos infantis, farinhas pré-gelatinizadas, massas alimentícias, proteína vegetal texturizada e amido modificado. Além disso, a extrusão pode ser empregada na eliminação de fatores antinutricionais, inativação de enzimas e também para a pasteurização e esterilização de alimentos (EL-DASH, 1981).

Na produção de salgadinhos expandidos, embora os extrusores apresentem características diferenciadas (número de roscas, taxa de aquecimento, tamanho e forma dos orifícios da matriz, etc.), o processo ocorre basicamente da mesma maneira. A matéria-prima ou a mistura previamente homogeneizada e condicionada é inserida no equipamento pelo alimentador, sendo impulsionada pela rosca até a matriz. A rosca do extrusor apresenta três zonas ou seções: (i) *zona de alimentação*, que tem a função de receber e misturar o material alimentado, comprimí-lo e conduzi-lo uniformemente pelo extrusor; (ii) *zona de transição*, onde a geometria da rosca muda, promovendo maior taxa de cisalhamento, com aumento da pressão e temperatura, transformando o material em

uma massa semi-plástica devido ao cozimento parcial; (iii) *zona de alta pressão*, na qual a temperatura, a taxa de cisalhamento e a pressão alcançam o máximo, promovendo o grau de cozimento desejado e conduzindo o material para a matriz. A rápida passagem do produto para a temperatura e pressão ambiente ocasiona evaporação da água e conseqüente expansão do extrudado (FAUBION; HOSENEY; SEIB, 1982). Em seguida, os salgadinhos expandidos são cortados no tamanho adequado. Posteriormente, os extrudados podem ser secos, fritos ou assados, estando, desta forma prontos para o consumo. Normalmente, adicionam-se aromatizantes, sal e óleo para obtenção de características sensoriais desejadas. Além disso, estes produtos podem apresentar grande variedade de atributos, incluindo rico em fibras ou proteínas, baixa caloria e alto valor nutricional (HUBER, 2001).

Segundo Harper (1998), para atingir alta expansão, obtendo estrutura porosa e textura crocante nos salgadinhos expandidos, deve-se trabalhar com baixo teor de umidade e controlar as condições de processo do extrusor, obtendo alta taxa de cisalhamento e alta temperatura. Adicionalmente, Linko, Colonna e Mercier (1981) afirmam que também é necessário, no mínimo, presença de 60-70% de amido no material a ser extrudado.

O controle do processo de extrusão é complicado, devido às inúmeras variáveis envolvidas e à natureza complexa dos alimentos, no qual várias mudanças químicas e físicas ocorrem simultaneamente (EL-DASH, 1981).

Segundo Yacu (1990), os parâmetros que influenciam diretamente as características dos produtos obtidos são: composição química e granulometria da matéria-prima; teor de umidade; taxa de alimentação; tipo de extrusor; geometria e velocidade da rosca; temperatura de cada zona; configuração da matriz e velocidade de corte. À medida que estes parâmetros variam, ocorrem alterações no tempo de residência, viscosidade do

material, pressão, temperatura, taxa de cisalhamento, energia e propriedade dos extrudados.

O controle dos parâmetros de extrusão define as características dos produtos, tais como, grau de cozimento, expansão, densidade, formato, tamanho, aparência, textura, sabor, aroma, cor e umidade final (YACU, 1990).

### **3.3.1. Efeito do processo de extrusão no valor nutricional das proteínas**

O valor nutricional das proteínas depende de sua digestibilidade, assim como da quantidade e biodisponibilidade dos aminoácidos de sua composição (FAO/WHO/UNU, 1985).

A variação dos parâmetros do processo de extrusão causa diferentes efeitos na digestibilidade protéica (SINGH, GAMLATH, WAKELING, 2007).

A extrusão em condições amenas, como por exemplo, em baixas temperaturas, melhora o valor nutricional das proteínas de origem vegetal devido ao aumento da digestibilidade, caracterizada pela desnaturação das proteínas e destruição de fatores antinutricionais, como por exemplo, inibidores de proteases presentes nos alimentos crus (ASP; BJORCK, 1998; CAMIRE, 2001).

Em condições mais severas de extrusão, como por exemplo, em altas temperaturas e baixas umidades, a digestibilidade das proteínas e a disponibilidade dos aminoácidos podem ser reduzidas. Isto ocorre por causa da reação de Maillard, na qual açúcares redutores (glicose, frutose, maltose ou lactose), incluindo aqueles formados pelo cisalhamento do amido, reagem com aminoácidos, resultando principalmente na redução

da disponibilidade de lisina. Este aminoácido em particular é um indicador da desnaturação da proteína durante o processamento. Pelo fato da lisina ser o principal aminoácido limitante em cereais, sua perda pode resultar na redução do valor nutricional da proteína (ASP; BJORCK, 1998; CAMIRE, 2001; HARPER, 1979).

Segundo Linko, Colonna e Mercier (1981), a reação de Maillard durante a extrusão depende principalmente da temperatura, umidade, velocidade da rosca e tipo de açúcar e proteína presentes durante o processo. A intensidade da reação aumenta com a redução da umidade, com a elevação da temperatura e da velocidade da rosca (devido ao aumento de temperatura causado por altas taxas de rotação da rosca).

Asp e Bjorck (1998) realizaram uma extensa revisão sobre a perda de lisina e constataram que vários estudos relacionam a perda deste aminoácido aos parâmetros do processo de extrusão, porém há divergências entre os autores sobre o efeito específico de cada parâmetro. É consenso que com o aumento da temperatura ocorre redução do conteúdo de lisina disponível. Quanto à umidade, a maioria afirma que com sua redução evidencia-se aumento da perda de lisina, porém alguns estudos apresentaram efeito contrário. Quanto à velocidade da rosca há ampla divergência de resultados, com aumento da velocidade foi verificada perda de lisina, aumento da retenção e inclusive há quem mencione que não foi verificado efeito algum.

Cheftel (1986) menciona que a extrusão em condições de alta temperatura (>180°C, no produto), cisalhamento (>100rpm) e baixa umidade (<15%), especialmente na presença de açúcares redutores (> 3%), resultam em extensa perda de lisina. Evitando essas condições, é possível manter a perda de lisina em níveis aceitáveis (10-15%).

Coulter e Lorenz (1991a) não verificaram perda de lisina ao extrudar misturas de quinoa (10, 20 e 30%) e *grits* de milho em extrusor mono rosca nas seguintes condições de processo: 15% de umidade, temperaturas de 100°C na zona de alimentação e 150°C

na zona de compressão, velocidade da rosca de 100rpm e taxa de compressão de 3:1. Segundo estes autores, a temperatura aplicada e o curto tempo de processo não foram severos o suficiente para causar perda deste aminoácido.

### **3.3.2. Efeito do processo de extrusão em produtos de farinha de quinoa**

Coulter e Lorenz (1991a;1991b) extrudaram misturas de quinoa (10, 20 e 30%) e *grits* de milho em extrusor mono rosca. As variáveis do processo foram: umidade (15 e 25%), temperatura (80-150°C), taxa de compressão (1:1 e 3:1) e velocidade da rosca (100-200rpm). Os produtos com quinoa apresentaram maior densidade e menor expansão do que os extrudados de milho, isto é atribuído ao maior teor de proteína e gordura e menor conteúdo de amilose da quinoa. Produtos com 15% de umidade inicial e taxa de compressão de 3:1 apresentaram maior expansão, menor densidade e menor força de cisalhamento do que aqueles com 25% de umidade ou taxa de compressão de 1:1 (COULTER; LORENZ 1991b). Os extrudados foram considerados moderadamente aceitos, devido ao escurecimento e amargor causados pela adição de quinoa. A incorporação de 30% de quinoa proporcionou um acréscimo de 50% de lisina em relação aos extrudados apenas de milho (COULTER; LORENZ 1991a).

Ruales, Valência e Nair (1993) avaliaram a extrusão de farinha de quinoa, utilizando temperaturas de 120 a 180°C, umidade de 15 e 25%, velocidade de 80 e 160rpm e taxa de compressão de rosca de 1:1 e 1:3, em extrusor mono rosca. O índice de absorção de água aumentou significativamente com o aumento da umidade, porém

diminuiu com a redução da taxa de compressão. O grau de gelatinização do amido foi maior em condições de alta umidade (25%) e alta taxa de compressão da rosca (1:3).

Dogan e Karwe (2003) elaboraram salgadinhos expandidos de quinoa variando os seguintes parâmetros de extrusão: umidade da alimentação (16-24%), temperatura (130-170°C) e velocidade da rosca (250-500rpm). O alto conteúdo de umidade, considerado isoladamente ou em combinação com alta temperatura resultou em produtos de baixa expansão. Os melhores extrudados, caracterizados por máxima expansão, mínima densidade, alto grau de gelatinização e baixo índice de solubilidade, foram obtidos com baixa umidade (16%), baixa temperatura da matriz (130°C) e velocidade de rosca intermediária (375rpm).

Repo-Carrasco-Valencia e Serna (2011) extrudaram farinha de quinoa, de quatro variedades diferentes, em extrusor mono-rosca, com temperatura de 200°C e velocidade da rosca de 389,4rpm. Estes autores evidenciaram um aumento da atividade antioxidante, do teor de compostos fenólicos e da fibra alimentar solúvel, porém uma redução do teor de fibra alimentar insolúvel e de fibra alimentar total, nos produtos extrudados, em comparação à farinha sem processamento.

## **4. Material e métodos**

### **4.1. Material**

#### **4.1.1. Matérias-primas**

- Farinha de milho (fubá mimoso), fornecida pela Yoki Alimentos S/A;
- Farinha integral de quinoa (*Chenopodium quinoa Willd.*), variedade “Real”, produzido pela Quinoa Foods Company Ltda;
- Aroma sabor bacon, fornecido pela Alphataste Indústria e Comércio de Aromatizantes Ltda.
- Óleo de canola, marca Liza, produzido por Cargill Agrícola S.A.

#### **4.1.2. Principais equipamentos**

- Extrusor mono rosca, marca INBRAMAQ, modelo Labor PQ 30 (Ribeirão Preto, Brasil), alocado no Laboratório de Engenharia de Produtos e Processos em Biorrecursos (LEPPbio3) da Faculdade de Engenharia Química da Universidade Estadual de Campinas.
- Drageadeira, marca INCAL, modelo JAA (São Paulo, Brasil), alocada na Planta de Drageados do Cereal Chocotec, no Instituto de Tecnologia de Alimentos.

- Estufa de circulação forçada de ar, marca Nova Ética, modelo 420-7D (Vargem Grande Paulista, Brasil), alocada no Laboratório de Engenharia de Produtos e Processos em Biorrecursos (LEPPbio3) da Faculdade de Engenharia Química da Universidade Estadual de Campinas.

## **4.2. Métodos**

### **4.2.1. Caracterização das matérias-primas**

#### **4.2.1.1. Composição centesimal**

##### **4.2.1.1.1. Umidade**

O teor de umidade foi determinado, em triplicata, segundo o método nº 44-15A da AACC (1995), por secagem da amostra em estufa a 130°C por uma hora.

##### **4.2.1.1.2. Cinzas**

A porcentagem de cinzas foi determinada, em triplicata, segundo o método nº 08-01 da AACC (1995), pela calcinação da amostra em mufla a 550 °C até massa constante.

#### **4.2.1.1.3. Proteína**

O teor de nitrogênio total foi determinado, em triplicata, pela técnica de Micro-Kjeldahl, segundo o método nº 46-13 da AACC (1995), utilizando-se fator de correção de 6,25.

#### **4.2.1.1.4. Lipídios totais**

O teor de lipídios foi determinado, em triplicata, segundo método nº 30-25 da AACC (1995), por extração contínua em extrator Soxhlet com éter de petróleo.

#### **4.2.1.1.5. Fibra alimentar solúvel, insolúvel e total**

A fibra alimentar foi determinada, em triplicata, pelo método enzimático/gravimétrico, segundo métodos nº 985.29 e nº 991.43 da AOAC (HORWITZ, 2005) e metodologias descritas por Prosky et al. (1984;1992).

#### **4.2.1.1.6. Carboidratos**

O teor de carboidratos foi calculado por diferença, subtraindo-se de 100 a somatória dos teores de umidade, proteína, lipídios totais, cinzas e fibra alimentar total.

## 4.2.1.2. Análises físicas e químicas

### 4.2.1.2.1. Granulometria

A distribuição granulométrica das farinhas foi determinada em um conjunto de peneiras vibratórias, marca PRODUTEST, seguindo-se o método oficial da AOAC nº 965.22 (1995), com modificações. A amostra (50g) foi submetida à vibração do equipamento com intensidade igual a 10 por 5 minutos. Foram utilizadas peneiras de aço inoxidável (5 X 2") de malhas com as seguintes aberturas: 0,85mm (mesh 20); 0,50mm (mesh 35); 0,25mm (mesh 60); 0,18mm (mesh 80) e 0,15mm (mesh 100) e < 0,15mm (fundo). A análise foi realizada em triplicata.

### 4.2.1.2.2 Análises de Cor

Foi determinada segundo o método de triestímulos (XYZ) com o sistema L\* a\* b\* (MINOLTA, 1994), utilizando-se o espectrofotômetro Color Quest II Hunterlab, com iluminante D65 e ângulo de visão de 10°. Os parâmetros significam: (i) **L\***, medida da luminosidade de um material e varia de zero (para o preto) até 100 (para o branco); (ii) **a\***, medida do vermelho (a\* positivo) ou do verde (a\* negativo); (iii) **b\***, medida do amarelo (b\* positivo) e do azul (b\* negativo). A diferença de cor foi calculada através da seguinte fórmula:  $\Delta E^* = ((\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2)^{1/2}$ . As análises foram realizadas quadruplicatas.

#### **4.2.1.2.3. Teor de amido**

Os teores de amido das farinhas de milho e quinoa foram determinados, em triplicata, conforme metodologia descrita por Diemair (1963).

#### **4.2.1.2.4. Teor de amilose**

Os teores de amilose das farinhas de milho e quinoa foram determinados pelo método de titulação potenciométrica, em triplicata, de acordo com Kasemsuwam et al. (1995).

#### **4.2.1.3. Avaliação nutricional**

##### **4.2.1.3.1. Digestibilidade protéica *in vitro***

A digestibilidade das proteínas foi avaliada pela ação das enzimas pepsina e pancreatina, conforme descrito por Akeson e Stahmann (1964). A análise foi realizada em triplicata.

##### **4.2.1.3.2. Aminoácidos totais**

Os aminoácidos totais foram determinados conforme metodologia descrita por White, Hart e Kry (1986). O triptofano foi determinado conforme descrito por Spies (1967). A análise foi realizada em triplicata.

#### **4.2.1.3.3. Lisina Biodisponível**

O teor de lisina biodisponível foi determinado por quantificação espectrofotométrica conforme método de Kakade e Liener (1969). A análise foi realizada em triplicata, exceto para os salgadinhos expandidos obtidos no delineamento experimental, cuja análise foi feita em duplicata.

#### **4.2.1.3.4. Perda de lisina**

A perda de lisina (%) foi obtida pelo seguinte cálculo: quantidade de lisina biodisponível nas misturas de farinhas antes da extrusão (valor inicial) subtraída da quantidade de lisina biodisponível nos salgadinhos extrudados (valor final), dividida pelo valor inicial, multiplicado por 100.

### **4.2.2. Produção dos salgadinhos expandidos**

As amostras, preparadas conforme o delineamento experimental (Item 4.2.3), foram processadas em um extrusor mono rosca (INBRAMAQ, modelo Labor PQ 30, Ribeirão Preto, Brasil) com 5 zonas de aquecimento, utilizando-se camisa de extrusão estriada helicoidal (184,7mm de comprimento e 47,6mm de diâmetro externo).

O pré-condicionamento das matérias-primas foi realizado adicionando-se água sob agitação para se atingir a umidade desejada em cada ensaio (2 kg de amostra). A amostra permaneceu por 24 horas sob refrigeração para a uniformização da umidade.

No processo de extrusão, os seguintes valores foram fixados: (i) taxa de compressão da rosca 2:1 (ii) o torque do motor que aciona a rotação do parafuso, com

uma amperagem fixa em 15 A (iii) diâmetro da matriz: 3mm; (vi) diâmetro da sub-matriz: 4mm; (v) temperatura da 1ª zona: 35°C; (vi) temperatura da 2ª zona: 50°C e (vii) temperatura da 3ª zona: 80°C.

Após o processo de extrusão, os salgadinhos expandidos foram secos a 60°C em estufa de circulação forçada de ar (Nova Ética, modelo 420-7D, Vargem Grande Paulista, Brasil) por 15 horas. Posteriormente, os produtos extrudados foram embalados em sacos plásticos de polietileno, selados e armazenados em local seco e fresco até a execução das análises de caracterização.

#### **4.2.3. Estratégia seqüencial para obtenção da melhor condição do processo de extrusão**

Os parâmetros que afetam as propriedades dos salgadinhos expandidos foram avaliados pelo planejamento experimental aplicado à metodologia de superfície de resposta. Foi adotada a estratégia seqüencial para obter a melhor condição de processamento, conforme Tabela 4.1.

As variáveis independentes foram selecionadas em função do seu efeito sobre as propriedades dos salgadinhos expandidos. Segundo Yacu (1990), na extrusão, as temperaturas de processo, a velocidade da rosca e as características das matérias-primas (como por exemplo, composição química, umidade inicial da amostra e granulometria) são parâmetros que influenciam diretamente as características dos produtos obtidos. Optou-se pela variação das temperaturas nas últimas zonas do extrusor, pois é nesta região que ocorre o cozimento do produto devido aos altos valores de cisalhamento, pressão e temperatura.

**Tabela 4. 1.** Estratégia seqüencial para obtenção da melhor condição de processamento para produção dos salgadinhos expandidos

<b>Etapas</b>	<b>Objetivos</b>	<b>Situação</b>
Seleção de variáveis (Plackett e Burman – PB ou Fatorial fracionado)	Identificar as variáveis mais importantes	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Muitos fatores</li> <li>• Pouco conhecimento do processo / longe das condições desejadas ou otimizadas.</li> </ul>
Otimização (Fatorial completo)	Construir os modelos preditivos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Poucos fatores</li> <li>• Dentro da região ótima</li> </ul>
Validação das condições otimizadas	Confirmar experimentalmente os resultados obtidos pela análise de superfície de resposta	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Condições otimizadas definidas</li> </ul>

Fonte: Rodrigues e lemma (2009)

Primeiramente, foi executado um planejamento fatorial fracionado  $2^{5-1}$  composto de 20 ensaios, sendo 4 no ponto central, com 5 variáveis estabelecidas em 3 níveis codificados (-1; 0 e +1). Os valores reais correspondentes a estes níveis são apresentados na Tabela 4.2. Na Tabela 4.3, consta a matriz do planejamento experimental fracionado com os valores codificados e reais das variáveis independentes.

**Tabela 4. 2.** Variáveis independentes e níveis de variação do planejamento fatorial fracionado  $2^{5-1}$

<b>Variáveis</b>	<b>Níveis de variação</b>		
	<b>-1</b>	<b>0</b>	<b>+1</b>
1) Umidade inicial da amostra (% , p/p)	15	20	25
2) Farinha de quinoa (% , p/p)	15	25	35
3) Temperatura da 4º zona (°C)	100	110	120
4) Temperatura da 5º zona (°C)	120	130	140
5) Velocidade da rosca (rpm)	182 (70%)	221 (85%)	260 (100%)

**Tabela 4. 3.** Matriz do planejamento fatorial fracionado  $2^{5-1}$  com os valores codificados e reais das variáveis independentes

Ensaio	Valores Codificados					Valores Reais				
	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$
1	-1	-1	-1	-1	1	15	15	100	120	260
2	1	-1	-1	-1	-1	25	15	100	120	182
3	-1	1	-1	-1	-1	15	35	100	120	182
4	1	1	-1	-1	1	25	35	100	120	260
5	-1	-1	1	-1	-1	15	15	120	120	182
6	1	-1	1	-1	1	25	15	120	120	260
7	-1	1	1	-1	1	15	35	120	120	260
8	1	1	1	-1	-1	25	35	120	120	182
9	-1	-1	-1	1	-1	15	15	100	140	182
10	1	-1	-1	1	1	25	15	100	140	260
11	-1	1	-1	1	1	15	35	100	140	260
12	1	1	-1	1	-1	25	35	100	140	182
13	-1	-1	1	1	1	15	15	120	140	260
14	1	-1	1	1	-1	25	15	120	140	182
15	-1	1	1	1	-1	15	35	120	140	182
16	1	1	1	1	1	25	35	120	140	260
17	0	0	0	0	0	20	25	110	130	221
18	0	0	0	0	0	20	25	110	130	221
19	0	0	0	0	0	20	25	110	130	221
20	0	0	0	0	0	20	25	110	130	221

Sendo:  $x_1$ ;  $X_1$  = Umidade (% p/p);  $x_2$ ;  $X_2$  = Farinha de quinoa (% p/p);  $x_3$ ;  $X_3$  = Temperatura da 4ª zona do extrusor (°C);  $x_4$ ;  $X_4$  = Temperatura da 5ª zona do extrusor (°C);  $x_5$ ;  $X_5$  = Velocidade da rosca (rpm).

Posteriormente, foi realizado um Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR), com 3 variáveis estabelecidas em 5 níveis codificados (-1,68; -1; 0; +1 e +1,68), composto de 18 ensaios, sendo 8 fatoriais (combinações entre os níveis +1 e -1), 6 axiais (uma variável no nível  $\pm \alpha$  e duas em 0) e 4 no ponto central (as três variáveis no nível 0). Os valores reais correspondentes a estes níveis são apresentados na Tabela 4.4. Na Tabela 4.5, consta a matriz do delineamento composto central rotacional com os valores codificados e reais das variáveis independentes.

**Tabela 4. 4.** Variáveis independentes e níveis de variação do delineamento composto central rotacional (DCCR)

Variáveis	Níveis de variação				
	-1,68	-1	0	+1	+1,68
1) Umidade inicial da amostra (% p/p)	15	16	17,5	19	20
2) Farinha de quinoa (% p/p)	15	22	32,5	43	50
3) Temperatura da 5ª zona (°C)	110	120	135	150	160

**Tabela 4. 5.** Matriz do delineamento composto central rotacional (DCCR) com os valores codificados e reais das variáveis independentes

Ensaio	Valores Codificados			Valores Reais		
	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$X_1$	$X_2$	$X_3$
1	-1	-1	-1	16	22	120
2	1	-1	-1	19	22	120
3	-1	1	-1	16	43	120
4	1	1	-1	19	43	120
5	-1	-1	1	16	22	150
6	1	-1	1	19	22	150
7	-1	1	1	16	43	150
8	1	1	1	19	43	150
9	-1,68	0	0	15	32,5	135
10	1,68	0	0	20	32,5	135
11	0	-1,68	0	17,5	15	135
12	0	1,68	0	17,5	50	135
13	0	0	-1,68	17,5	32,5	110
14	0	0	1,68	17,5	32,5	160
15	0	0	0	17,5	32,5	135
16	0	0	0	17,5	32,5	135
17	0	0	0	17,5	32,5	135
18	0	0	0	17,5	32,5	135

Sendo:  $x_1$ ;  $X_1$  = Umidade (% p/p);  $x_2$ ;  $X_2$  = Farinha de quinoa (% p/p);  $x_3$ ;  $X_3$  = Temperatura da 5ª zona do extrusor (°C).

Tanto para o planejamento fatorial fracionado  $2^{5-1}$  quanto para o delineamento composto central rotacional (DCCR)  $2^3$ , as variáveis dependentes avaliadas foram: (i) índice de expansão; (ii) dureza e (iii) lisina biodisponível, conforme metodologia descrita nos itens 4.2.4.1, 4.2.4.2. e 4.2.1.3.3., respectivamente.

Após avaliação dos resultados obtidos pelo DCCR e definição da melhor condição de processamento para produção dos salgadinhos expandidos de milho com incorporação de quinoa por extrusão termoplástica, foi efetuado o processamento final, em duplicata, para validação de um ponto destas condições.

Neste ponto escolhido e validado, foram também extrudados salgadinhos expandidos apenas de milho, considerado como padrão, para avaliação das características físicas, sensoriais e nutricionais e comparação com os salgadinhos expandidos de milho com incorporação de quinoa, também produzidos neste ponto.

#### **4.2.4. Caracterização dos salgadinhos expandidos**

Os salgadinhos expandidos foram caracterizados quanto ao índice de expansão e à dureza, de acordo com as metodologias descritas abaixo, incluindo lisina biodisponível (item 4.2.1.3.3).

##### **4.2.4.1. Índice de expansão**

O índice de expansão representa a relação entre o diâmetro do extrudado e o diâmetro do orifício da matriz do extrusor, conforme metodologia descrita por Faubion and Hosney (1982). As análises foram realizadas em 20 replicatas. A determinação do diâmetro foi realizada conforme item 4.2.4.3.

#### **4.2.4.2. Dureza**

A dureza dos salgadinhos expandidos foi determinada em analisador de textura, Texturômetro TA-XT2i, da Stable Micro Systems (Godalming, UK). Amostras de 40mm foram uniaxialmente cortadas com *probe* tipo *Warner Bratzler*, do tipo faca em “V”, avaliando-se a força necessária para o cisalhamento completo do produto. As condições de operação foram: velocidade no pré-teste = 5,0mm/s, velocidade durante o teste = 5mm/s e velocidade de pós-teste = 5mm/s. As análises foram realizadas em 20 replicatas. O resultado foi expresso em Newton.

#### **4.2.4.3. Diâmetro**

A determinação do diâmetro foi realizada com paquímetro marca Mitutoyo modelo 530-104B-10 (Suzano, Brasil) em 20 unidades, de salgadinhos extrudados, tomadas aleatoriamente.

#### **4.2.5. Caracterização dos salgadinhos produzidos na melhor condição do processo de extrusão**

Os salgadinhos expandidos de milho com incorporação de quinoa extrudados na melhor condição de processamento, assim como os salgadinhos expandidos apenas de milho (padrão) foram caracterizados quanto à: composição centesimal (item 4.2.1.1.), cor (item 4.2.1.2.), índice de expansão (item 4.2.4.1.), dureza (item 4.2.4.2.) e avaliação nutricional (4.2.1.3.).

#### **4.2.6. Avaliação do efeito da extrusão sobre as propriedades nutricionais**

A avaliação do efeito da extrusão sobre as propriedades nutricionais dos salgadinhos expandidos foi realizada pela avaliação das características nutricionais (item 4.2.1.3.) da mistura de farinhas milho/quinoa e dos salgadinhos expandidos elaborados na melhor condição de processamento.

#### **4.2.7. Aromatização**

Os salgadinhos expandidos de milho e aqueles com incorporação de quinoa, extrudados na melhor condição de processamento, foram aromatizados, empregando a formulação com 8% de óleo de canola e 2,5 de aroma em pó, sabor bacon.

O aroma foi adicionado ao óleo de canola e a mistura colocada em um pulverizador (Figura 4.1.) Os salgadinhos expandidos foram adicionados na drageadeira sob rotação de 75rpm.

A mistura óleo e aroma foi pulverizada nos salgadinhos expandidos, lentamente, até completa distribuição da mistura, enquanto estes se movimentavam no interior da drageadeira (Figura 4.2.)



**Figura 4. 1.** Pulverizador utilizado para aromatização dos salgadinhos



**Figura 4. 2.** Drageadeira do Cereal Chocotec do Ital

#### **4.2.8. Caracterização dos salgadinhos expandidos aromatizados**

Os salgadinhos expandidos aromatizados foram caracterizados quanto à composição centesimal (tem 4.2.1.1.), cor (item 4.2.1.2.2.), dureza (item 4.2.4.2.) e diâmetro (item 4.2.4.3.).

#### **4.2.9. Caracterização dos salgadinhos expandidos comerciais**

Foram escolhidas no mercado, três marcas distintas (A, B e C) de salgadinhos expandidos de milho, com formatos similares aos obtidos nesta pesquisa. Os produtos foram caracterizados quanto à medida de seus diâmetros (metodologia item 4.2.4.3.) e dureza (metodologia item 4.2.4.2.).

#### **4.2.10. Análise sensorial**

Os salgadinhos expandidos e aromatizados foram submetidos a testes sensoriais de aceitação e intenção de compra junto a consumidores potenciais dos produtos.

Os ensaios sensoriais foram realizados em cabines individuais de degustação, com luz branca, no Laboratório de Análise Sensorial do Departamento de Tecnologia de Alimentos, da Faculdade de Engenharia de Alimentos, da Universidade Estadual de Campinas. Foram recrutados 55 indivíduos, consumidores de salgadinhos expandidos, entre alunos e funcionários da Universidade Estadual de Campinas. As amostras foram apresentadas de forma monódica seqüencial, identificadas com código de três dígitos numéricos aleatórios.

Para o teste de aceitação, foi utilizada escala hedônica de 9 pontos (9 = gostei extremamente, 5 = nem gostei, nem desgostei e 1 = desgostei extremamente) para avaliação dos atributos: aparência, cor, odor, sabor, dureza, crocância e aceitação global.

Para o teste de intenção de compra, a escala utilizada foi de 5 pontos, variando entre certamente compraria e certamente não compraria. O modelo da ficha de análise sensorial está no Anexo A.

Os alunos e funcionários da Universidade Estadual de Campinas que aceitaram participar desta análise sensorial assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (Anexo B), aprovado, em conjunto com o protocolo experimental, pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Faculdade de Ciências Médicas da Universidade Estadual de Campinas através do Parecer CEP nº 1102/2008 (Anexo C).

#### **4.2.11. Análise Estatística**

Os dados obtidos nos ensaios do delineamento experimental foram avaliados utilizando-se o programa Statistica (Statsoft, USA, 2007), versão 8.0, quanto à análise dos efeitos, coeficiente de regressão e análise de variância (ANOVA). Os testes de comparação de médias (Tukey) para caracterização das matérias-primas e salgadinhos expandidos extrudados na melhor condição de processamento, foram realizados utilizando-se o pacote estatístico SAS (SAS Institute Inc. North Carolina. USA., 2001) versão 8.0.

## 5. Resultados e discussões

### 5.1. Caracterização das matérias-primas

#### 5.1.1. Composição centesimal das farinhas

A composição centesimal das farinhas de milho e quinoa é apresentada na Tabela 5.1.

**Tabela 5. 1.** Composição centesimal das farinhas de milho e quinoa (base seca)

Componentes	Farinha de milho	Farinha de quinoa
Umidade <sup>1</sup> (%)	10,60 ± 0,16 <sup>b</sup>	11,88 ± 0,06 <sup>a</sup>
Proteína <sup>1</sup> (%)	7,55 ± 0,22 <sup>b</sup>	13,49 ± 0,31 <sup>a</sup>
Lipídios totais <sup>1</sup> (%)	2,05 ± 0,04 <sup>b</sup>	7,34 ± 0,01 <sup>a</sup>
Cinzas <sup>1</sup> (%)	0,53 ± 0,03 <sup>b</sup>	2,38 ± 0,01 <sup>a</sup>
Fibra alimentar total <sup>1</sup> (%)	6,01 ± 0,06 <sup>b</sup>	7,31 ± 0,02 <sup>a</sup>
Fibra alimentar solúvel <sup>1</sup> (%)	0,00 ± 0,00 <sup>b</sup>	2,11 ± 0,10 <sup>a</sup>
Fibra alimentar insolúvel <sup>1</sup> (%)	6,01 ± 0,06 <sup>a</sup>	5,20 ± 0,12 <sup>b</sup>
Carboidratos <sup>2</sup> (%)	73,26	57,60

<sup>1</sup>Resultados expressos como média ± desvio padrão das análises em triplicatas. <sup>2</sup>Calculados por diferença: 100 – (umidade + proteína + lipídios totais + cinzas + fibra alimentar total). Fator de conversão de nitrogênio em proteína: (Nx6,25). Médias seguidas por uma mesma letra, na mesma linha, não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey (p<0,05).

A farinha de milho apresentou teor protéico igual a 7,55%, sendo este valor intermediário ao citado por Callegaro et al. (2005), Da Costa et al. (2010) e Alvim, Sgarbieri e Chang (2002), respectivamente, 6,40; 8,29 e 9,50%. Os demais resultados

obtidos para a farinha de milho estão de acordo com os reportados por Callegaro et al. (2005) e Capobiango et al. (2006).

Os valores de umidade, proteínas, lipídios, cinzas e carboidratos da farinha de quinoa estão de acordo com os encontrados na literatura (CHAUHAN; ESKIN; TKACHUK, 1992; DOGAN; KARWE, 2003). A fibra alimentar solúvel (2,11%) apresentou valor similar ao reportado por Ruales e Nair (1994a) (2,30%), porém o resultado da fibra alimentar insolúvel (5,20%) é 53% inferior ao valor reportado por esses autores (11%). A fibra alimentar total (7,31%), obtida pela soma da fibra solúvel e insolúvel, como consequência, também apresentou resultado 45% inferior ao da literatura (13,40%).

É importante ressaltar que a composição centesimal pode variar conforme as condições de solo e condições climáticas de cultivo, assim como a variedade dos grãos.

Em comparação ao milho, a quinoa apresenta quantidades significativamente ( $p < 0,05$ ) superiores de proteínas, lipídios, cinzas, fibra alimentar total e fibra alimentar solúvel, mas quantidade significativamente inferior ( $p < 0,05$ ) de fibra alimentar insolúvel.

## **5.1.2. Análises físicas e químicas**

### **5.1.2.1. Granulometria**

Observa-se que tanto a farinha de milho quanto a farinha de quinoa apresentaram mais de 60% das partículas retidas nas peneiras de 0,18 e 0,25mm, sendo 63,12% para farinha de milho e 67,96% para a farinha de quinoa (Tabela 5.2.)

**Tabela 5. 2.** Granulometria (% de retenção) das farinhas de milho e quinoa

<b>Peneiras</b>	<b>Farinha de milho</b>	<b>Farinha de quinoa</b>
<b>Mesh 20 (0,85mm)</b>	0,61 ± 0,08 <sup>a</sup>	0,56 ± 0,03 <sup>a</sup>
<b>Mesh 35 (0,42mm)</b>	27,83 ± 1,19 <sup>a</sup>	6,99 ± 0,50 <sup>b</sup>
<b>Mesh 60 (0,25mm)</b>	46,78 ± 4,35 <sup>a</sup>	40,23 ± 2,30 <sup>a</sup>
<b>Mesh 80 (0,18mm)</b>	16,34 ± 2,41 <sup>b</sup>	27,73 ± 1,37 <sup>a</sup>
<b>Mesh 100 (0,15mm)</b>	1,71 ± 0,29 <sup>b</sup>	3,64 ± 0,55 <sup>a</sup>
<b>Fundo (&lt; 0,15mm)</b>	6,74 ± 1,35 <sup>b</sup>	20,85 ± 2,44 <sup>a</sup>

Resultados expressos como média ± desvio padrão das análises em triplicatas. Médias seguidas por uma mesma letra, na mesma linha, não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

Entre as farinhas de milho e quinoa, não foi evidenciada diferença significativa ( $p < 0,05$ ) na quantidade de partículas retidas nas peneiras de 0,85 e 0,2 mm.

A farinha de quinoa contém 20,85% das partículas menores que 0,15 mm, sendo mais fina que a farinha de milho que contém 6,74%. Este fato, provavelmente, está relacionado ao menor tamanho dos grânulos do amido de quinoa e menor tendência de formação de conglomerados (LORENZ, 1990).

#### 5.1.2.2. Análise de cor

Os resultados da análise de cor estão apresentados na Tabela (5.3.).

**Tabela 5. 3.** Resultado de luminosidade L\* e parâmetros de cor a\* e b\* das farinhas de milho e quinoa

<b>Parâmetros de cor</b>	<b>Farinha de milho</b>	<b>Farinha de quinoa</b>
<b>L*</b>	86,36 ± 0,13 <sup>b</sup>	87,53 ± 0,58 <sup>a</sup>
<b>a*</b>	6,25 ± 0,06 <sup>a</sup>	0,24 ± 0,04 <sup>b</sup>
<b>b*</b>	31,27 ± 0,32 <sup>a</sup>	13,71 ± 0,19 <sup>b</sup>

Resultados expressos como média ± desvio padrão das análises em quadruplicatas. Médias seguidas por uma mesma letra, na mesma linha, não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

A farinha de quinoa apresentou-se significativamente ( $p < 0,05$ ) mais clara ( $L^*$  de 87,53) que a farinha de milho. As fotos das farinhas podem ser vistas na Figura 5.1.

As farinhas de quinoa e milho tem tom amarelo ( $b^*$  positivo) e sub-tom vermelho ( $a^*$  positivo). Os parâmetros  $a^*$  e  $b^*$  foram significativamente ( $p < 0,05$ ) superiores para a farinha de milho, indicando maior intensidade das tonalidades amarela e vermelha.

Os resultados dos parâmetros de cor obtidos para a farinha de milho estão de acordo com Leoro (2007), que reportou valores de 86,31 para  $L^*$ , 5,03 para  $a^*$  e 30,94 para  $b^*$ .



**Figura 5. 1.** Foto das farinhas de milho (A) e de quinoa (B)

Em concordância com esta pesquisa, Cardoso (2007) reportou farinha de quinoa com tom amarelo e sub-tom vermelho, porém com maior intensidade de tom amarelo, apresentando resultados de 83,19 para  $L^*$ , 0,89 para  $a^*$  e 19,19 para  $b^*$ . No entanto, Dogan e Karwe (2003) mencionaram valores de 87,27 para  $L^*$ , -0,48 para  $a^*$  e 11,94 para  $b^*$ , que representa uma farinha com tom amarelo ( $b^*$  positivo) e sub-tom verde ( $a^*$  negativo).

### 5.1.2.3. Teor de amido

A farinha de quinoa apresenta quantidades significativamente ( $p < 0,05$ ) inferiores de amido quando comparada à farinha de milho (Tabela 5.4.). Isso é devido ao fato da farinha de quinoa ser integral, não ocorrendo apenas a moagem do endosperma amiláceo, todo o grão foi moído para a obtenção da farinha.

**Tabela 5. 4.** Teor de amido das farinhas de milho e quinoa

<b>Matérias-primas</b>	<b>Teor de amido (%)</b>
<b>Farinha de milho</b>	77,30 ± 0,10 <sup>a</sup>
<b>Farinha de quinoa</b>	61,50 ± 0,20 <sup>b</sup>

Resultados expressos como média ± desvio padrão das análises em triplicatas. Médias seguidas por uma mesma letra não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

O teor de amido de milho obtido (77,3%) está de acordo com Watson (2003) que relata valores entre 61 e 78% e Autran et al. (2003) que mencionam valores entre 75,2 e 76,6 para diferentes variedades de milho. O teor de amido de quinoa (61,50) está de acordo com o reportado por Jancurová, Minarovicová e Dandár (2009).

### 5.1.2.4. Teor de amilose

O amido de milho apresenta quantidades de amilose significativamente ( $p < 0,05$ ) superiores quando comparado ao amido de quinoa (Tabela 5.5.)

**Tabela 5. 5.** Teor de amilose das farinhas de milho e quinoa

<b>Matérias-primas</b>	<b>Teor de amilose (%)</b>
<b>Farinha de milho</b>	17,38 ± 0,19 <sup>a</sup>
<b>Farinha de quinoa</b>	13,70 ± 0,24 <sup>b</sup>

Resultados expressos como média ± desvio padrão das análises em triplicatas. Médias seguidas por uma mesma letra, não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey (p<0,05).

O teor de amilose de amido de milho (17,38%) é inferior aos valores citados na literatura, faixa de 20 a 25% (AUTRAN, 2003; LI; YEH, 2001; MISHRA; RAI, 2006; SANDHU; SINGH; KAUR, 2004).

O teor de amilose do amido de quinoa (13,70%) é superior aos valores encontrados na literatura, aproximadamente de 9 a 12% (ATWELL et al., 1983; COULTER; LORENZ, 1990; LORENZ, 1990; QIAN; STUTTGART, 1999; TANG; WATANABE; MITSUNAGA, 2002).

Essa variação do teor amilose encontrado nesta pesquisa em relação ao reportado pela literatura é explicada por Singh et al. (2003). Segundo os autores, o conteúdo de amilose pode variar de acordo com a fonte botânica e é afetado pelas condições climáticas e tipo de solo que prevaleceram durante o crescimento da cultura. Além disso, a variação de resultado entre uma mesma fonte de amido, verificada em diversos estudos, também pode ser atribuída a diferentes procedimentos de isolamento de amido e diferentes métodos analíticos de determinação do teor de amilose (SINGH et al., 2003).

### 5.1.3. Avaliação nutricional

#### 5.1.3.1. Digestibilidade protéica *in vitro*

A digestibilidade protéica é a medida da extensão da hidrólise das ligações peptídicas das proteínas pelas proteases digestivas e é expressa em porcentagem (%) da proteína total que é hidrolisada. *In vitro*, a digestibilidade da proteína é determinada mediante hidrólise com um sistema enzimático composto por pepsina-pancreatina, simulando as condições da digestão humana.

Conforme Tabela 5.6, verifica-se que a farinha de milho apresenta digestibilidade significativamente superior ( $p < 0,05$ ) à farinha de quinoa. Esse efeito também foi constatado por Coulter e Lorenz (1991a). A diferença no valor da digestibilidade entre milho e quinoa, provavelmente, é resultado da variação na disponibilidade da proteína ao ataque enzimático. Isso pode ser explicado pela reação da proteína com substâncias presentes na composição dos vegetais como compostos fenólicos, componentes da fibra alimentar, pigmentos, produtos da oxidação de ácidos graxos insaturados, açúcares redutores e outras, formando derivados protéicos que são menos digeríveis que as proteínas vegetais (SGARBIERI, 1996)

**Tabela 5. 6.** Digestibilidade proteína *in vitro* das farinhas de milho e quinoa

Matérias-primas	Digestibilidade protéica <i>in vitro</i> (%)
Farinha de milho	99,08 ± 0,72 <sup>a</sup>
Farinha de quinoa	75,69 ± 1,07 <sup>b</sup>

Resultados expressos como média ± desvio padrão das análises em triplicatas. Médias seguidas por uma mesma letra, não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

O valor da digestibilidade da farinha de milho (99,08%) foi maior do que o citado por Sgarbieri (1996), 76% para milho integral. A digestibilidade da farinha de quinoa, 75,69%, é similar aos valores reportados por Ruales e Nair (1992; 1994b), 78%, e Repo-Carrasco-Valencia e Serna (2011), 76,30 a 80,5% para 4 variedades diferentes de quinoa.

### **5.1.3.2. Aminoácidos totais**

O aminograma das farinhas de milho e quinoa estão apresentados na Tabela 5.7. Os valores encontrados para os aminoácidos da farinha de milho estão dentro da faixa reportada por Sgarbieri (1996) e Alvim (2001) e os resultados da farinha de quinoa estão em concordância com Ranhotra et al. (1993) e Ruales e Nair (1992).

Com relação aos aminoácidos essenciais, foi verificada diferença significativa ( $p < 0,05$ ) entre as farinhas para lisina, leucina, isoleucina, metionina, treonina e triptofano.

A farinha de quinoa apresentou quantidades significativamente ( $p < 0,05$ ) superiores dos aminoácidos essenciais lisina, treonina, isoleucina e triptofano, representando, respectivamente, 2,69, 1,12, 1,20 e 3,62 vezes os teores encontrados na farinha de milho.

Ruales e Nair (1992) mencionaram que os conteúdos de lisina, metionina e cisteína na proteína de quinoa são superiores aos encontrados na maioria das proteínas de origem vegetal. No presente trabalho, apenas o aminoácido lisina apresentou concentração 2,7 vezes maior do que na proteína de milho.

**Tabela 5. 7.** Aminograma das farinhas de milho e quinoa

Aminoácidos (g/100g de proteína)	Farinha milho	Farinha quinoa	Aminoácidos (g/100g de proteína)	Farinha milho	Farinha quinoa
Lisina <sup>1</sup>	2,30 ± 0,35 <sup>b</sup>	6,19 ± 0,12 <sup>a</sup>	Tirosina <sup>1</sup>	3,96 ± 0,12 <sup>a</sup>	3,76 ± 0,27 <sup>a</sup>
Histidina <sup>1</sup>	3,26 ± 0,40 <sup>a</sup>	3,20 ± 0,36 <sup>a</sup>	Triptofano <sup>1</sup>	0,29 ± 0,02 <sup>b</sup>	1,05 ± 0,05 <sup>a</sup>
Treonina <sup>1</sup>	3,43 ± 0,15 <sup>b</sup>	3,86 ± 0,07 <sup>a</sup>	Arginina	5,13 ± 0,15 <sup>b</sup>	11,91 ± 0,60 <sup>a</sup>
Valina <sup>1</sup>	5,04 ± 0,09 <sup>a</sup>	5,31 ± 0,07 <sup>a</sup>	Serina	4,99 ± 0,09 <sup>a</sup>	5,13 ± 0,06 <sup>a</sup>
Cisteína <sup>1</sup>	0,91 ± 0,10 <sup>a</sup>	0,81 ± 0,05 <sup>a</sup>	Prolina	10,50 ± 0,74 <sup>a</sup>	4,22 ± 0,16 <sup>b</sup>
Metionina <sup>1</sup>	2,42 ± 0,13 <sup>a</sup>	1,92 ± 0,27 <sup>b</sup>	Ácido Aspártico	5,52 ± 0,37 <sup>b</sup>	9,31 ± 0,15 <sup>a</sup>
Isoleucina <sup>1</sup>	3,76 ± 0,22 <sup>b</sup>	4,51 ± 0,03 <sup>a</sup>	Ácido Glutâmico	19,40 ± 0,69 <sup>a</sup>	16,34 ± 0,22 <sup>b</sup>
Leucina <sup>1</sup>	12,73 ± 0,41 <sup>a</sup>	7,18 ± 0,43 <sup>b</sup>	Glicina	3,77 ± 0,10 <sup>b</sup>	6,08 ± 0,14 <sup>a</sup>
Fenilalanina <sup>1</sup>	4,69 ± 0,35 <sup>a</sup>	4,43 ± 0,16 <sup>a</sup>	Alanina	7,88 ± 0,13 <sup>a</sup>	5,39 ± 0,11 <sup>b</sup>

Resultados expressos como média ± desvio padrão das análises em triplicatas. Médias seguidas por uma mesma letra, na mesma linha para cada aminoácido, não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey (p<0,05). <sup>1</sup>Aminoácidos essenciais.

São considerados aminoácidos limitantes de uma proteína, os aminoácidos essenciais que apresentarem valor inferior àquele referenciado pelo padrão (FAO/WHO, 1973).

Os aminoácidos limitantes para a proteína de milho foram: lisina, treonina, isoleucina, triptofano e sulfurados (metionina+cisteína), que está de acordo com o descrito por Alvim (2001). Para proteína de quinoa, os aminoácidos limitantes foram: sulfurados (metionina+cisteína) e treonina (Tabela 5.8.).

**Tabela 5. 8.** Aminoácidos essenciais para proteína de milho, quinoa e padrão FAO/WHO (1973)

<b>Aminoácidos essenciais (g/100g proteína)</b>	<b>Aminoácidos padrão FAO/WHO (1973)<sup>2</sup></b>	<b>Aminoácidos essenciais da Farinha de Milho<sup>1</sup></b>	<b>Aminoácidos essenciais da Farinha de Quinoa<sup>1</sup></b>
Histidina	-	3,26	3,20
Lisina	5,50	2,30*	6,19
Treonina	4,00	3,43*	3,86*
Valina	5,00	5,04	5,31
Metionina + Cisteína	3,50	3,33*	2,73*
Isoleucina	4,00	3,76*	4,51
Leucina	7,00	12,73	7,18
Fenilalanina + Tirosina	6,00	8,65	8,19
Triptofano	1,00	0,29*	1,05

<sup>1</sup>Resultados expressos como média. <sup>2</sup>Valores obtidos da FAO/WHO (1973) \* Aminoácidos limitantes

A literatura diverge sobre os aminoácidos limitantes para a quinoa. Ranhotra et al. (1993) reportam a metionina e a cisteína, Dini et al. (1992) mencionam a lisina e a treonina e Ruales e Nair (1992) relatam, como aminoácidos limitantes, a tirosina e fenilalanina. Desta forma, os aminoácidos encontrados neste trabalho também foram reportados pela literatura como limitantes para a proteína de quinoa.

Por apresentar menor número de aminoácidos limitantes, constata-se que a proteína da quinoa é de melhor qualidade, além disso, para o milho, a lisina é um aminoácido limitante e, para a quinoa, não. Esta última, por sua vez, apresenta teores de lisina que representam 2,7 vezes os presentes no milho. o que justifica a incorporação deste cereal aos salgadinhos de milho com o intuito de aumentar o valor nutricional.

### 5.1.3.3. Lisina biodisponível

A farinha de milho apresentou quantidade de lisina biodisponível significativamente ( $p < 0,05$ ) inferior à farinha de quinoa (Tabela 5.9.). Isto ocorreu pois a farinha de quinoa apresenta em sua composição quantidades significativamente ( $p < 0,05$ ) superiores de proteína (Tabela 5.1.) e de lisina total (Tabela 5.7.) Segundo Sgarbieri (1996), menores valores de lisina biodisponível implicam em menor utilização biológica da proteína, isto é agravado em cereais que apresentam este aminoácido como limitante, como é o caso do milho (Tabela 5.8.)

**Tabela 5. 9.** Valores de lisina biodisponível para proteína de milho e quinoa

<b>Matérias-primas</b>	<b>Lisina biodisponível (g/100g proteína)</b>
<b>Farinha de milho</b>	2,03 ± 0,15 <sup>b</sup>
<b>Farinha de quinoa</b>	3,84 ± 0,15 <sup>a</sup>

Resultados expressos como média ± desvio padrão das análises em triplicatas. Médias seguidas por uma mesma letra não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

Os resultados de lisina total (Tabela 5.7.) e lisina biodisponível (Tabela 5.9.) mostram que a farinha de milho apresenta um valor 12% inferior de lisina biodisponível em relação à lisina total e para a farinha de quinoa este valor é 38% inferior. Em concordância com esta pesquisa, Torbatinejad, Rutherford e Moughan, (2005), ao analisarem 20 cereais matinais disponíveis na Nova Zelândia, verificaram resultados de 19 a 54% inferiores para lisina biodisponível em relação à lisina total. Rutherford, Moughan e Osch (1997) constataram, em farinhas de soja e trigo, respectivamente, valores 16 e 11% menores para lisina biodisponível em comparação à lisina total.

Essa divergência de resultados pode ser explicada pela diferença entre as metodologias de análise. A lisina total superestima a quantidade de lisina realmente disponível, pois tem como uma de suas etapas a hidrólise ácida, que converte parte da lisina que estava ligada a outros compostos em lisina disponível (RUTHERFURD; MOUGHAN; OSCH, 1997; TORBATINEJAD; RUTHERFURD; MOUGHAN, 2005)

## **5.2. Estratégia seqüencial para obtenção da melhor condição para o processo de extrusão**

### **5.2.1. Análise estatística do planejamento experimental fatorial fracionado $2^{5-1}$**

Os resultados experimentais obtidos no delineamento fatorial fracionado  $2^{5-1}$  para índice de expansão, dureza (N) e lisina biodisponível (%) estão apresentados na Tabela 5.10.

Foram realizadas as análises apenas dos efeitos principais das variáveis, pois em delineamento de seleção de fatores, como o planejamento fatorial fracionado, não se tem graus de liberdade para interações ou termos quadráticos, uma vez que não são realizados ensaios suficientes para essas determinações (RODRIGUES; IEMMA, 2009).

A análise estatística foi realizada a 80% de significância, ou seja,  $p < 0,20$ , pelo fato do processo de extrusão conhecidamente apresentar alta variabilidade e porque o planejamento fracionado é um delineamento para seleção de variáveis, desta forma, trabalhando com menor grau de significância evita-se que alguma variável importante para o processo deixe de ser considerada no planejamento DCCR.

**Tabela 5. 10.** Índice de expansão, dureza (N), lisina biodisponível e perda de lisina (%) como resultados obtidos no delineamento fatorial fracionado  $2^{5-1}$

Ensaio	x <sub>1</sub>	x <sub>2</sub>	x <sub>3</sub>	x <sub>4</sub>	x <sub>5</sub>	Índice de expansão	Dureza (N)	Lisina biodisponível (g lisina/100g proteína)	Perda de lisina (%) <sup>1</sup>
1	-1 (15)	-1 (15)	-1 (100)	-1 (120)	1 (260)	3,82 ± 0,15	9,09 ± 1,21	1,57 ± 0,01	32
2	1 (25)	-1 (15)	-1 (100)	-1 (120)	-1 (182)	3,09 ± 0,15	16,54 ± 5,51	1,61 ± 0,01	30
3	-1 (15)	1 (35)	-1 (100)	-1 (120)	-1 (182)	3,28 ± 0,08	5,95 ± 0,72	1,02 ± 0,03	62
4	1 (25)	1 (35)	-1 (100)	-1 (120)	1 (260)	2,44 ± 0,16	11,79 ± 1,72	0,68 ± 0,02	75
5	-1 (15)	-1 (15)	1 (120)	-1 (120)	-1 (182)	3,73 ± 0,16	7,56 ± 0,88	0,94 ± 0,01	59
6	1 (25)	-1 (15)	1 (120)	-1 (120)	1 (260)	2,97 ± 0,07	14,62 ± 4,87	0,73 ± 0,00	68
7	-1 (15)	1 (35)	1 (120)	-1 (120)	1 (260)	2,60 ± 0,11	6,66 ± 0,86	0,88 ± 0,03	67
8	1 (25)	1 (35)	1 (120)	-1 (120)	-1 (182)	2,72 ± 0,08	10,85 ± 2,64	0,50 ± 0,04	81
9	-1 (15)	-1 (15)	-1 (100)	1 (140)	-1 (182)	3,75 ± 0,14	7,65 ± 0,81	1,03 ± 0,02	55
10	1 (25)	-1 (15)	-1 (100)	1 (140)	1 (260)	2,93 ± 0,16	16,13 ± 4,83	0,66 ± 0,02	71
11	-1 (15)	1 (35)	-1 (100)	1 (140)	1 (260)	4,28 ± 0,18	6,75 ± 1,20	1,06 ± 0,01	60
12	1 (25)	1 (35)	-1 (100)	1 (140)	-1 (182)	2,67 ± 0,18	13,07 ± 4,02	0,79 ± 0,01	70
13	-1 (15)	-1 (15)	1 (120)	1 (140)	1 (260)	3,71 ± 0,22	6,82 ± 0,79	1,36 ± 0,01	41
14	1 (25)	-1 (15)	1 (120)	1 (140)	-1 (182)	2,65 ± 0,15	19,52 ± 4,08	1,23 ± 0,01	47
15	-1 (15)	1 (35)	1 (120)	1 (140)	-1 (182)	3,73 ± 0,08	8,28 ± 1,08	0,83 ± 0,02	69
16	1 (20)	1 (35)	1 (120)	1 (140)	1 (260)	2,51 ± 0,20	14,69 ± 3,92	0,96 ± 0,01	64
17	0 (20)	0 (25)	0 (110)	0 (130)	0 (221)	3,14 ± 0,17	11,38 ± 3,16	0,78 ± 0,04	68
18	0 (20)	0 (25)	0 (110)	0 (130)	0 (221)	3,77 ± 0,18	12,76 ± 2,45	0,68 ± 0,06	73
19	0 (20)	0 (25)	0 (110)	0 (130)	0 (221)	3,65 ± 0,24	10,02 ± 1,77	0,67 ± 0,08	73
20	0(20)	0 (25)	0 (110)	0 (130)	0 (221)	3,47 ± 0,22	11,73 ± 1,79	0,51 ± 0,01	79

Sendo: x<sub>1</sub>= Umidade (% p/p); x<sub>2</sub> = Farinha de quinoa (% p/p); x<sub>3</sub>= Temperatura da 4ª zona do extrusor (°C); x<sub>4</sub> = Temperatura da 5ª zona do extrusor (°C); x<sub>5</sub> = Velocidade da rosca (rpm).<sup>1</sup>Perda de lisina (%) obtida por cálculo teórico.

Adicionalmente, conforme recomendado por Rodrigues e Lemma (2009), na análise dos efeitos principais, foi considerada a checagem da curvatura.

A literatura diz que em alguns casos, quando se utiliza delineamentos incompletos: fatoriais fracionados ou esquemas de Plackett & Burman para uma prévia seleção das variáveis, pode ocorrer que os pontos centrais apresentem valores tanto inferiores quanto

superiores aos das outras condições dos ensaios. Quando isso ocorre, o erro padrão fica muito alto, pois na verdade os resultados não se ajustam a um modelo de 1ª ordem, indicando a possível existência de uma curvatura. Por este motivo, é importante na análise dos efeitos principais a checagem da curvatura. Se a curvatura for estatisticamente significativa, o erro padrão diminui, conseqüentemente o  $t_{cal}$  aumenta e o p-valor diminui e as variáveis estatisticamente significativas deixam de ficar “mascaradas” pelo erro padrão que estava alto devido aos pontos centrais. Com tal estratégia, minimiza-se o risco de excluir da etapa seguinte algum fator importante para o processo (RODRIGUES; IEMMA, 2009).

A curvatura foi estatisticamente significativa ( $p < 0,20$ ) para índice de expansão ( $p = 0,1175$ ) e lisina biodisponível ( $p = 0,0502$ ), conforme Tabelas 5.11 e 5.13.

#### **5.2.1.1. Índice de expansão**

Na Tabela 5.10, verifica-se que os resultados do índice de expansão variaram de 2,44 a 4,28. A variação no ponto central foi de 3,14 a 3,77. Esses valores são compatíveis com os relatados na literatura, 1,89 a 3,67 para salgadinhos de milho, contendo de 10 a 30% de quinoa (COULTER; LORENZ, 1991b).

Conforme análise dos efeitos, apresentada na Tabela 5.11, o índice de expansão foi afetado estatisticamente ( $p < 0,20$ ) pela umidade ( $p = 0,0003$ ) e pela farinha de quinoa ( $p = 0,1047$ ).

**Tabela 5. 11.** Estimativa dos efeitos para o índice de expansão no planejamento fracionado  $2^{5-1}$ , considerando 80% de significância ( $p < 0,20$ )

	<b>Efeito</b>	<b>Erro padrão</b>	<b>t(13)</b>	<b>p-valor</b>
<b>Média</b>	<b>3,18</b>	<b>0,09</b>	<b>36,59</b>	<b>&lt;0,0001</b>
<b>Curvatura</b>	<b>0,65</b>	<b>0,39</b>	<b>1,68</b>	<b>0,1175</b>
<b>Umidade (%)</b>	<b>-0,86</b>	<b>0,17</b>	<b>-4,97</b>	<b>0,0003</b>
<b>Farinha de quinoa (%)</b>	<b>-0,30</b>	<b>0,17</b>	<b>-1,74</b>	<b>0,1047</b>
Temperatura da 4ª zona (°C)	-0,21	0,17	-1,19	0,2562
Temperatura da 5ª zona (°C)	0,20	0,17	1,13	0,2786
Velocidade da rosca (rpm)	-0,05	0,17	-0,27	0,7919

O aumento da umidade de 15% para 25% (nível -1 a +1) causou uma redução de 0,86 no índice de expansão. O aumento da concentração de farinha de quinoa de 15% para 35% (nível -1 a +1) causou uma redução de 0,30 no índice de expansão.

Coulter e Lorenz (1991b) extrudaram misturas de quinoa (10, 20 e 30%) e *grits* de milho em extrusor mono rosca e verificaram que a umidade e a adição de quinoa afetaram significativamente a extrusão, sendo que a medida que essas variáveis aumentavam, a expansão diminuía. Esses relatos estão em concordância aos resultados encontrados no presente trabalho.

#### **5.2.1.2. Dureza**

Na Tabela 5.10., também são apresentados os valores de dureza dos salgadinhos expandidos produzidos nas condições definidas no delineamento experimental. Verifica-se que os resultados da dureza variaram de 5,95 a 19,52N. A variação no ponto central foi de 10,02N a 12,76N. Os valores de dureza encontrados na literatura variam entre 1,31 e

47N, desta forma, os valores encontrados neste estudo estão em concordância com o relatado (SCHMIELE, 2009; LEORO, 2007; FERREIRA, 2006; DOGAN; KARWE, 2003).

Observa-se que os desvios padrões obtidos na Tabela 5.10 são altos, isso pode ser explicado principalmente pela heterogeneidade do material extrudado, caracterizado por uma superfície irregular e estrutura porosa. Durante a análise de textura, o *probe* pode ter cortado o salgadinho nas bolhas ou, então, na matriz contínua do material, resultando em diferentes resistências ao corte e, conseqüentemente, diferentes leituras de dureza (N).

Conforme análise dos efeitos apresentada na Tabela 5.12, a dureza foi afetada estatisticamente ( $p < 0,20$ ) pela umidade ( $p < 0,0001$ ), pelo teor de farinha de quinoa ( $p = 0,0089$ ) e pela temperatura da 5ª zona do extrusor ( $p = 0,1522$ ). Um incremento do teor de umidade e da temperatura da 5ª zona (nível -1 a +1) ocasionou aumento da dureza, enquanto o incremento da concentração da farinha de quinoa gerou redução da dureza.

**Tabela 5. 12.** Estimativa dos efeitos para a dureza no planejamento fracionado  $2^{5-1}$ , considerando 80% de significância ( $p < 0,20$ )

	<b>Efeito</b>	<b>Erro padrão</b>	<b>t(13)</b>	<b>p-valor</b>
<b>Média</b>	<b>11,00</b>	<b>0,40</b>	<b>27,19</b>	<b>&lt;0,0001</b>
Curvatura	0,95	1,81	0,53	0,6084
<b>Umidade (%)</b>	<b>7,30</b>	<b>0,81</b>	<b>9,03</b>	<b>&lt;0,0001</b>
<b>Farinha de quinoa (%)</b>	<b>-2,49</b>	<b>0,81</b>	<b>-3,07</b>	<b>0,0089</b>
Temperatura da 4ª zona (°C)	0,25	0,81	0,31	0,7602
<b>Temperatura da 5ª zona (°C)</b>	<b>1,23</b>	<b>0,81</b>	<b>1,52</b>	<b>0,1522</b>
Velocidade da rosca (rpm)	-0,36	0,81	-0,44	0,6660

O aumento da umidade de 15% para 25% causou um acréscimo de 7,30N na dureza, enquanto a variação da temperatura da 5ª zona do extrusor de 120 para 140°C

causou um acréscimo de 1,23N nesta resposta. Por sua vez, o aumento da concentração da farinha de quinoa de 15% para 35% gerou uma redução de 2,49N na dureza.

A umidade foi a variável independente que apresentou maior efeito na resposta dureza.

Os resultados encontrados estão de acordo com os citados por Coulter e Lorenz (1991b). Esses autores reportaram que a dureza é reduzida com o aumento do teor de quinoa incorporada, principalmente devido ao maior conteúdo de proteína e lipídio presentes na composição, sendo o efeito ainda maior nos salgadinhos extrudados a 15% de umidade. Além disso, citaram que produtos com alta umidade (25%) são mais densos e requerem mais força para o corte, apresentando como consequência, maior dureza.

Vários trabalhos estão em comum acordo que a umidade é o fator de influência mais significativa na dureza, sendo salgadinhos menos duros obtidos em umidades mais baixas (COULTER; LORENZ, 1991b; DING et al., 2005; DOGAN; KARWE, 2003; FERREIRA, 2006; LEORO, 2007; SEBIO; CHANG, 2000).

Quanto à temperatura, em oposição a este trabalho, a maioria das pesquisas relata a redução da dureza com aumento da temperatura (DING et al., 2005; DOGAN; KARWE, 2003; ALVES; GROSSMANN, 2002).

### **5.2.1.3. Lisina biodisponível e perda de lisina**

No delineamento experimental (Tabela 5.10), foram obtidos valores de lisina biodisponível de 0,50 a 1,6g de lisina/100g de proteína. A variação no ponto central foi de 0,51 a 0,78g de lisina/100g de proteína.

Conforme análise dos efeitos, apresentada na Tabela 5.13, a biodisponibilidade de lisina foi afetada estatisticamente ( $p < 0,20$ ) pela concentração de farinha de quinoa ( $p = 0,0465$ ) e pela umidade ( $p = 0,1864$ ).

**Tabela 5. 13.** Estimativa dos efeitos para a lisina biodisponível no planejamento fracionado  $2^{5-1}$ , considerando 80% de significância ( $p < 0,20$ )

	<b>Efeito</b>	<b>Erro padrão</b>	<b>t(13)</b>	<b>p-valor</b>
<b>Média</b>	<b>0,99</b>	<b>0,07</b>	<b>14,40</b>	<b>&lt;0,0001</b>
<b>Curvatura</b>	<b>-0,66</b>	<b>0,31</b>	<b>-2,14</b>	<b>0,0520</b>
<b>Umidade (%)</b>	<b>-0,19</b>	<b>0,14</b>	<b>-1,40</b>	<b>0,1864</b>
<b>Farinha de quinoa (%)</b>	<b>-0,30</b>	<b>0,14</b>	<b>-2,20</b>	<b>0,0465</b>
Temperatura da 4ª zona (°C)	-0,12	0,14	-0,89	0,3913
Temperatura da 5ª zona (°C)	0,00	0,14	-0,02	0,9846
Velocidade da rosca (rpm)	0,00	0,14	-0,03	0,9760

O aumento do teor de quinoa de 15% para 35% causou uma redução de 0,30g de lisina/100g de proteína na quantidade de lisina biodisponível. Na literatura, há divergências sobre este efeito. Iwe et al. (2004) extrudaram farinha de soja desengordurada e farinha de batata-doce (teor de 60, 80% e 100%) com 18% de umidade, em extrusor mono-rosca, temperatura de 100°C nas duas zonas finais e velocidade máxima de 140rpm e verificaram que com o aumento da adição de farinha de soja, ocorreu maior perda de lisina, segundo os autores, atribuído à maior concentração de lisina presente na soja do que na batata-doce, o que favoreceu a reação de Maillard. A perda foi de 5, 17 e 35%, respectivamente, para as composições contendo 100, 80 e 60% de farinha de batata-doce. Chauhan, Verma e Bains (1988) evidenciaram efeito contrário ao extrudar arroz e misturas de arroz com farinha de soja (75:25), verificando aumento de

54% no teor de lisina na mistura extrudada em comparação com extrudado apenas de arroz, trabalhando com temperatura de 95°C.

O incremento da umidade de 15% para 25% causou redução de 0,19g de lisina/100g de proteína na quantidade de lisina biodisponível. Pham e Del Rosário (1984) também verificaram este efeito ao aumentar a umidade de 30 para 45%, extrudando ervilha e feijão, em extrusor mono-rosca, variando temperatura de 93-167°C e velocidade da rosca de 100-200rpm. Porém Hood-Niefer e Tyler (2010), verificaram efeito contrário, ao aumentar a umidade de 15 para 21%, extrudando farinha de ervilha e amido, em extrusor dupla-rosca, variando a temperatura de 80-140 °C.

Pelo cálculo teórico, baseado no resultado de lisina biodisponível para as farinhas de milho (2,03g de lisina/100g de proteína) e quinoa (3,84g de lisina/100g de proteína), conforme Tabela 5.9., e na composição das misturas de farinhas, foram obtidos os valores de lisina biodisponível apresentados na Tabela 5.14 para as misturas de farinhas de milho e quinoa antes da extrusão.

**Tabela 5. 14.** Valores de lisina biodisponível para proteína das misturas de farinha de milho e quinoa, antes da extrusão

<b>Misturas de farinhas de milho e quinoa</b>	<b>Lisina biodisponível (g/100g proteína)</b>
<b>15% farinha de quinoa e 85% farinha de milho</b>	2,30
<b>25% farinha de quinoa e 75% farinha de milho</b>	2,48
<b>35% farinha de quinoa e 65% farinha de milho</b>	2,66

Resultados obtidos por cálculo teórico

A perda de lisina (%) foi calculada conforme descrito no item 4.2.1.3.4. Os resultados para cada ponto do delineamento experimental estão apresentados na Tabela 5.10.

Para o delineamento experimental proposto, a perda de lisina variou de 30 a 81%. Esses valores estão próximos aos relatados por Valim e Batistuti (2000), que verificaram perdas de lisina de 55% a 71% ao extrudar farinha desengordurada de grão-de-bico, com umidades de 13, 18 e 27%, em extrusor mono-rosca, fixando a temperatura de compressão em 135°C, a temperatura de saída em 115°C e velocidade da rosca em 200rpm.

#### **5.2.1.4 Considerações sobre planejamento fracionado 2<sup>5-1</sup>**

Conforme os resultados obtidos pelo delineamento experimental fatorial fracionado 2<sup>5-1</sup>, as variáveis independentes que apresentaram influência significativa, considerando  $p < 0,20$ , em pelo menos uma das respostas (expansão, dureza e lisina biodisponível) foram: umidade, teor de farinha de quinoa e temperatura da 5ª zona do extrusor. Com aumento da umidade de 15 para 25%, ocorreu decréscimo do índice de expansão e da lisina biodisponível e acréscimo na dureza. A variação do teor de farinha de quinoa de 15 para 35% acarretou redução nas três respostas estudadas. Quando a temperatura da 5ª zona do extrusor passou de 120 para 140°C, a dureza aumentou.

Diante destes resultados, a próxima etapa do planejamento experimental foi a execução de um delineamento composto central rotacional (DCCR) para 3 fatores, fixando as variáveis: temperatura da 4ª zona e velocidade de rotação da rosca, e variando novamente a umidade, o teor de farinha de quinoa e a temperatura da 5ª zona, alterando suas faixas de estudo, a fim de otimizar o processo de extrusão e obter salgadinhos

expandidos com características tecnológicas desejáveis, como alta expansão e baixa dureza, e também nutricionais, com mínima perda de lisina biodisponível.

Segundo EL-DASH (1981), o aumento da velocidade de rotação da rosca produz um aumento na expansão de salgadinhos pelo processo de extrusão termoplástica, por este motivo, esta variável foi fixada no seu nível superior (+1), ou seja, 260rpm, mesmo este fato não tendo sido evidenciado no presente estudo, dentro das condições estabelecidas no planejamento fracionado.

Quanto à umidade, foi adotada uma faixa de estudo menos ampla, sendo alterada de 15 a 25% para 15 a 20%. Ao variar os níveis de -1 a +1, a umidade acarretou redução da expansão ( $p=0,0003$ ), aumento da dureza ( $p<0,0001$ ) e redução da lisina biodisponível ( $p=0,1864$ ).

Como a temperatura da 4ª zona do extrusor não influenciou significativamente nenhuma resposta estudada (considerando  $p<0,20$ ), seu valor foi fixado no seu nível inferior (-1), ou seja, 100°C, visando economizar energia elétrica e minimizar o dano térmico do produto. Segundo Asp e Bjorck (1998), com o aumento da temperatura de extrusão ocorre redução do conteúdo de lisina biodisponível, embora este efeito não tenha sido verificado nas condições de extrusão estudadas pelo planejamento fracionado.

A temperatura da 5ª zona do extrusor influenciou significativamente ( $p<0,20$ ), apenas a resposta dureza, apresentando p-valor igual a 0,1522. À medida que a temperatura aumentou de 120 para 140°C, a dureza também aumentou. Como a temperatura de extrusão é reconhecidamente um parâmetro que afeta as características dos produtos extrudados, optou-se por estudar novamente a temperatura da 5ª zona do extrusor, ampliando a sua faixa inicial (120 a 140°C) para 110 a 160°C.

O teor de farinha de quinoa apresentou efeito significativo para as três respostas estudadas. O aumento de 15 para 35% ocasionou redução na expansão ( $p=0,1047$ ), na

dureza ( $p=0,0089$ ) e na biodisponibilidade de lisina ( $p=0,0465$ ). Para confirmar esses efeitos, e considerando que o fato inédito nesta pesquisa é a incorporação de quinoa ao milho em salgadinhos expandidos obtidos pelo processo de extrusão, optou-se por ampliar a faixa de estudo desta variável de 15 a 50%.

### 5.2.2. Análise estatística do delineamento composto central rotacional (DCCR)

Os resultados experimentais obtidos no delineamento composto central rotacional (DCCR) para índice de expansão, dureza (N) e lisina biodisponível (%), estão apresentados na Tabela 5.15.

**Tabela 5. 15.** Índice de expansão, dureza (N), lisina biodisponível e perda de lisina (%) como resultados obtidos no delineamento composto central rotacional (DCCR)

Ensaio	$x_1$	$x_2$	$x_3$	Índice de expansão	Dureza (N)	Lisina biodisponível (g lisina/100g proteína)	Perda de lisina (%) <sup>1</sup>
1	-1 (16)	-1 (22)	-1 (120)	3,49 ± 0,15	8,00 ± 0,97	0,81 ± 0,04	67
2	1 (19)	-1 (22)	-1 (120)	3,52 ± 0,12	11,66 ± 1,92	0,71 ± 0,03	71
3	-1 (16)	1 (43)	-1 (120)	2,76 ± 0,12	7,66 ± 1,46	0,68 ± 0,01	76
4	1 (19)	1 (43)	-1 (120)	3,34 ± 0,16	12,15 ± 2,00	0,55 ± 0,02	80
5	-1 (16)	-1 (22)	1 (150)	3,20 ± 0,11	10,89 ± 0,95	0,97 ± 0,02	60
6	1 (19)	-1 (22)	1 (150)	3,31 ± 0,12	12,33 ± 2,19	0,72 ± 0,02	70
7	-1 (16)	1 (43)	1 (150)	3,10 ± 0,10	11,74 ± 1,28	0,87 ± 0,00	69
8	1 (19)	1 (43)	1 (150)	2,81 ± 0,09	9,30 ± 1,14	0,94 ± 0,04	67
9	-1,68 (15)	0 (32,5)	0 (135)	2,98 ± 0,11	9,57 ± 1,01	0,91 ± 0,04	65
10	1,68 (20)	0 (32,5)	0 (135)	3,17 ± 0,10	9,76 ± 1,29	1,01 ± 0,01	61
11	0 (17,5)	-1,68 (15)	0 (135)	3,81 ± 0,15	8,21 ± 1,16	0,67 ± 0,02	71
12	0 (17,5)	1,68 (50)	0 (135)	3,17 ± 0,14	11,51 ± 1,81	1,29 ± 0,05	56
13	0 (17,5)	0 (32,5)	-1,68 (110)	3,56 ± 0,21	12,91 ± 2,01	0,61 ± 0,05	77
14	0 (17,5)	0 (32,5)	1,68 (160)	3,04 ± 0,09	11,75 ± 1,64	0,95 ± 0,00	64
15	0 (17,5)	0 (32,5)	0 (135)	3,10 ± 0,22	9,43 ± 1,48	0,80 ± 0,01	70
16	0 (17,5)	0 (32,5)	0 (135)	3,50 ± 0,15	10,44 ± 1,79	0,72 ± 0,03	73
17	0 (17,5)	0 (32,5)	0 (135)	3,23 ± 0,11	11,95 ± 2,53	0,72 ± 0,03	73
18	0 (17,5)	0 (32,5)	0 (135)	3,41 ± 0,10	10,67 ± 1,65	0,68 ± 0,04	74

Sendo:  $x_1$ = Umidade (% p/p);  $x_2$  = Farinha de quinoa (% p/p);  $x_3$ = Temperatura da 5ª zona do extrusor (°C).  
<sup>1</sup>Perda de lisina (%) obtida por cálculo teórico.

### 5.2.2.1. Índice de expansão

A expansão, usualmente obtida pela comparação entre o valor do diâmetro do salgadinho em relação ao diâmetro da matriz do extrusor, é uma das características mais importantes de produtos extrudados (LINKO; COLONNA; MERCIER, 1981). Segundo Gujska e Khan (1990), o grau de expansão afeta a densidade, a fragilidade e a textura dos produtos extrudados, desta forma, é muito importante seu monitoramento no processo de extrusão de salgadinhos expandidos.

Durante o processo de extrusão, a matéria-prima sofre ação de calor, cisalhamento e pressão, que levam à gelatinização do amido e desnaturação das proteínas. Devido às altas pressões, cerca de 4 a 5MPa, mesmo em temperaturas entre 130 e 180°C, a água presente (10 a 35%) não se vaporiza, resultando na transformação do material, de pó compacto, em massa fluída viscoelástica, contendo essa água superaquecida (ARÊAS, 1996; COLONNA; TAYEB; MERCIER, 1998; GUY, 2001; LINKO; COLONNA; MERCIER, 1981).

Na saída do extrusor, imediatamente após a passagem pela matriz, devido à queda de pressão para a pressão atmosférica, a água superaquecida evapora dentro do fluído, promovendo a formação e crescimento de células de ar. A expansão continua até que as células de ar atinjam o limite de sua extensibilidade, quando, na máxima expansão, se rompem e liberam este ar. Após a ruptura das células de ar, a expansão é cessada (COLONNA; TAYEB; MERCIER, 1998; GUY, 2001; LINKO; COLONNA; MERCIER, 1981).

Na evaporação, com a perda de cerca de 3 a 5% de umidade, o produto esfria, a temperatura atinge valores abaixo da temperatura de transição vítrea, então, o material se

solidifica formando a estrutura final dos produtos (COLONNA; TAYEB; MERCIER, 1998; GUY, 2001; LINKO; COLONNA; MERCIER, 1981; ROKEY, 2002).

Na Tabela 5.15, verifica-se que o índice de expansão dos salgadinhos expandidos variou de 2,76 a 3,81. A variação no ponto central foi de 3,10 a 3,50. Esses valores são compatíveis aos relatados na literatura, 1,89 a 3,67 para salgadinhos de milho, contendo de 10 a 30% de quinoa (COULTER; LORENZ; 1991b).

A menor expansão dos salgadinhos expandidos, valor igual a 2,76, foi obtida no ensaio 3, tendo como condições de processamento: baixa umidade (16%), alta concentração de farinha de quinoa (43%) e baixa temperatura na 5ª zona (120°C).

A maior expansão dos salgadinhos expandidos, valor igual a 3,81, foi obtida no ensaio 11, com baixa concentração da farinha de quinoa (15%) e condições intermediárias de umidade (17,5%) e temperatura na 5ª zona (135°C).

Pelos resultados obtidos, foi possível determinar os coeficientes de regressão que estão apresentados na Tabela 5.16, em que se observa que os parâmetros que apresentaram efeito estatisticamente significativo ( $p < 0,10$ ) sobre o índice de expansão foram: umidade quadrática, farinha de quinoa linear e temperatura da 5ª zona linear.

Pela análise de variância (ANOVA), considerando todos os parâmetros, inclusive os estatisticamente não significativos, foi verificado o ajuste razoável do modelo, com variação explicada de 80,0%, (acima de 70%, que segundo Gonçalves (2010) é o valor mínimo aceitável para processos de extrusão) e  $F_{cal}$  (3,54) maior do que  $F_{tab}$  (2,56), conforme Tabela 5.17.

**Tabela 5. 16.** Coeficientes de regressão para a resposta índice de expansão

Fatores	Coeficientes de Regressão	Erro padrão	t(8)	p-valor
<b>Média</b>	<b>3,31</b>	<b>0,09</b>	<b>37,48</b>	<b>&lt;0,0001</b>
Umidade (L)	0,06	0,05	1,17	0,2768
<b>Umidade (Q)</b>	<b>-0,10</b>	<b>0,05</b>	<b>-2,10</b>	<b>0,0690</b>
<b>Farinha de quinoa (L)</b>	<b>-0,19</b>	<b>0,05</b>	<b>-3,94</b>	<b>0,0043</b>
Farinha de quinoa (Q)	0,04	0,05	0,86	0,4143
<b>Temperatura da 5ª zona (L)</b>	<b>-0,12</b>	<b>0,05</b>	<b>-2,41</b>	<b>0,0423</b>
Temperatura da 5ª zona (Q)	-0,02	0,05	-0,50	0,6328
Umidade (L) X Farinha de quinoa (L)	0,02	0,06	0,30	0,7698
Umidade (L) X Temperatura da 5ª zona (L)	-0,10	0,06	-1,57	0,1558
Farinha de quinoa (L) X Temperatura da 5ª zona (L)	0,04	0,06	0,65	0,5347

Resultados considerando 90% de significância ( $p < 0,10$ ). L-linear, Q-quadrática

**Tabela 5. 17.** Análise de variância (ANOVA) para a resposta índice de expansão, considerando todos os parâmetros do modelo

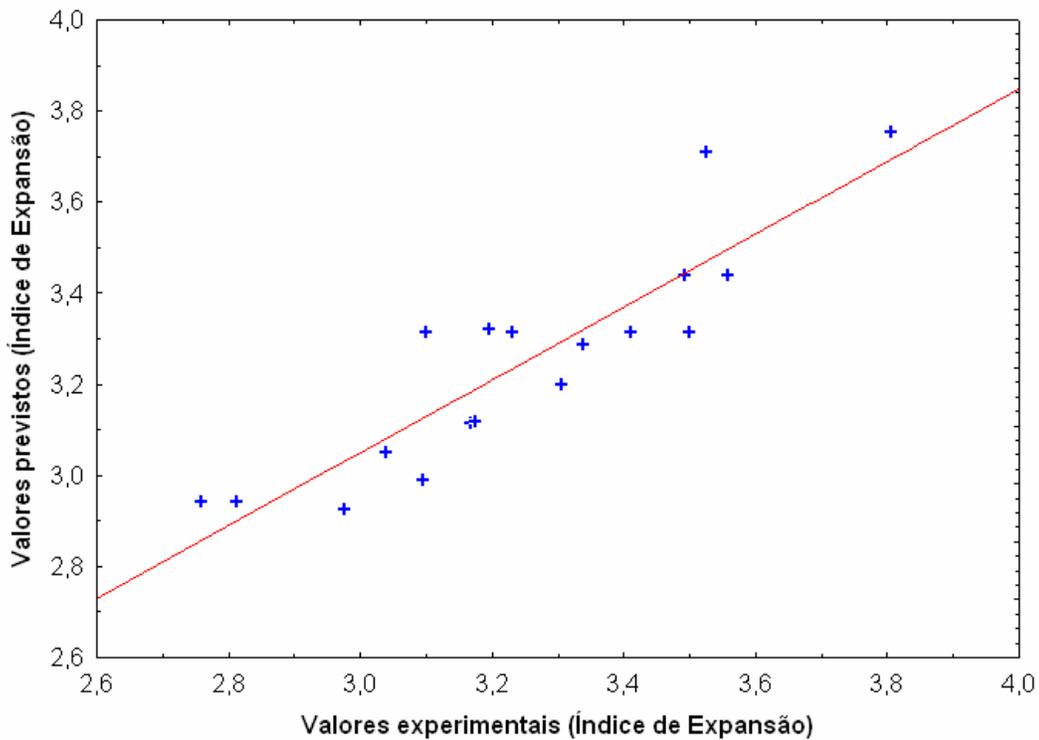
Fonte de Variação	Soma dos Quadrados	Graus de Liberdade	Quadrados Médios	F <sub>calculado</sub>
Regressão	1,00	9	0,11	3,54
Resíduos	0,25	8	0,03	
Total	1,25	17		

$R^2 = 0,80$ ;  $F_{0,90;9;8} = 2,56$

A obtenção de  $F_{cal}$  apenas 1,4 vezes superior ao  $F_{tab}$  e de  $R^2$  razoável (igual a 0,80), provavelmente são decorrentes da variabilidade inerente ao processo de extrusão e às análises de determinação do índice de expansão. Diante destes resultados, as superfícies de resposta foram geradas com o intuito de avaliar os efeitos das variáveis

estudadas sobre esta resposta e escolher um ponto para validação experimental do processo e produção dos salgadinhos para o teste sensorial.

A Figura 5.2. apresenta os resultados experimentais versus os resultados previstos pelo modelo ajustado, mostrando uma razoável concordância entre eles. Além disso, o erro entre o valor experimental e o predito pelo modelo foi baixo, variando, em módulo, de 0,4 a 6,81% (Tabela D.1., Anexo D).



**Figura 5. 2.** Valores experimentais de índice de expansão em função dos valores previstos pelo modelo ajustado

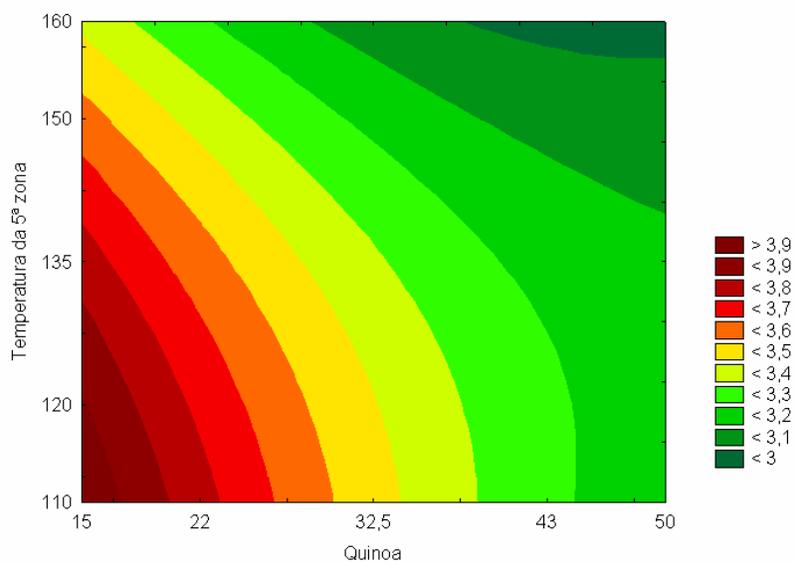
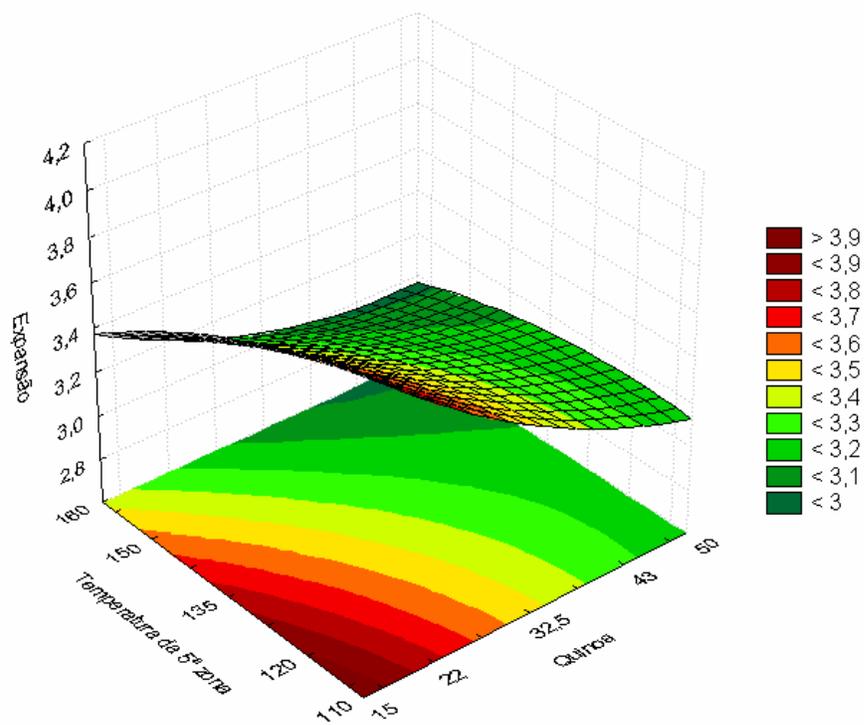
Pela Equação (1), que representa o modelo matemático de 2ª ordem, o índice de expansão (IE) pode ser estimado em função de umidade, concentração de farinha de quinoa e temperatura da 5ª zona do extrusor, desde que estas variáveis sejam analisadas nas faixas de variação utilizadas neste trabalho.

### **Equação 1**

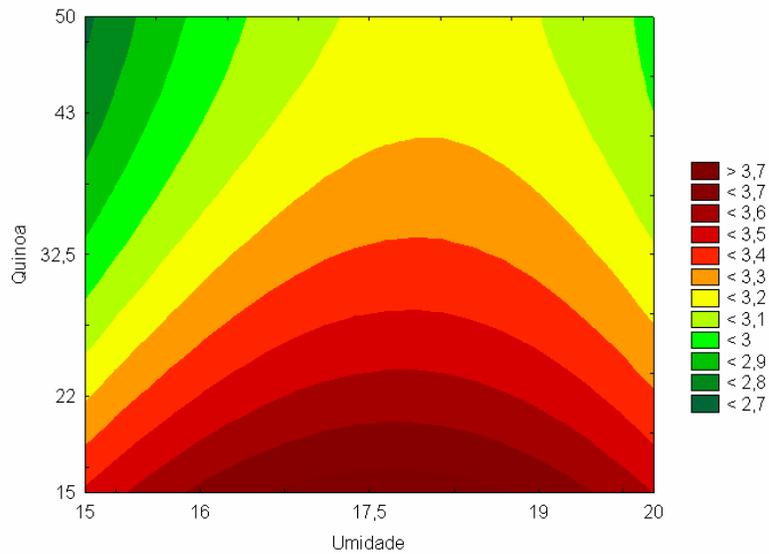
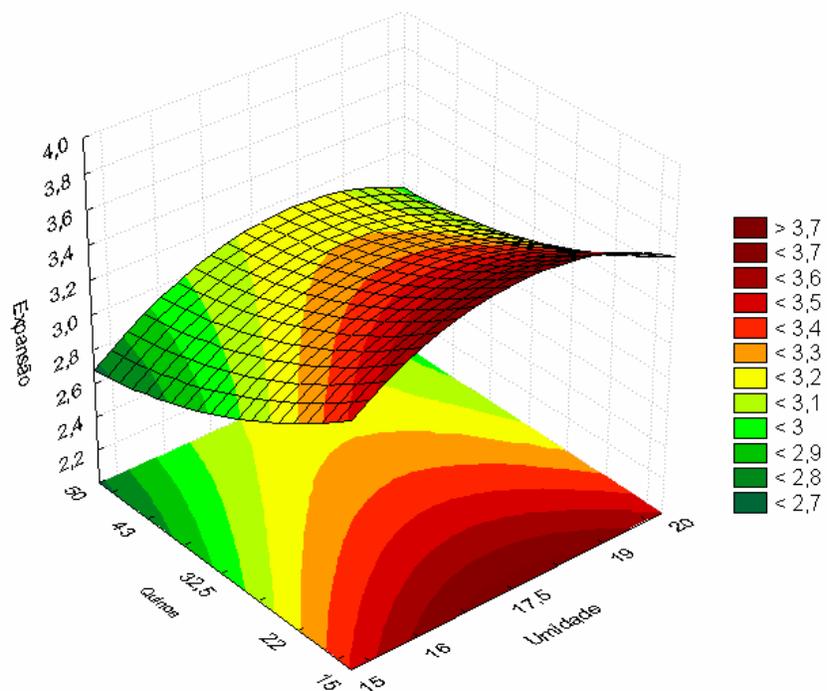
$$IE = 3,31 + 0,06x_1 - 0,10x_1^2 - 0,19x_2 + 0,04x_2^2 - 0,12x_3 - 0,02x_3^2 + 0,02x_1x_2 - 0,10x_1x_3 + 0,04x_2x_3$$

Sendo:  $x_1$  = umidade inicial da amostra;  $x_2$  = farinha de quinoa;  $x_3$  = temperatura da 5ª zona do extrusor

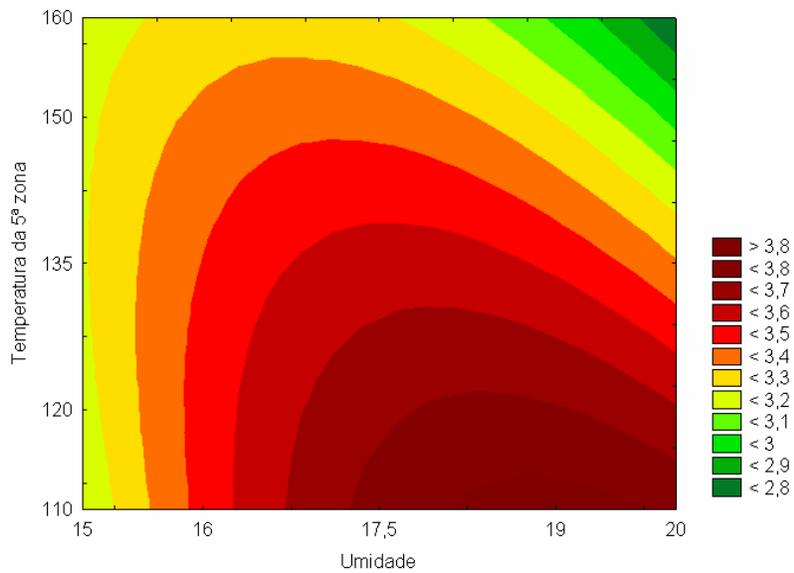
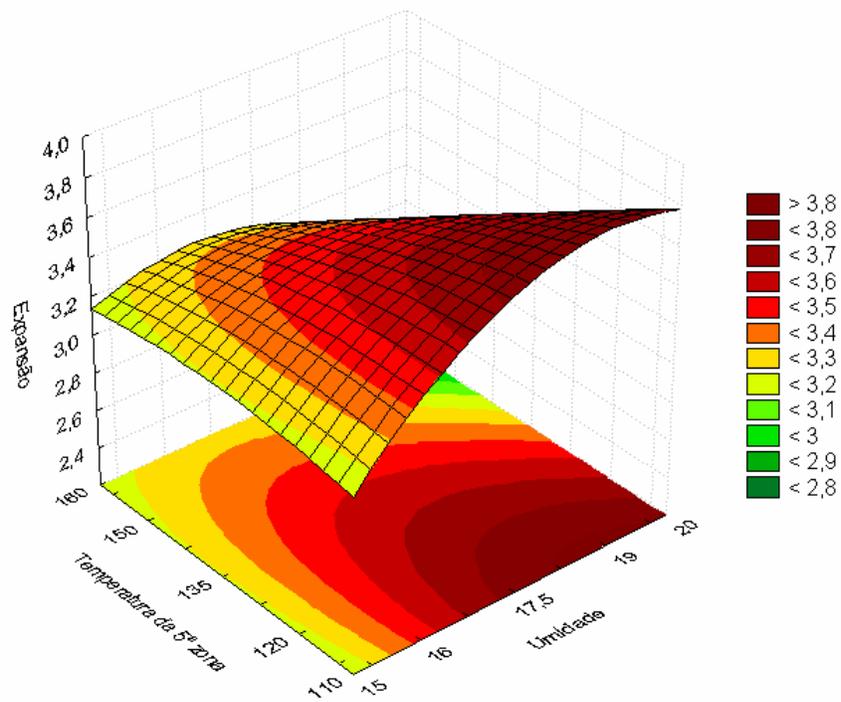
A partir do modelo obtido, foi possível construir as superfícies de resposta e as respectivas curvas de contorno para o índice de expansão, apresentadas nas Figuras 5.3, 5.4 e 5.5.



**Figura 5. 3.** Superfície de resposta e respectiva curva de contorno para o índice de expansão (IE) como função da concentração de farinha de quinoa e da temperatura da 5ª zona do extrusor, com umidade inicial da amostra de 17,5%



**Figura 5. 4.** Superfície de resposta e respectiva curva de contorno para o índice de expansão (IE) como função da concentração de farinha de quinoa e umidade inicial da amostra, com temperatura da 5ª zona do extrusor de 135°C



**Figura 5. 5.** Superfície de resposta e respectiva curva de contorno para o índice de expansão (IE) como função da temperatura da 5ª zona do extrusor e umidade inicial da amostra, com concentração de farinha de quinoa de 22%

De acordo com as superfícies de resposta, os maiores valores de índice de expansão dos salgadinhos foram obtidos em umidades intermediárias, ao redor de 17,5%, em baixas concentrações de quinoa, abaixo de 22% e em baixas temperaturas, abaixo de 135°C, dentro das faixas estudadas. Verifica-se que o aumento da umidade inicial da amostra, da concentração de quinoa e da temperatura do extrusor causa redução da expansão. A concentração de quinoa apresentou maior influência na expansão, seguida da temperatura e da umidade.

Ferreira (2006), na produção de salgadinhos expandidos de milho, ao aumentar a umidade de 16,3 para 29,7%, a temperatura do extrusor de 104,8 para 155,2 °C e o teor de farelo de trigo de 0 para 24,6%, também reportou queda no índice de expansão. Leoro (2007), extrudando cereais matinais de milho, ao aumentar a umidade de 18 para 28%, a temperatura do extrusor de 120 para 160°C e o teor de farelo de maracujá de 0 para 30%, verificou o mesmo efeito.

Schmiele (2009), ao avaliar a influência da umidade (14 a 22%) e da temperatura (120 a 170°C) na qualidade de extrudados expandidos de milho dentado, relatou que a umidade apresentou o maior efeito, gerando redução do índice de expansão ao aumentar de 14 para 22%.

Outros autores também reportaram que o aumento da umidade de condicionamento reduz o índice de expansão dos salgadinhos (ALVES; GROSMANN, 2002; DING et al., 2005; MOHAMED, 1990; THYMI; KROKIDA; MAROULIS, 2005).

A menor expansão de salgadinhos extrudados com maior umidade inicial ocorre porque a maior quantidade de água provoca redução da viscosidade do material no interior do extrusor, ocasionando menor torque e menor pressão interna. Como a expansão dos salgadinhos depende da diferença entre a pressão na matriz e a pressão

atmosférica, com mais água, a diferença de pressão será menor e, por conseqüência, a expansão também será menor (MOHAMED, 1990; ZANG; HOSENEY, 1998).

Em concordância com os resultados encontrados neste trabalho, Coulter e Lorenz (1991b), ao extrudarem farinha de quinoa e *grits* de milho, variando as concentrações de farinha de quinoa de 10 a 30%, a umidade de 15 a 25% e as temperaturas de 80 a 100°C na zona de alimentação e 100 a 150°C na zona de compressão, verificaram que a umidade e o teor de farinha de quinoa afetaram significativamente a expansão. Os produtos extrudados a 15% de umidade expandiram mais do que aqueles a 25% de umidade. O aumento da adição de quinoa reduziu a expansão, o que foi atribuído ao maior teor de proteínas, lipídios e ao menor teor de amilose da quinoa comparado ao milho. Todos esses fatores estão relacionados à redução da expansão.

O efeito da proteína na redução da expansão de produtos extrudados também foi comprovado por Faubion e Hosene (1982). Ao adicionar glúten (1 a 11%) em amido de trigo, evidenciaram crescente redução da expansão dos extrudados, atingindo seu menor valor com 11% da proteína. Isso ocorre porque a proteína não expande tão bem quanto o amido (MOHAMED, 1990). No presente trabalho, como o conteúdo de proteína da farinha de quinoa adicionado ao milho foi alto (13,49%), isto deve ter contribuído para a redução da expansão.

Os lipídios, devido a sua característica hidrofóbica, se ligam à parte interna das hélices do amido, que contém as ligações C-H. Segundo Arêas (1992; 1996), a presença de lipídios no processo de extrusão do amido, até o limite da capacidade das hélices de incorporarem esses lipídios, não prejudicam o processo, porém quando essa capacidade é superada, ocorre redução da expansão. Linko, Colonna e Mercier (1981) relataram que a redução da expansão é verificada quando a quantidade de lipídios é superior a 5%. Faubion e Hosene (1982) verificaram que a adição de 1% de lipídios ao amido de trigo

causou redução da expansão, enquanto farinhas desengorduradas produziram produtos de maior expansão. A adição de farinha de quinoa à farinha de milho aumentou o conteúdo total dos lipídios.

Quanto ao efeito do teor de amilose na expansão de produtos à base de amido de milho, há controvérsias. Chinnaswamy (1993), em extrusão com temperaturas entre 120 e 150°C, evidenciou que o aumento do teor de amilose de 0 a 50% promoveu aumento da expansão, desta forma, quanto menor foi o teor de amilose menor foi a expansão dos extrudados, como mencionado por Coulter e Lorenz (1991b). Mercier e Feillet (1975) examinaram o comportamento de amidos de cereais de diferentes origens (milho, milho ceroso, arroz e trigo) na extrusão e encontraram que o aumento do conteúdo de amilose é acompanhado da redução da expansão, mas que esse comportamento se inverte quando a extrusão ocorre em altas temperaturas.

O grau de expansão depende da quantidade de amido presente no material. A máxima expansão é obtida com amido puro (aumento de 500% no diâmetro do produto), seguida de grãos inteiros, que contém 65-78% de amido, resultando em um aumento de 400% no diâmetro do produto e a menor expansão é obtida com sementes oleaginosas, que tem cerca de 10% de amido e geram aumento de 150 a 200% no diâmetro dos produtos. Para adequada expansão, o limite mínimo de conteúdo de amido no material deve ser entre 60 a 70% (LINKO; COLONNA; MERCIER, 1981).

Além da quantidade de amido, segundo Linko, Colonna e Mercier (1981), a temperatura tem um efeito importante na expansão dos produtos, sendo 100°C a temperatura mínima para que a expansão ocorra. À medida que a temperatura aumenta, atingindo valores máximos ao redor de 170°C, dependendo do tipo de extrusor, a expansão tende a aumentar, quando a umidade está abaixo de 19,5%. Em baixas temperaturas de extrusão, a expansão pode ser reduzida porque o amido pode não estar

totalmente fundido. Em temperaturas mais altas, pode ocorrer redução da expansão, atribuída à dextrinização do amido e conseqüente enfraquecimento da estrutura do produto.

Ao aumentar a temperatura da 5ª zona do extrusor de 110 para 160°C, verificou-se a redução da expansão dos salgadinhos de milho e quinoa. Isso pode ser explicado pelo fato que a expansão é um fenômeno que depende basicamente das propriedades de elasticidade e viscosidade da massa fundida e a temperatura tem efeito negativo na elasticidade, conforme afirmado por Launay e Lisch (1983). Esse mesmo efeito de redução da expansão com o aumento da temperatura foi verificado em diversos estudos de extrusão, como os realizados por Chang et al. (1998), Sebio e Chang (2000), Alves e Grossmann (2002) e Dogan e Karwe (2003).

Como mostrado na Tabela 5.15., o índice de expansão dos salgadinhos variou de 2,76 a 3,81, o que equivale a uma variação de 8,28 e 11,73mm no diâmetro dos salgadinhos, uma vez que a matriz usada no processo de extrusão foi de 3mm. Para efeito de comparação, foram determinados os diâmetros de salgadinhos expandidos de milho, de 3 marcas distintas (A, B e C) disponíveis no mercado. Os resultados foram 12,82; 12,13 e 12,62mm, respectivamente, para as marcas A, B e C. Verifica-se que os salgadinhos comerciais apresentam diâmetro apenas ligeiramente acima do valor máximo obtido pelo processamento nas condições do planejamento experimental, o que indica que as faixas das variáveis independentes foram escolhidas de maneira adequada, pois resultaram em produtos com característica de expansão próxima aos produtos atualmente comercializados.

### 5.2.2.2. Dureza

A dureza, obtida pela medida instrumental usando o analisador de textura Texturômetro TA-XT2i, representa o pico máximo de força (N) gerada durante o corte dos salgadinhos e está relacionada à resistência do material. Ding et al. (2005) mencionam que vários estudos produziram resultados positivos ao correlacionar medidas instrumentais de textura com percepções sensoriais. Em muitos casos, a análise instrumental da textura é utilizada em substituição à análise sensorial por ser menos onerosa.

A aceitação dos salgadinhos extrudados pelos consumidores está associada às suas características sensoriais, principalmente aparência e textura, com maior ênfase nos atributos crocância e dureza (ANTON; LUCIANO, 2007).

As características de crocância e dureza dos salgadinhos extrudados estão diretamente relacionadas ao grau de expansão, sendo função da estrutura, uniformidade e tamanho das células de ar formadas durante o processo de extrusão. Produtos com grande expansão são menos densos e mais crocantes por apresentar estrutura interna com células grande e paredes finas (COLONNA; TAYEB; MERCIER, 1998; DING et al., 2005).

Na Tabela 5.15., são apresentados os valores de dureza dos salgadinhos expandidos produzidos nas condições definidas no delineamento experimental. Verifica-se que os resultados da dureza variaram de 7,66 a 12,91N. É importante observar que a dureza dos salgadinhos expandidos para a condição do ponto central, onde se avalia a repetibilidade do processo, apresenta variação de 9,43 a 11,95N, ou seja, valores muito próximos àqueles obtidos nas outras condições do delineamento, principalmente se forem

considerados os desvios padrões, relativamente altos, característicos deste tipo de determinação.

Como o processo apresentou boa repetibilidade, uma vez que a variação obtida no ponto central foi adequada, levando em consideração a variabilidade inerente à extrusão e a determinação de dureza, verifica-se que, independentemente das condições do processo e da quantidade de quinoa adicionada, a dureza dos salgadinhos expandidos obtidos foram próximas, dentro de um valor médio e seu erro padrão.

Com isso, dentro da faixa estudada, a dureza apresentou uma variação pequena, o que não tornou possível obter um modelo matemático que possibilitasse expressar essa resposta em função das 3 variáveis estudadas: umidade inicial da amostra, quantidade de farinha de quinoa e temperatura da 5ª zona do extrusor.

Na Tabela 5.18., estão os coeficientes de regressão para a resposta dureza e, na Tabela 5.19., a análise de variância (ANOVA). Verifica-se que apenas a interação linear da umidade com a temperatura da 5ª zona do extrusor apresentou efeito significativo a  $p < 0,10$ . Mesmo assim, não se deve construir a superfície de resposta, pois  $F_{cal} < F_{tab}$ , o coeficiente de determinação  $R^2$  é baixo (62%), e os resíduos altos (38%), sendo que a maior parte é representada pela falta de ajuste (31%), então o modelo não expressaria os dados experimentais obtidos. Isso é reforçado pela Figura 5.6. que apresenta os resultados experimentais versus os resultados previstos pelo modelo ajustado, mostrando que realmente não há uma boa concordância entre eles.

**Tabela 5. 18.** Coeficientes de regressão para a resposta dureza

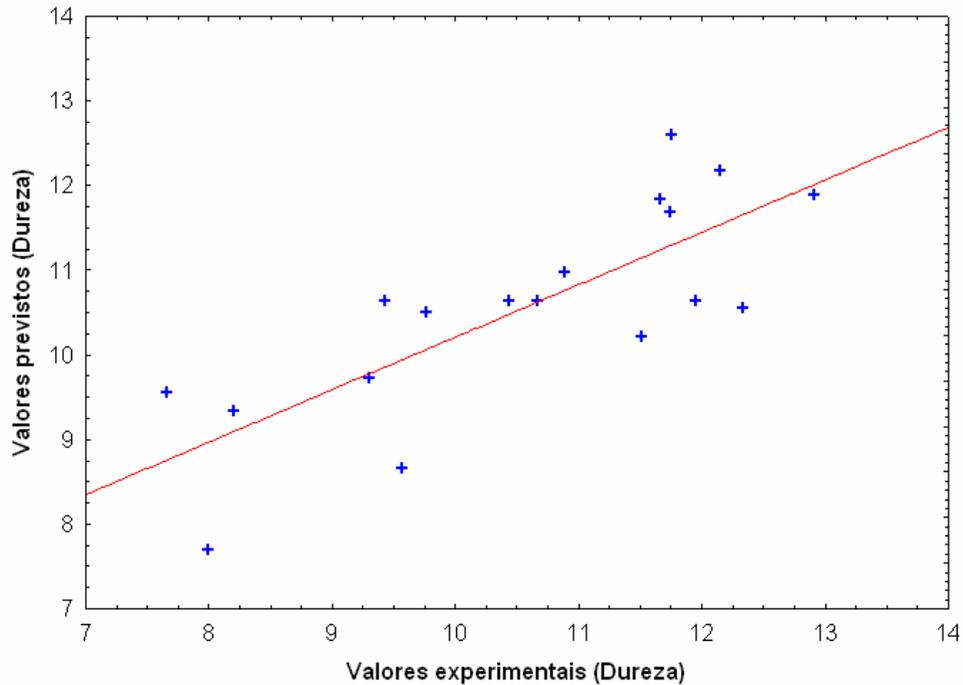
Fatores	Coeficientes de Regressão	Erro padrão	t(8)	p-valor
<b>Média</b>	<b>10,63</b>	<b>0,72</b>	<b>14,87</b>	<b>&lt;0,0001</b>
Umidade (L)	0,55	0,39	1,41	0,1957
Umidade (Q)	-0,37	0,40	-0,92	0,3842
Farinha de quinoa (L)	0,26	0,39	0,67	0,5240
Farinha de quinoa (Q)	-0,30	0,40	-0,75	0,4724
Temperatura da 5ª zona (L)	0,21	0,39	0,54	0,6057
Temperatura da 5ª zona (Q)	0,57	0,40	1,42	0,1940
Umidade (L) X Farinha de quinoa (L)	-0,38	0,51	-0,76	0,4713
<b>Umidade (L) X Temperatura da 5ª zona (L)</b>	<b>-1,14</b>	<b>0,51</b>	<b>-2,26</b>	<b>0,0537</b>
Farinha de quinoa (L) X Temperatura da 5ª zona (L)	-0,29	0,51	-0,57	0,5818

Resultados considerando 90% de significância ( $p < 0,10$ ). L-linear, Q-quadrática

**Tabela 5. 19.** Análise de variância (ANOVA) para a resposta dureza, considerando todos os parâmetros do modelo

Fonte de Variação	Soma dos Quadrados	Graus de Liberdade	Quadrados Médios	F <sub>calculado</sub>
Regressão	26,78	9	2,98	1,45
Resíduos	16,41	8	2,05	
Total	43,19	17		

$R^2 = 0,62$ ;  $F_{0,90;9;8} = 2,56$



**Figura 5. 6.** Valores experimentais de dureza em função dos valores previstos pelo modelo ajustado

Em salgadinhos expandidos, são desejáveis valores baixos para dureza, embora não haja definição de faixa de valores aceitáveis para estes tipos de produtos (MENDONÇA; KARAM; GROSSMANN, 1998).

Na literatura, verifica-se grande variação nos resultados de dureza para salgadinhos expandidos. Para o de quinoa, o valor variou entre 1,31 e 4,64N (DOGAN; KARWE, 2003), para o de milho entre 14,43 e 28,15N (SCHMIELE, 2009), para o de milho com farelo de maracujá entre 9,36 e 25,73N (LEORO, 2007) e para o de milho com farelo de trigo entre 15 e 47N (FERREIRA, 2006). Desta forma, os valores encontrados nesta pesquisa estão em concordância com a literatura.

Como mostrado na Tabela 5.15., a dureza dos salgadinhos expandidos de milho e quinoa variou de 7,66 a 12,91N. Para efeito de comparação, foram determinadas as durezas de salgadinhos expandidos de milho, de 3 marcas distintas (A, B e C) disponíveis no mercado. Os resultados foram 10,17; 10,35 e 25,14N, respectivamente, para as marcas A, B e C. Verifica-se que a marca C apresentou dureza 2,5 vezes maior do que as marcas A, B e C. Verifica-se que a marca C apresentou dureza 2,5 vezes maior do que as marcas A e B e 2 a 3,5 vezes maior que os salgadinhos obtidos, neste trabalho, nas condições do planejamento experimental. A dureza dos salgadinhos comerciais A e B está contida na faixa obtida pelo planejamento experimental, o que indica que as faixas das variáveis independentes foram escolhidas de maneira adequada, pois resultaram em produtos com característica de dureza próxima a alguns salgadinhos atualmente disponíveis no mercado. Esses valores devem ser considerados apenas como referência, pois os salgadinhos comerciais são aromatizados, contendo gordura e aroma, enquanto os obtidos no planejamento são apenas extrudados, não aromatizados.

### **5.2.2.3. Lisina biodisponível e perda de lisina**

O valor nutricional das proteínas depende de sua digestibilidade, assim como da quantidade e biodisponibilidade dos aminoácidos de sua composição FAO/WHO/UNU (1985).

A lisina, em particular, é um indicador da destruição causada na proteína durante o processamento (ASP; BJORCK, 1998; CAMIRE, 2001; HARPER, 1979). Por este motivo, a análise da lisina biodisponível foi escolhida para avaliar o impacto do processo de extrusão nas proteínas dos salgadinhos expandidos.

No delineamento experimental (Tabela 5.15.), foram obtidos valores de lisina biodisponível de 0,55 a 1,29 gde lisina/100g de proteína. A variação no ponto central foi de 0,68 a 0,80g de lisina/100g de proteína.

Pelo cálculo teórico, baseado no resultado de lisina biodisponível para as farinhas de milho (2,03g de lisina/100g de proteína) e quinoa (3,84g de lisina/100g de proteína), e na composição das misturas de farinhas, foram obtidos os valores de lisina biodisponível apresentados na Tabela 5.20. para as misturas de farinhas de milho e quinoa antes da extrusão.

**Tabela 5. 20.** Valores de lisina biodisponível para proteína das misturas de farinha de milho e quinoa, antes da extrusão

<b>Misturas de farinhas de milho e quinoa</b>	<b>Lisina biodisponível (g/100g proteína)</b>
<b>15% Farinha de quinoa e 85% farinha de milho</b>	2,30
<b>22% Farinha de quinoa e 78% farinha de milho</b>	2,43
<b>32,5% Farinha de quinoa e 67,5% farinha de milho</b>	2,62
<b>43% Farinha de quinoa e 57% farinha de milho</b>	2,81
<b>50% Farinha de quinoa e 50% farinha de milho</b>	2,94

Resultados obtidos pelo cálculo teórico

A perda de lisina (%) foi calculada conforme descrito no item 4.2.1.3.4. Os resultados para cada ponto do delineamento experimental estão apresentados na Tabela 5.15.

Para o delineamento experimental proposto, a perda de lisina variou de 56% a 80%. Esses valores estão próximos aos relatados por Valim e Batistuti (2000), que verificaram perdas de lisina de 55% a 71% ao extrudar farinha desengordurada de grão-de-bico. Porém, em oposição a este resultado, Coulter e Lorenz (1991a) não identificaram perda de lisina ao extrudar misturas de quinoa (10, 20 e 30%) e *grits* de milho.

A redução da disponibilidade de aminoácidos, principalmente de lisina, em processo de extrusão, potencializada em condições severas, foi relatada por diversos autores (ASP; BJORCK, 1998; CAMIRE, 2001; CHEFTEL, 1986; HARPER, 1979; IWE et al., 2004; SINGH; GAMLATH; WAKELING, 2007), sendo atribuída à reação de Maillard, na qual açúcares redutores (glicose, frutose, maltose ou lactose), incluindo aqueles formados pelo cisalhamento do amido, reagem com aminoácidos.

Asp e Bjorck (1998) realizaram uma extensa revisão sobre a perda de lisina. Relataram que vários estudos têm tentado relacionar a perda deste aminoácido aos parâmetros do processo de extrusão, porém há divergências entre os autores sobre o efeito específico de cada parâmetro. Segundo eles, é consenso que com o aumento da temperatura ocorre redução do conteúdo de lisina disponível. Quanto à umidade, a maioria afirma que com sua redução evidencia-se aumento da perda de lisina, porém alguns autores verificaram efeito contrário. Quanto à velocidade da rosca, há ampla divergência de resultados, com aumento da velocidade foi verificada perda de lisina, aumento da retenção e inclusive há quem mencione que não foi verificado efeito algum.

Na Tabela 5.21., são apresentados os coeficientes de regressão para a lisina biodisponível e, na Tabela 5.22., a análise de variância (ANOVA). Verifica-se que apenas a temperatura da 5ª zona do extrusor apresentou efeito significativo a  $p < 0,10$ . Mesmo assim não se deve construir a superfície de resposta, pois  $F_{cal} < F_{tab}$ , o coeficiente de determinação  $R^2$  é baixo (55%) e os resíduos altos (45%), dos quais a maior parte é representada pela falta de ajuste (43%), então o modelo não expressaria os dados experimentais obtidos. Isso é reforçado pela Figura 5.7., que apresenta os resultados experimentais versus os resultados previstos pelo modelo ajustado, mostrando que realmente não há uma boa concordância entre eles.

**Tabela 5. 21.** Coeficientes de regressão para a resposta lisina biodisponível

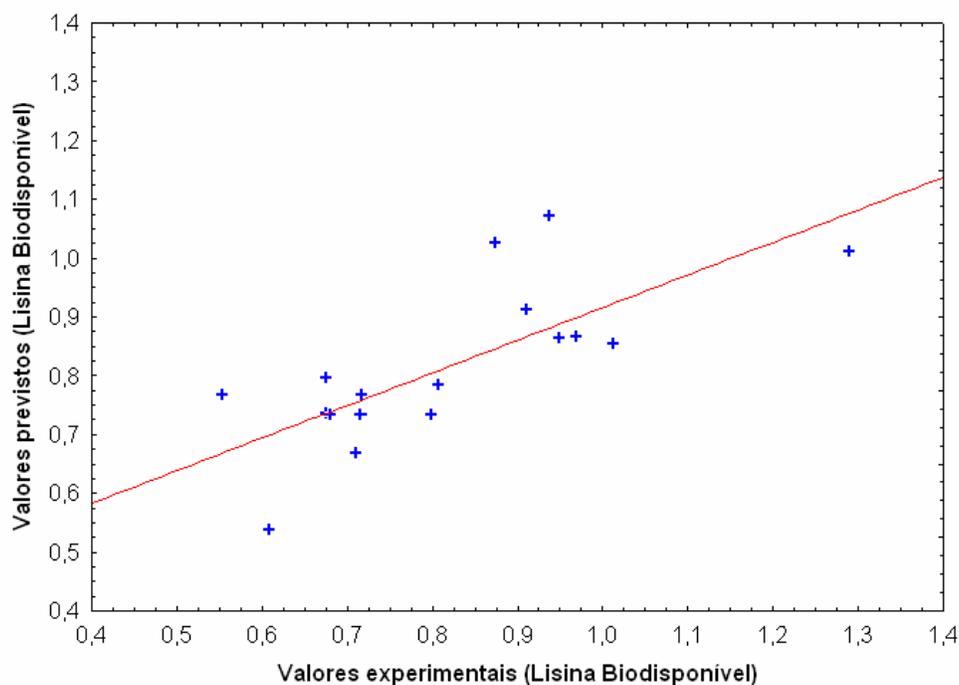
Fatores	Coeficientes de Regressão	Erro padrão	t(8)	p-valor
<b>Média</b>	<b>0,73</b>	<b>0,09</b>	<b>8,48</b>	<b>&lt;0,0001</b>
Umidade (L)	-0,02	0,05	-0,36	0,7247
Umidade (Q)	0,05	0,05	1,08	0,3105
Farinha de quinoa (L)	0,06	0,05	1,36	0,2115
Farinha de quinoa (Q)	0,06	0,05	1,23	0,2534
<b>Temperatura da 5ª zona (L)</b>	<b>0,10</b>	<b>0,05</b>	<b>2,06</b>	<b>0,0731</b>
Temperatura da 5ª zona (Q)	-0,01	0,05	-0,24	0,8153
Umidade (L) X Farinha de quinoa (L)	0,04	0,06	0,59	0,5709
Umidade (L) X Temperatura da 5ª zona (L)	0,00	0,06	0,06	0,9517
Farinha de quinoa (L) X Temperatura da 5ª zona (L)	0,05	0,06	0,84	0,4246

Resultados considerando 90% de significância ( $p < 0,10$ ). L-linear, Q-quadrática

**Tabela 5. 22.** Análise de variância (ANOVA) para a resposta lisina biodisponível, considerando todos os parâmetros do modelo

Fonte de Variação	Soma dos Quadrados	Graus de Liberdade	Quadrados Médios	F <sub>calculado</sub>
Regressão	0,30	9	0,03	1,11
Resíduos	0,24	8	0,03	
Total	0,54	17		

$R^2 = 0,55$ ;  $F_{0,90;9;8} = 2,56$



**Figura 5. 7.** Valores experimentais de lisina biodisponível em função dos valores previstos pelo modelo ajustado

Com isso, dentro da faixa estudada, não foi possível obter um modelo matemático que possibilitasse expressar a quantidade de lisina biodisponível em função das 3 variáveis estudadas: umidade inicial da amostra, quantidade de farinha de quinoa e temperatura da 5ª zona do extrusor.

### **5.2.3. Escolha da melhor condição de processamento**

A aplicação da estratégia seqüencial de planejamentos experimentais visou estabelecer a melhor condição do processo de extrusão para obtenção de salgadinhos com alta expansão, baixa dureza e menor perda de lisina.

Como nas faixas de variação estudadas para umidade (15-20%), teor de farinha de quinoa (15-50%) e temperatura da 5ª zona do extrusor (110-160°C), não foi possível gerar modelos matemáticos válidos que descrevessem a tendência da dureza e da lisina biodisponível, a melhor condição de processamento foi definida considerando apenas a resposta índice de expansão.

De acordo com as superfícies de resposta, apresentadas nas Figuras 5.3, 5.4 e 5.5, os maiores valores de índice de expansão dos salgadinhos extrudados foram obtidos em umidades intermediárias (16 a 19%), ao redor de 17,5%, em baixas concentrações de quinoa, abaixo de 22% e em baixas temperaturas, abaixo de 135°C, dentro das faixas estudadas. Desta forma, foi escolhida como a melhor condição para a produção de salgadinhos expandidos com alta expansão, os parâmetros: (i) 17,5% de umidade inicial da amostra, (ii) adição de 22% de farinha de quinoa, com o intuito de incorporar o máximo possível deste ingrediente, nutricionalmente mais atrativo que o milho, e (iii) temperatura de 110°C na 5ª zona do extrusor, que é a menor temperatura da faixa estudada, com o intuito de economizar energia e reduzir o dano térmico do produto.

#### **5.2.4. Validação do modelo matemático**

A validação do modelo matemático foi realizada no ponto escolhido, com umidade de 17,5% (nível 0), concentração de quinoa de 22% (nível -1) e temperatura da 5ª zona do extrusor de 110°C (nível -1,68).

A validação foi realizada em duplicada, obtendo valor médio experimental para o índice de expansão de  $3,81 \pm 0,14$ , conforme Tabela 5.23. O valor predito pelo modelo foi

3,74, o que indica um desvio de 1,89%, bastante satisfatório, principalmente se for considerada a complexidade do processo de extrusão.

**Tabela 5. 23.** Valor experimental e predito para o índice de expansão

	<b>Índice de expansão (IE)</b>
<b>Valor experimental – 1º processo</b>	3,82 ± 0,14
<b>Valor experimental – 2º processo</b>	3,80 ± 0,14
<b>Média do valor experimental</b>	3,81 ± 0,14
<b>Valor predito <sup>1</sup></b>	3,74
<b>Desvio</b>	1,89%

<sup>1</sup>Valor predito utilizando-se o modelo matemático codificado para o índice de expansão e considerado em relação à média dos valores experimentais do 1º e 2º processos

### **5.2.5. Produção dos salgadinhos expandidos para análise sensorial**

Para a análise sensorial, na melhor condição de processo de extrusão, foram produzidos salgadinhos expandidos com 22% de farinha de quinoa e também com 43% de farinha de quinoa, para avaliação dos resultados sensoriais de um produto com maior incorporação de quinoa e, conseqüentemente, com maior teor de proteínas do que o salgadinho apenas de milho, considerado como padrão.

### **5.2.6. Aromatização dos salgadinhos expandidos**

A substituição de gordura vegetal hydrogenada (22%), normalmente utilizada na aromatização de salgadinhos, por óleo de canola (8%) como fixador de aroma teve por objetivo reduzir a quantidade de gordura saturada e eliminar ácidos graxos *trans*, conforme mencionado por Capriles e Arêas (2005), que sugeriram aromatização com 10%

de óleo. Após a realização de testes preliminares, verificou-se que 8% era uma quantidade adequada de óleo para fixação do aroma e o produto ficaria mais saudável, por apresentar menor quantidade de gordura.

## 5.2.7. Caracterização dos salgadinhos expandidos

### 5.2.7.1. Composição centesimal

A composição centesimal dos salgadinhos expandidos é apresentada na Tabela 5.24.

**Tabela 5. 24.** Composição centesimal dos salgadinhos expandidos de quinoa e milho e apenas milho, não aromatizados e aromatizados (base seca)

Componentes	Salgadinho milho	Salgadinho 22% quinoa	Salgadinho 43% quinoa	Salgadinho milho aromatizado	Salgadinho 22% quinoa aromatizado	Salgadinho 43% quinoa aromatizado
Umidade <sup>1</sup> (%)	5,71 ± 0,24 <sup>a</sup>	5,96 ± 0,04 <sup>a</sup>	5,79 ± 0,29 <sup>a</sup>	5,68 ± 0,30 <sup>a</sup>	5,82 ± 0,10 <sup>a</sup>	5,52 ± 0,13 <sup>a</sup>
Proteína <sup>1</sup> (%)	7,49 ± 0,14 <sup>d</sup>	8,59 ± 0,09 <sup>c</sup>	10,42 ± 0,13 <sup>a</sup>	6,79 ± 0,05 <sup>e</sup>	8,10 ± 0,42 <sup>cd</sup>	9,50 ± 0,31 <sup>b</sup>
Lipídios totais <sup>1</sup> (%)	0,24 ± 0,01 <sup>d</sup>	0,30 ± 0,03 <sup>d</sup>	0,66 ± 0,02 <sup>c</sup>	8,21 ± 0,03 <sup>a</sup>	7,62 ± 0,05 <sup>b</sup>	7,77 ± 0,18 <sup>b</sup>
Cinzas <sup>1</sup> (%)	0,52 ± 0,02 <sup>f</sup>	1,08 ± 0,02 <sup>e</sup>	1,33 ± 0,11 <sup>d</sup>	1,49 ± 0,02 <sup>c</sup>	1,89 ± 0,06 <sup>b</sup>	2,26 ± 0,05 <sup>a</sup>
Fibra alimentar total <sup>1</sup> (%)	5,74 ± 0,16 <sup>a</sup>	5,72 ± 0,13 <sup>a</sup>	5,67 ± 0,14 <sup>ab</sup>	5,46 ± 0,14 <sup>ab</sup>	5,31 ± 0,15 <sup>b</sup>	5,65 ± 0,09 <sup>ab</sup>
Fibra solúvel <sup>1</sup> (%)	0,00 ± 0,00 <sup>c</sup>	0,27 ± 0,02 <sup>b</sup>	0,67 ± 0,02 <sup>a</sup>	0,00 ± 0,00 <sup>c</sup>	0,30 ± 0,12 <sup>b</sup>	0,60 ± 0,02 <sup>a</sup>
Fibra insolúvel <sup>1</sup> (%)	5,74 ± 0,16 <sup>a</sup>	5,45 ± 0,14 <sup>abc</sup>	5,10 ± 0,15 <sup>bcd</sup>	5,46 ± 0,14 <sup>ab</sup>	5,01 ± 0,16 <sup>d</sup>	5,05 ± 0,11 <sup>cd</sup>
Carboidratos <sup>2</sup> (%)	80,30	78,35	76,13	72,37	71,26	69,30

<sup>1</sup>Resultados expressos como média ± desvio padrão das análises em triplicatas. <sup>2</sup>Calculados por diferença: 100 – (umidade + proteína + lipídios totais + cinzas + fibra alimentar total). Fator de conversão de nitrogênio em proteína: (Nx6,25). Médias seguidas por uma mesma letra, na mesma linha, não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey (p<0,05).

Pela Tabela 5.24, nota-se que não houve diferença significativa ( $p < 0,05$ ) de umidade entre os salgadinhos, pois a umidade inicial da amostra, as condições do processo de extrusão e os parâmetros de secagem foram os mesmos para todas as amostras.

Comparando os salgadinhos expandidos não aromatizados, verificou-se que houve diferença significativa ( $p < 0,05$ ) entre os três salgadinhos quanto à proteína, cinzas e fibra solúvel. Esses componentes aumentaram com a adição crescente de farinha de quinoa, isso devido ao teor significativamente superior desses compostos presentes naturalmente na quinoa. Quanto aos lipídios, o salgadinho com 43% de quinoa apresentou quantidade significativamente ( $p < 0,05$ ) superior aos salgadinhos com 22% de quinoa e o de apenas de milho, que não apresentaram diferença entre si, isso também ocorreu porque a farinha de quinoa apresenta em sua composição quantidade maior deste componente do que a farinha de milho. Não houve diferença significativa ( $p < 0,05$ ) de fibra total entre as amostras. Para fibra insolúvel, o salgadinho com 22% de quinoa não apresentou diferença significativa em relação ao salgadinho de milho e ao salgadinho com 43% de quinoa. Este apresentou a menor quantidade, sendo estatisticamente diferente do salgadinho de milho, porque a farinha de quinoa apresenta quantidade significativamente menor desta fibra quando comparado ao milho. Quanto aos carboidratos, houve uma redução do seu teor com o aumento da adição de quinoa. Isso se deve ao fato de ter sido utilizada farinha de quinoa integral.

Os valores de cinzas, proteínas e fibras totais para os salgadinhos apenas de milho e aqueles com adição de quinoa estão de acordo com os relatados por Coulter e Lorenz (1991a), os demais componentes não foram caracterizados por estes autores e também não foram encontrados outros artigos sobre o assunto.

Comparando os salgadinhos aromatizados entre si, observa-se a mesma tendência observada para os salgadinhos não aromatizados, no que diz respeito à proteína, cinzas, fibra solúvel, fibra total e carboidratos. Para fibra insolúvel, o salgadinho aromatizado de milho apresentou quantidade significativamente superior aos demais, que não apresentaram diferença entre si, explicado pelo fato da farinha de milho apresentar em sua composição mais fibra insolúvel do que a farinha de quinoa. Quanto ao teor de lipídios, o salgadinho de milho apresentou quantidade significativamente superior se comparado aos salgadinhos de quinoa, isso pode ter ocorrido devido à diferença nas perdas de óleo e aroma durante o processo de aromatização, pois, em princípio, as quantidades deste componente deveriam ser próximas para todas as amostras com aroma.

Os salgadinhos aromatizados apresentaram cerca de 8 pontos percentuais a mais de lipídios e 1 ponto percentual a mais de cinzas do que os salgadinhos não aromatizados, quantidades estas significativamente superiores ( $p < 0,05$ ). O aumento dos lipídios é explicado pela adição de 8% de óleo de canola para fixação do aroma. O aumento de cinzas se deve a incorporação do aroma nos salgadinhos.

#### **5.2.7.2. Análise de cor**

Os resultados da análise de cor dos salgadinhos são apresentados na Tabela 5.25.

Os salgadinhos tem tom amarelo e sub-tom vermelho, pois apresentaram valores positivos para os parâmetros de cor  $b^*$  e  $a^*$ , respectivamente.

**Tabela 5. 25.** Luminosidade L\* e parâmetros de cor a\* e b\* dos salgadinhos expandidos de quinoa e milho e apenas milho, não aromatizados e aromatizados

Salgadinhos expandidos	L*	a*	b*	$\Delta E^*$
<b>Salgadinho de milho</b>	74,68 ± 0,12 <sup>a</sup>	6,29 ± 0,13 <sup>c</sup>	32,24 ± 0,78 <sup>b</sup>	-
<b>Salgadinho 22% quinoa</b>	73,54 ± 0,26 <sup>b</sup>	6,47 ± 0,11 <sup>cb</sup>	29,85 ± 0,18 <sup>d</sup>	2,78
<b>Salgadinho 43% quinoa</b>	72,23 ± 0,16 <sup>c</sup>	6,56 ± 0,11 <sup>b</sup>	28,56 ± 0,15 <sup>e</sup>	4,43
<b>Salgadinho milho aromatizado</b>	68,38 ± 0,14 <sup>d</sup>	7,92 ± 0,19 <sup>a</sup>	35,18 ± 0,13 <sup>a</sup>	-
<b>Salgadinho 22% quinoa aromatizado</b>	66,69 ± 0,25 <sup>e</sup>	8,16 ± 0,04 <sup>a</sup>	32,29 ± 0,27 <sup>b</sup>	3,35
<b>Salgadinho 43% quinoa aromatizado</b>	67,06 ± 0,07 <sup>e</sup>	7,93 ± 0,07 <sup>a</sup>	30,32 ± 0,10 <sup>c</sup>	5,03

Resultados expressos como média ± desvio padrão das análises em quadruplicatas. Médias seguidas por uma mesma letra, na mesma coluna, não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).  $\Delta E^*$  foi calculado através da seguinte fórmula:  $\Delta E^* = ((\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2)^{1/2}$ , considerando os salgadinhos de milho e milho aromatizado, respectivamente como padrão para os salgadinhos extrudados de quinoa sem e com aroma.

Quanto à luminosidade (L\*), nos salgadinhos não aromatizados, o salgadinho de milho apresentou maior valor de L\*, verificou-se que com a adição de farinha de quinoa, os valores de L\* diminuíram, indicando escurecimento do produto. Para os salgadinhos aromatizados, não foi verificada diferença significativa de luminosidade (L\*) entre os salgadinhos com 22 e 43% de quinoa, porém ambos são significativamente ( $p < 0,05$ ) mais escuros que os salgadinhos apenas de milho. A farinha de quinoa se mostrou mais clara que a de milho (Tabela 5.3.), o maior escurecimento dos produtos com quinoa após a extrusão pode ter ocorrido devido à reação de escurecimento não-enzimática, conhecida como reação de Maillard, favorecida pelas condições de baixa umidade e altas

temperaturas da extrusão (BERSET, 1998) e, provavelmente, facilitadas pelo maior teor protéico da quinoa.

Quanto ao parâmetro  $a^*$ , o salgadinho não aromatizado de milho e o salgadinho com 43% de quinoa apresentaram diferença significativa ( $p < 0,05$ ), porém são estatisticamente iguais ao salgadinho com 22% de quinoa. Os resultados estão mais próximos aos obtidos para a farinha de milho ( $a^* = 6,25$ ) do que para farinha de quinoa ( $a^* = 0,24$ ), o que faz sentido, pois a maior parte da composição dos extrudados é de milho. O valor significativamente ( $p < 0,05$ ) superior encontrado para o salgadinho com 43% quinoa, em relação ao apenas de milho, pode ser explicado pela ocorrência, durante a extrusão, de reações que culminam em alterações de cor, essas reações ocorrem com intensidades diferentes, conforme a composição química das matérias-primas.

Para os salgadinhos aromatizados, não foi verificada diferença no parâmetro  $a^*$  entre as amostras, porém todos apresentaram maior intensidade no parâmetro  $a^*$  do que os salgadinhos não aromatizados. Isso é explicado pela alteração da cor promovida pela aspersão da mistura óleo e aroma nos produtos.

Quanto ao parâmetro  $b^*$ , os salgadinhos não aromatizados apresentaram diferença significativa ( $p < 0,05$ ) entre si. Com o aumento da adição de quinoa, ocorreu redução do valor de  $b^*$ . Isso porque a farinha de quinoa apresentou menor intensidade do parâmetro  $b^*$  que a farinha de milho, com valores de 13,71 e 31,27 respectivamente, conforme Tabela 5.3. Para os salgadinhos aromatizados, foi verificada diferença significativa ( $p < 0,05$ ) entre as amostras, seguindo a mesma tendência dos não aromatizados, o aumento do teor de quinoa reduziu a intensidade do amarelo nos produtos.

Leoro (2007), ao extrudar farinha de milho com umidade de 23% à temperatura de 140°C, obteve valores de  $L^* = 68,26$ ,  $a^* = 3,56$  e  $b^* = 30,95$ . Ferreira (2006) reportou

$L^*=60,59$  para farinha de milho extrudada com 23% de umidade à temperatura de 130°C. Estes valores são inferiores aos encontrados nesta pesquisa, em cerca de 9 a 18% para  $L^*$  e 4% para  $a^*$  e  $b^*$ , na qual a farinha de milho foi extrudada com 17,5% de umidade a 110°C na 5ª zona do extrusor.

De modo geral, a adição da farinha de quinoa ao salgadinho à base de milho promoveu redução dos parâmetros  $L^*$  e  $b^*$ , ou seja, os produtos ficaram mais escuros e com menor intensidade do amarelo ( $b^*$ ) e aumento do parâmetro  $a^*$ .

Com a aromatização, ocorreu redução do parâmetro  $L^*$  e aumento dos valores dos parâmetros  $a^*$  e  $b^*$ , ou seja, a aspensão da mistura óleo e aroma ocasionou escurecimento e intensificação da tonalidade amarelada e avermelhada dos salgadinhos.

Pelo valor  $\Delta E^*$ , que expressa a variação de cor de um produto em comparação ao seu padrão, verificou-se que o aumento da incorporação de quinoa, de 22 para 43%, resultou em aumento da diferença de cor em relação aos salgadinhos de milho (padrão). A mesma tendência foi constatada para os salgadinhos sem aroma e para os aromatizados. Essa diferença de cor não foi considerada significativa para os salgadinhos aromatizados com 22% de quinoa, conforme resultados da análise sensorial (item 5.2.8.), porém reduziu a aceitação dos salgadinhos aromatizados com 43% de quinoa.

### **5.2.7.3. Dureza**

Os resultados da análise de dureza dos salgadinhos são apresentados na Tabela 5.26.

**Tabela 5. 26.** Dureza dos salgadinhos expandidos de quinoa e milho e apenas milho, não aromatizados, aromatizados e também dos salgadinhos comerciais de milho

<b>Salgadinhos expandidos</b>	<b>Dureza (N)</b>
<b>Salgadinho de milho</b>	13,83 ± 1,28 <sup>cd</sup>
<b>Salgadinho 22% quinoa</b>	12,82 ± 1,59 <sup>d</sup>
<b>Salgadinho 43% quinoa</b>	11,95 ± 1,56 <sup>de</sup>
<b>Salgadinho milho aromatizado</b>	18,96 ± 1,42 <sup>b</sup>
<b>Salgadinho 22% quinoa aromatizado</b>	20,21 ± 1,71 <sup>b</sup>
<b>Salgadinho 43% quinoa aromatizado</b>	15,71 ± 2,04 <sup>c</sup>
<b>Salgadinho comercial de milho – Marca A</b>	10,17 ± 1,31 <sup>e</sup>
<b>Salgadinho comercial de milho – Marca B</b>	10,35 ± 1,68 <sup>e</sup>
<b>Salgadinho comercial de milho – Marca C</b>	25,14 ± 2,22 <sup>a</sup>

Resultados expressos como média ± desvio padrão de 20 replicatas. Médias seguidas por uma mesma letra não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

Conforme Tabela 5.26., verifica-se que não houve diferença significativa ( $p < 0,05$ ) de dureza entre os salgadinhos não aromatizados. Esses valores estão em concordância com a dureza encontrada para salgadinhos expandidos de milho com farelo de maracujá entre 9,36 e 25,73N (LEORO, 2007) e para o de milho com farelo de trigo entre 15 e 47N (FERREIRA, 2006).

Quanto aos salgadinhos aromatizados, observa-se que a dureza do salgadinho com 43% de quinoa é significativamente ( $p < 0,05$ ) inferior ao com 22% de quinoa e ao salgadinho apenas de milho, que não apresentaram diferença significativa entre si. Ferreira (2006) também observou redução da dureza de salgadinhos expandidos de milho com o aumento do teor de farelo de trigo, em condições de baixa umidade.

A dureza dos salgadinhos comerciais das marcas A e B são estatisticamente iguais e significativamente ( $p < 0,05$ ) menores do que a dureza do salgadinho C.

De modo geral, os salgadinhos aromatizados apresentaram dureza superior (de 31 a 58%) aos não aromatizados, isso pode ter ocorrido por dois motivos: (i) em decorrência do processo de aromatização, devido à adição de uma camada de óleo e aroma para recobrir os produtos; e/ou também (ii) pelo fato da dureza dos aromatizados ter sido medida seis dias após a extrusão, enquanto a dureza dos não aromatizados foi medida um dia após o processamento.

Os salgadinhos aromatizados, obtidos nesta pesquisa, apresentaram valores de dureza intermediários, entre o valor mínimo de 10,17N e o valor máximo de 25,14N, apresentados pelos salgadinhos comerciais. Portanto, as condições do processo de extrusão e aromatização foram escolhidas adequadamente, pois permitiram a obtenção de produtos com textura similar aos disponíveis no mercado, que, portanto tem aceitação reconhecida pelos consumidores. Esse fato é ainda mais relevante, pois a dureza é um dos parâmetros mais importantes na avaliação de salgadinhos expandidos (ANTON; LUCIANO, 2007).

#### **5.2.7.4. Índice de expansão**

Os resultados do índice de expansão dos salgadinhos são apresentados na Tabela 5.27.

A adição de farinha de quinoa causou redução do índice de expansão dos salgadinhos expandidos, quanto maior o teor de farinha de quinoa, menor foi o índice de expansão, conforme Tabela 5.27. Coulter e Lorenz (1991b) também evidenciaram que a adição crescente de 10 a 30% de quinoa reduziu a expansão em salgadinhos de milho, conforme mencionado anteriormente.

**Tabela 5. 27.** Índice de expansão dos salgadinhos expandidos de quinoa e milho e apenas milho, produzidos na melhor condição de processamento

<b>Salgadinhos expandidos</b>	<b>Índice de expansão</b>
<b>Salgadinho de milho</b>	4,12 ± 0,12 <sup>a</sup>
<b>Salgadinho 22% quinoa</b>	3,82 ± 0,14 <sup>b</sup>
<b>Salgadinho 43% quinoa</b>	3,38 ± 0,13 <sup>c</sup>

Resultados expressos como média ± desvio padrão de 20 replicatas. Médias seguidas por uma mesma letra não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey (p<0,05).

#### **5.2.7.5. Diâmetro dos salgadinhos expandidos**

Os diâmetros dos salgadinhos expandidos são apresentados na Tabela 5.28.

**Tabela 5. 28.** Diâmetro dos salgadinhos expandidos de quinoa e milho e apenas milho aromatizados e dos salgadinhos comerciais

<b>Salgadinhos expandidos</b>	<b>Diâmetro dos salgadinhos</b>
<b>Salgadinho de milho aromatizado</b>	12,37 ± 0,59 <sup>ab</sup>
<b>Salgadinho 22% quinoa aromatizado</b>	11,46 ± 0,40 <sup>c</sup>
<b>Salgadinho 43% quinoa aromatizado</b>	10,13 ± 0,43 <sup>d</sup>
<b>Salgadinho comercial de milho – Marca A</b>	12,82 ± 0,74 <sup>a</sup>
<b>Salgadinho comercial de milho – Marca B</b>	12,13 ± 0,66 <sup>b</sup>
<b>Salgadinho comercial de milho – Marca C</b>	12,62 ± 0,45 <sup>ab</sup>

Resultados expressos como média ± desvio padrão de 20 replicatas. Médias seguidas por uma mesma letra não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey (p<0,05).

O salgadinho de milho aromatizado não apresentou diferença significativa (p<0,05) em relação às três marcas de salgadinhos comerciais de milho. Isto indica que a condição

escolhida para o processo de extrusão, através do planejamento experimental, foi adequada e produziu salgadinhos similares aos disponíveis no mercado.

O aumento da adição de farinha de quinoa causou redução do diâmetro dos salgadinhos, resultado esperado, pois a mesma tendência ocorreu no índice de expansão e o diâmetro é diretamente proporcional ao índice de expansão.

#### **5.2.7.6. Avaliação nutricional dos salgadinhos expandidos na melhor condição do processo de extrusão**

##### **5.2.7.6.1. Digestibilidade protéica *in vitro***

A digestibilidade protéica apresentou diferença significativa ( $p < 0,05$ ) entre os salgadinhos expandidos (Tabela 5.29). O aumento do teor de farinha de quinoa adicionada gerou redução significativa na disponibilidade das proteínas. Este mesmo efeito foi comprovado por Coulter e Lorenz (1991a).

**Tabela 5. 29.** Digestibilidade proteína *in vitro* dos salgadinhos expandidos apenas de milho e com incorporação de 22 e 43% de farinha de quinoa

<b>Salgadinhos expandidos</b>	<b>Digestibilidade protéica <i>in vitro</i> (%)</b>
<b>Salgadinho milho</b>	97,53 ± 0,45 <sup>a</sup>
<b>Salgadinho 22% quinoa</b>	90,43 ± 0,56 <sup>b</sup>
<b>Salgadinho 43% quinoa</b>	82,03 ± 0,74 <sup>c</sup>

Resultados expressos como média ± desvio padrão das análises em triplicatas. Médias seguidas por uma mesma letra não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

Pelo cálculo teórico, baseado no resultado da digestibilidade protéica *in vitro* das farinhas de quinoa e milho (Tabela 5.6.) e na composição das misturas de farinhas, foram

obtidos os valores de digestibilidade apresentados na Tabela 5.30. para as misturas de farinhas de milho e quinoa antes da extrusão.

Comparando a digestibilidade protéica *in vitro* dos salgadinhos expandidos (Tabela 5.29.) com as farinhas antes da extrusão (Tabela 5.30.), constata-se que o processo de extrusão provocou redução significativa na digestibilidade protéica, em todos os casos estudados, em concordância com o reportado por Coulter e Lorenz (1991a). Essa redução foi de 2% para o salgadinho de milho, 4% para o salgadinho de milho com 22% de quinoa e 8% para o salgadinho de milho com 43% de quinoa.

**Tabela 5. 30.** Digestibilidade proteína *in vitro* das misturas de farinhas de milho e quinoa (0, 22 e 43%)

<b>Farinhas</b>	<b>Digestibilidade protéica <i>in vitro</i> (%)</b>
<b>Mistura 0% farinha de quinoa e 100% farinha de milho</b>	99,08
<b>Mistura 22% farinha de quinoa e 78% farinha de milho</b>	93,94
<b>Mistura 43% farinha de quinoa e 57% farinha de milho</b>	89,03

Resultados obtidos através de cálculo teórico.

Durante a extrusão, provavelmente, ocorreram reações e ou interações das proteínas com outros componentes do produto, como lipídios e carboidratos, que fizeram com que a proteína estivesse menos disponível para a hidrólise enzimática, resultando conseqüentemente, em menor digestibilidade protéica. Normalmente, estas transformações ocorrem em condições severas do processo (ASP; BJORCK, 1998; COULTER; LORENZ, 1991a; SGARBIERI, 1996).

### 5.2.7.6.2. Aminoácidos totais

Pela Tabela 5.31., observa-se que a adição de farinha de quinoa nos salgadinhos expandidos causou aumento significativo ( $p < 0,05$ ) nos aminoácidos: ácido aspártico, serina, glicina, arginina, treonina, cisteína, isoleucina, lisina e triptofano, sendo que os últimos cinco são aminoácidos essenciais. Não foi evidenciada diferença significativa ( $p < 0,05$ ) entre todas as amostras para os aminoácidos essenciais: histinina, valina, metionina e fenilalanina.

**Tabela 5. 31.** Aminograma dos salgadinhos expandidos apenas de milho e com incorporação de 22 e 43% de farinha de quinoa

Aminoácidos (g/100g de proteína)	Salgadinho milho	Salgadinho 22% quinoa	Salgadinho 43% quinoa
Lisina <sup>1</sup>	2,07 ± 0,08 <sup>c</sup>	3,33 ± 0,04 <sup>b</sup>	4,02 ± 0,05 <sup>a</sup>
Histidina <sup>1</sup>	3,05 ± 0,10 <sup>a</sup>	2,97 ± 0,24 <sup>a</sup>	3,15 ± 0,05 <sup>a</sup>
Treonina <sup>1</sup>	3,67 ± 0,16 <sup>b</sup>	4,13 ± 0,05 <sup>a</sup>	4,18 ± 0,03 <sup>a</sup>
Valina <sup>1</sup>	5,17 ± 0,07 <sup>a</sup>	5,15 ± 0,10 <sup>a</sup>	5,26 ± 0,03 <sup>a</sup>
Cisteína <sup>1</sup>	0,47 ± 0,00 <sup>c</sup>	0,53 ± 0,01 <sup>a</sup>	0,48 ± 0,00 <sup>b</sup>
Metionina <sup>1</sup>	2,64 ± 0,03 <sup>a</sup>	2,62 ± 0,28 <sup>a</sup>	2,43 ± 0,17 <sup>a</sup>
Isoleucina <sup>1</sup>	3,47 ± 0,08 <sup>c</sup>	3,64 ± 0,04 <sup>b</sup>	3,86 ± 0,05 <sup>a</sup>
Leucina <sup>1</sup>	12,93 ± 0,21 <sup>a</sup>	11,06 ± 0,14 <sup>b</sup>	9,72 ± 0,09 <sup>c</sup>
Fenilalanina <sup>1</sup>	4,66 ± 0,05 <sup>a</sup>	4,66 ± 0,06 <sup>a</sup>	4,66 ± 0,03 <sup>a</sup>
Tirosina <sup>1</sup>	3,88 ± 0,04 <sup>a</sup>	3,77 ± 0,09 <sup>ab</sup>	3,71 ± 0,02 <sup>b</sup>
Triptofano <sup>1</sup>	0,47 ± 0,00 <sup>c</sup>	0,75 ± 0,08 <sup>b</sup>	0,92 ± 0,07 <sup>a</sup>
Arginina	4,81 ± 0,05 <sup>c</sup>	6,62 ± 0,09 <sup>b</sup>	7,85 ± 0,15 <sup>a</sup>
Serina	4,91 ± 0,04 <sup>b</sup>	5,06 ± 0,07 <sup>ab</sup>	5,18 ± 0,08 <sup>a</sup>
Prolina	11,23 ± 0,12 <sup>a</sup>	9,01 ± 0,06 <sup>b</sup>	7,53 ± 0,05 <sup>c</sup>
Ácido aspártico	5,48 ± 0,19 <sup>c</sup>	6,61 ± 0,38 <sup>b</sup>	7,65 ± 0,11 <sup>a</sup>
Ácido glutâmico	19,04 ± 0,10 <sup>a</sup>	18,25 ± 0,10 <sup>b</sup>	17,69 ± 0,12 <sup>c</sup>
Glicina	3,98 ± 0,05 <sup>c</sup>	4,71 ± 0,04 <sup>b</sup>	5,26 ± 0,03 <sup>a</sup>
Alanina	8,07 ± 0,18 <sup>a</sup>	7,11 ± 0,16 <sup>b</sup>	6,45 ± 0,04 <sup>c</sup>

Resultados expressos como média ± desvio padrão das análises em triplicatas. Médias seguidas por uma mesma letra, na mesma linha, não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

<sup>1</sup> Aminoácidos essenciais.

Foi verificada redução significativa ( $p < 0,05$ ) de alguns aminoácidos, devido à adição de farinha de quinoa, sendo eles: ácido glutâmico, alanina, prolina, tirosina e

leucina, dos quais apenas o último é um aminoácido essencial. Isso é explicado pelo menor teor destes aminoácidos na farinha de quinoa, com exceção da tirosina que não apresentou diferença significativa ( $p < 0,05$ ) entre as farinhas, conforme Tabela 5.7.

Pelo cálculo teórico, baseado no resultado dos aminogramas das farinhas de quinoa e milho (Tabela 5.7.) e na composição das misturas de farinhas, foram obtidos os valores dos aminogramas apresentados na Tabela 5.32. para as misturas de farinhas de milho e quinoa antes da extrusão.

**Tabela 5. 32.** Aminograma das misturas de farinhas de milho e quinoa (0, 22 e 43%)

<b>Aminoácidos (g/100g de proteína)</b>	<b>Mistura 0% farinha de quinoa e 100% farinha de milho</b>	<b>Mistura 22% farinha de quinoa e 78% farinha de milho</b>	<b>Mistura 43% farinha de quinoa e 57% farinha de milho</b>
Lisina <sup>1</sup>	2,30	3,15	3,97
Histidina <sup>1</sup>	3,26	3,25	3,23
Treonina <sup>1</sup>	3,43	3,52	3,61
Valina <sup>1</sup>	5,04	5,10	5,15
Cisteína <sup>1</sup>	0,91	1,16	1,06
Metionina <sup>1</sup>	2,42	2,31	2,20
Isoleucina <sup>1</sup>	3,76	3,92	4,04
Leucina <sup>1</sup>	12,73	11,51	10,34
Fenilalanina <sup>1</sup>	4,69	4,63	4,58
Tirosina <sup>1</sup>	3,96	3,91	3,87
Triptofano <sup>1</sup>	0,29	0,46	0,62
Arginina	5,13	6,62	8,04
Serina	4,99	5,02	5,05
Prolina	10,50	9,12	7,80
Ácido aspártico	5,52	6,36	7,15
Ácido glutâmico	19,40	18,73	18,08
Glicina	3,77	4,28	4,75
Alanina	7,88	7,33	6,81

Resultados obtidos através de cálculo teórico. <sup>1</sup>Aminoácidos essenciais.

Ao comparar as Tabelas 5.31. e 5.32. para análise do efeito do processo de extrusão sobre os aminoácidos, verificam-se perdas consideráveis (48 a 55%) de cisteína. Para os demais aminoácidos não ocorreram perdas ou estas foram de no máximo 10%.

Coulter e Lorenz (1991a) não evidenciaram perda de lisina, em processo de extrusão de farinha de milho e quinoa (10 a 30%) com temperatura máxima do extrusor de 146°C. Esses autores também determinaram o aminograma por análise cromatográfica.

Tanto os salgadinhos de milho quanto aqueles com adição de quinoa apresentaram aminoácidos limitantes (Tabela 5.33). Para o salgadinho de milho, os aminoácidos limitantes são lisina, treonina, metionina + cisteína, isoleucina e triptofano. Os salgadinhos expandidos com 22 e 43% apresentaram como aminoácidos limitantes: lisina, metionina + cisteína, isoleucina e triptofano. Para todos os produtos, a lisina é o aminoácido mais limitante.

**Tabela 5. 33.** Aminoácidos essenciais para proteína dos salgadinhos de milho e quinoa (22% e 43%) e padrão FAO/WHO (1973)

<b>Aminoácidos (g/100g de proteína)</b>	<b>Aminoácidos padrão FAO/WHO (1973)</b>	<b>Salgadinho milho</b>	<b>Salgadinho 22% quinoa</b>	<b>Salgadinho 43% quinoa</b>
Lisina	5,50	2,07 *	3,33 *	4,02 *
Histidina	--	3,05	2,97	3,15
Treonina	4,00	3,67 *	4,13	4,18
Valina	5,00	5,17	5,15	5,26
Metionina + Cisteína	3,50	3,11 *	3,15 *	2,91 *
Isoleucina	4,00	3,47 *	3,64 *	3,86 *
Leucina	7,00	12,93	11,06	9,72
Fenilalanina + Tirosina	6,00	8,54	8,43	8,37
Triptofano	1,00	0,47 *	0,75 *	0,92 *

<sup>1</sup>Resultados expressos como média. <sup>2</sup>Valores obtidos da FAO/WHO (1973) Aminoácidos limitantes

Conclui-se que a adição de quinoa melhora o valor nutricional dos salgadinhos, pois a treonina deixa de ser um aminoácido limitante e os valores de lisina, isoleucina e triptofano são aumentados. Para se obter um melhor resultado, seria necessário aumentar o teor de quinoa adicionada ao milho, porém isto teria um impacto grande na aceitação do

produto. Como será apresentado na análise sensorial, o aumento do teor de quinoa reduz a aceitação dos produtos, sendo que Coulter e Lorenz (1991a) também verificaram este efeito.

#### **5.2.7.6.3. Lisina biodisponível e perda de lisina**

Os salgadinhos expandidos de milho e com incorporação de 22 e 43% apresentam diferença significativa ( $p < 0,05$ ) no teor de lisina biodisponível (Tabela 5.34.). A quantidade de lisina disponível aumenta com a crescente adição de farinha de quinoa. Com 22% de farinha de quinoa, o salgadinho expandido apresentou aumento de 60% no teor de lisina biodisponível, em relação ao salgadinho apenas de milho. O salgadinho com 43% de quinoa apresentou aumento de 91% no teor de lisina biodisponível em relação ao salgadinho apenas de milho.

**Tabela 5. 34.** Lisina biodisponível dos salgadinhos expandidos apenas de milho e com incorporação de 22 e 43% de farinha de quinoa

<b>Salgadinhos expandidos</b>	<b>Lisina biodisponível (g/100g proteína)</b>
<b>Salgadinho milho</b>	0,78 ± 0,04 <sup>c</sup>
<b>Salgadinho 22% quinoa</b>	1,25 ± 0,03 <sup>b</sup>
<b>Salgadinho 43% quinoa</b>	1,49 ± 0,05 <sup>a</sup>

Resultados expressos como média ± desvio padrão das análises em triplicatas. Médias seguidas por uma mesma letra, não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

Pelo cálculo teórico, baseado no resultado de lisina biodisponível para as farinhas de milho (2,03g de lisina/100g de proteína) e quinoa (3,84g de lisina/100g de proteína), conforme Tabela 5.9., e na composição das misturas de farinhas, foram obtidos os

valores de lisina biodisponível apresentados na Tabela 5.35 para as misturas de farinhas de milho e quinoa antes da extrusão.

**Tabela 5. 35.** Lisina biodisponível das misturas de farinhas de milho e quinoa (0, 22 e 43%)

<b>Farinhas</b>	<b>Lisina biodisponível (g/100g proteína)</b>
<b>Mistura 0% farinha de quinoa e 100% farinha de milho</b>	2,03
<b>Mistura 22% farinha de quinoa e 78% farinha de milho</b>	2,43
<b>Mistura 43% farinha de quinoa e 57% farinha de milho</b>	2,81

Resultados obtidos por cálculo teórico

Comparando os valores de lisina biodisponível para as farinhas e para os salgadinhos expandidos (Tabelas 5.34 e 5.35.), obtidos pelo processo de extrusão, são verificadas as perdas de 62% para o salgadinho de milho, 49% para o salgadinho com 22% de quinoa e 47% de perda para o salgadinho com 43% de quinoa (Tabela 5.36.). Em concordância com essa pesquisa, Valim e Batistuti (2000) obtiveram perdas de lisina de 55% a 71% ao extrudar farinha desengordurada de grão-de-bico.

**Tabela 5. 36.** Perda de lisina dos salgadinhos expandidos apenas de milho e com incorporação de 22 e 43% de farinha de quinoa

<b>Salgadinhos expandidos</b>	<b>Perda de lisina</b>
<b>Salgadinho milho</b>	62%
<b>Salgadinho 22% quinoa</b>	49%
<b>Salgadinho 43% quinoa</b>	47%

Resultados obtidos por cálculo teórico

As perdas de lisina foram expressivas, porém a incorporação da farinha de quinoa ao milho além de aumentar o teor de lisina biodisponível, reduziu sua perda durante o

processamento. Essa tendência também foi observada por Chauhan, Verma e Bains (1998) nos extrudados de arroz em comparação aos extrudados com incorporação de 25% de farinha de soja, que relatou um aumento no teor de lisina de 54%. A perda de lisina devido ao processo foi de 10% para o extrudado de arroz e 5,6% para o da mistura arroz/soja (75:25).

### **5.2.8. Análise sensorial**

Os resultados do teste de aceitação (expressos como média das notas de 55 provadores) para os salgadinhos expandidos estão apresentados na Tabela 5.37. Não houve diferença significativa ( $p < 0,05$ ) entre o salgadinho expandido de milho e o com incorporação de 22% de quinoa para todos os atributos, o que indica que este nível de incorporação de quinoa é viável do ponto de vista sensorial, pois não é estatisticamente perceptível pelo consumidor.

O salgadinho expandido de milho com 43% de quinoa apresentou valores significativamente menores ( $p < 0,05$ ) do que os demais salgadinhos expandidos para os atributos aceitação global, aparência, cor e sabor, indicando uma menor aceitação do produto. Isto pode ser atribuído à incorporação da farinha de quinoa ao milho, que acarreta redução da expansão, escurecimento e sabor residual ao produto. Estas características são intensificadas com o aumento da quantidade de quinoa adicionada.

Quando os provadores foram solicitados a comentar o que mais gostaram no produto, a crocância foi o atributo mais citado, representando 38% do total das citações para o salgadinho de milho, 44% para o salgadinho com 22% de quinoa e 55% para o salgadinho com 43% de quinoa. Conforme Tabela 5.37., verifica-se que não houve

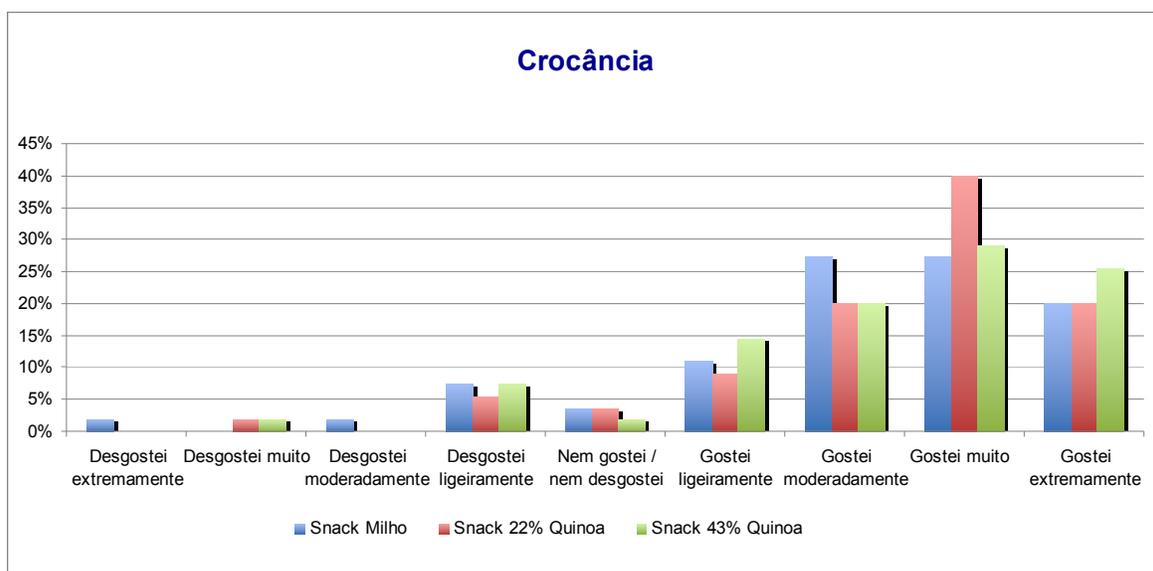
diferença significativa ( $p < 0,05$ ) entre os salgadinhos expandidos e que as maiores médias foram para este atributo, sendo classificado entre gostei moderadamente e gostei muito, o que representa grande aceitação. Este resultado condiz com o citado pela literatura: em análise sensorial de salgadinhos expandidos, obtidos pela extrusão de *grits* de milho com farinha de quinoa (20 e 30%), a crocância foi mencionada como a característica mais apreciada pelos provadores (COULTER; LORENZ, 1991a).

**Tabela 5. 37.** Teste de aceitação sensorial para os salgadinhos expandidos

<b>Atributos</b>	<b>Salgadinho de milho</b>	<b>Salgadinho 22% quinoa</b>	<b>Salgadinho 43% quinoa</b>
<b>Aparência</b>	7,09 ± 1,59 <sup>a</sup>	6,89 ± 1,65 <sup>a</sup>	5,96 ± 1,90 <sup>b</sup>
<b>Cor</b>	7,45 ± 1,24 <sup>a</sup>	7,00 ± 1,59 <sup>a</sup>	5,78 ± 1,99 <sup>b</sup>
<b>Odor</b>	6,80 ± 1,39 <sup>a</sup>	6,93 ± 1,56 <sup>a</sup>	6,67 ± 1,71 <sup>a</sup>
<b>Sabor</b>	6,47 ± 1,70 <sup>a</sup>	5,87 ± 1,89 <sup>a</sup>	4,91 ± 2,34 <sup>b</sup>
<b>Dureza</b>	6,58 ± 2,01 <sup>a</sup>	6,87 ± 1,87 <sup>a</sup>	6,85 ± 1,87 <sup>a</sup>
<b>Crocância</b>	7,09 ± 1,72 <sup>a</sup>	7,38 ± 1,51 <sup>a</sup>	7,31 ± 1,61 <sup>a</sup>
<b>Aceitação global</b>	6,45 ± 1,51 <sup>a</sup>	6,36 ± 1,59 <sup>a</sup>	5,27 ± 2,11 <sup>b</sup>

Resultados expressos como média ± desvio padrão dos atributos de análise sensorial de 55 provadores. Médias seguidas por uma mesma letra, na mesma linha, não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). As médias variam entre 1 e 9 (1= desgostei extremamente e 9 = gostei extremamente).

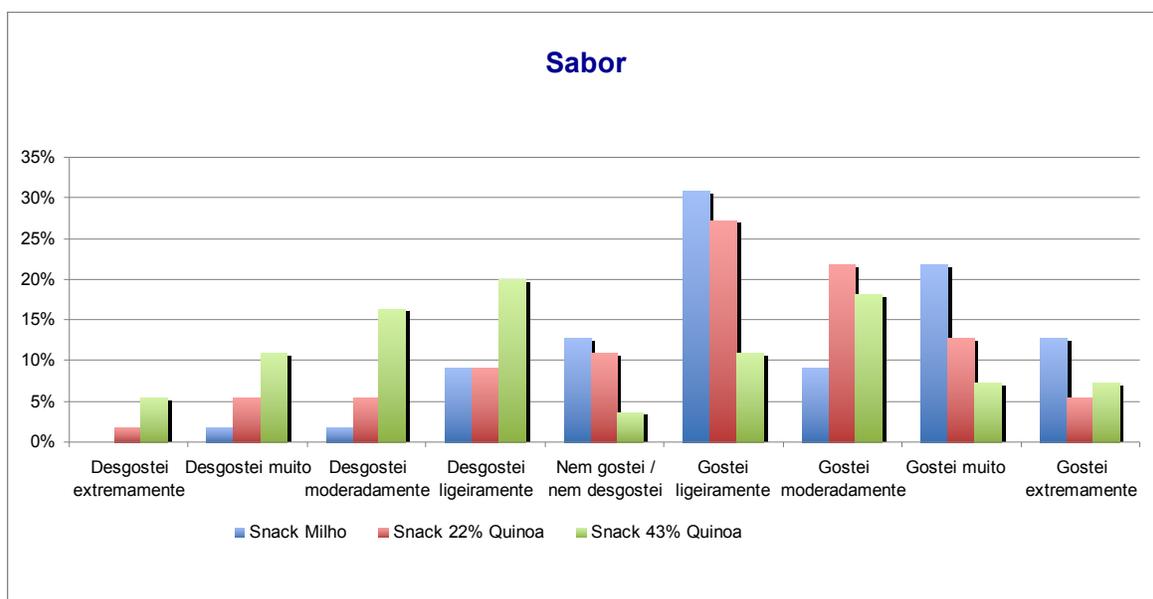
Na Figura 5.8, está apresentada a distribuição das notas para crocância. A quantidade de provadores que atribuíram nota igual ou superior a 7 (gostei moderadamente) foi de 74, 80 e 74%, respectivamente, para o salgadinho expandido de milho, o com incorporação de 22% de quinoa e 43% de quinoa.



**Figura 5. 8.** Distribuição das notas de análise sensorial para crocância

As menores médias foram verificadas para o atributo sabor (na Tabela 5.37.), nota-se que não houve diferença significativa ( $p < 0,05$ ) entre os salgadinhos expandidos de milho e o com incorporação de 22% de quinoa. O salgadinho com 43% de quinoa apresentou resultado estatisticamente ( $p < 0,05$ ) inferior em relação aos demais, sendo classificado, como nem gostei e nem desgostei.

Na Figura 5.9, está apresentada a distribuição das notas para sabor. Verifica-se que, a quantidade de provadores que atribuíram nota igual ou superior a 7 (gostei moderadamente) foi de 44, 40 e 32%, respectivamente, para os salgadinhos expandidos de milho, com incorporação de 22% de quinoa e 43% de quinoa, demonstrando baixa aceitação.



**Figura 5. 9.** Distribuição das notas de análise sensorial para sabor

Quando os provadores foram solicitados a comentar o que menos gostaram no produto, o sabor foi o atributo mais citado, representando 45% do total das citações para o salgadinho de milho, 71% para o salgadinho com 22% de quinoa e 88% para o salgadinho com 43% de quinoa.

Para os todos os salgadinhos expandidos, foram mencionadas a falta de sal e a falta de sabor. Essa percepção pode ser atribuída ao fato de que o produto proposto tem o apelo de mais saudável, sendo que a formulação para aromatização contém menos aroma e menos sal do que a maioria dos atualmente disponíveis no mercado, com o objetivo de fornecer menor quantidade de sódio.

Na aromatização, foram utilizados 2,5% de aroma sabor bacon, conforme especificação do fabricante, que recomenda a faixa de 2 e 3% para aplicação em salgadinhos expandidos. Normalmente, os fabricantes deste tipo de produto utilizam 4% de aroma, embora na literatura tenham sido encontradas aplicações contendo de 1,8%

(ALVES; GROSSMANN, 2002) a 4% (CAPRILES; ARÊAS, 2005; BOMBO, 2006). O tipo de aroma interfere na quantidade ideal a ser utilizada para cada aplicação. O sal não foi adicionado, pois o aroma continha 42% em relação ao aroma, o que equivale a 1,05% de sal em relação ao salgadinho expandido. Os fabricantes de salgadinhos expandidos normalmente utilizam 2% de cloreto de sódio, o que também foi aplicado por Bombo (2006), enquanto Capriles e Arêas (2005) utilizaram 1,5% de cloreto de sódio, adicionando glutamato monossódico em quantidade equivalente a 25% do sal e inosinato dissódico em quantidade equivalente a 5% do glutamato monossódico.

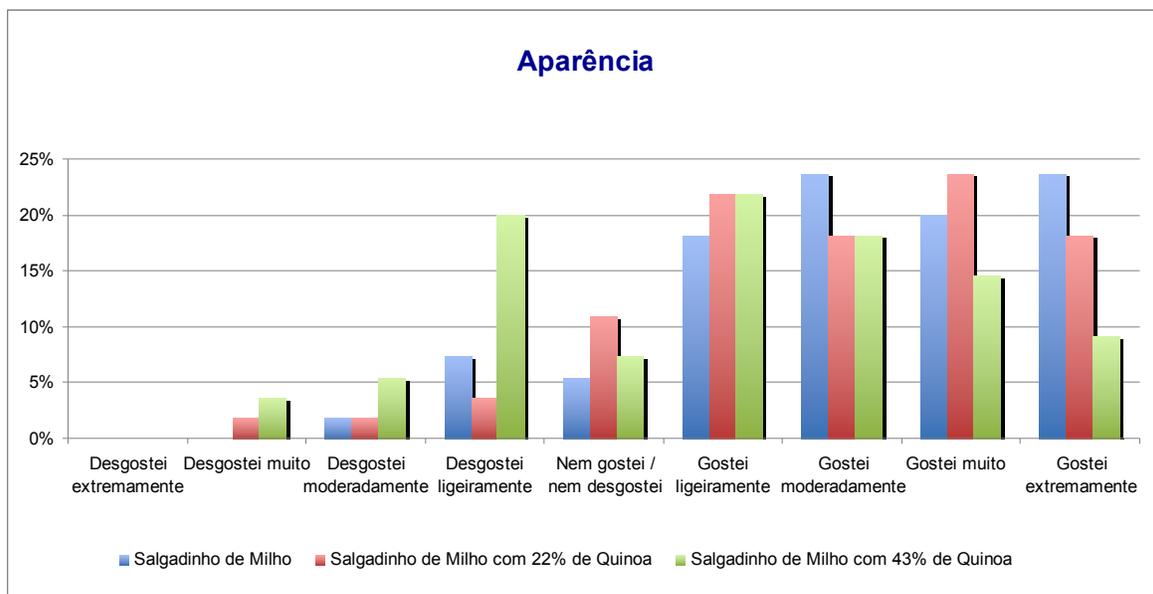
Além das menores quantidades de aroma e sal adicionadas ao produto, o veículo lipídico também foi reduzido. Na aromatização, foram utilizados 8% de óleo de canola, ao invés dos 22% de gordura vegetal hidrogenada, normalmente aplicada pelos fabricantes de salgadinhos expandidos. Essa substituição teve por objetivo reduzir a quantidade de gordura saturada, eliminar ácidos graxos *trans* e reduzir valor calórico, conforme resultados apresentados por Capriles e Arêas (2005) ao utilizar 10% de óleo de canola como veículo fixador de aroma em salgadinhos expandidos de milho. É conhecido que gorduras melhoram a palatabilidade dos alimentos, desta forma, esta redução do conteúdo lipídico usado na aromatização pode ter contribuído para a menor aceitação do sabor dos salgadinhos expandidos.

Outro fator que deve ser considerado diz respeito às perdas que ocorreram durante a aromatização. Conforme descrito anteriormente, o aroma foi dissolvido em óleo de canola e, posteriormente, pulverizado nos salgadinhos expandidos que eram misturados em uma drageadeira. Durante o processo, foi notado que parte da mistura de óleo e aroma ficou retida na parede do equipamento, o que gerou quantidade de aroma inferior à desejada no produto, porém não foi possível mensurar esta perda.

Para os salgadinhos expandidos com incorporação de quinoa, os provadores também comentaram sobre sabor residual estranho e amargo, representando 18% e 67% do total das citações de sabor para salgadinhos expandidos de milho com 22 e 43% de quinoa, respectivamente. Essa característica é atribuída à quinoa, sendo intensificada conforme aumento da quantidade adicionada.

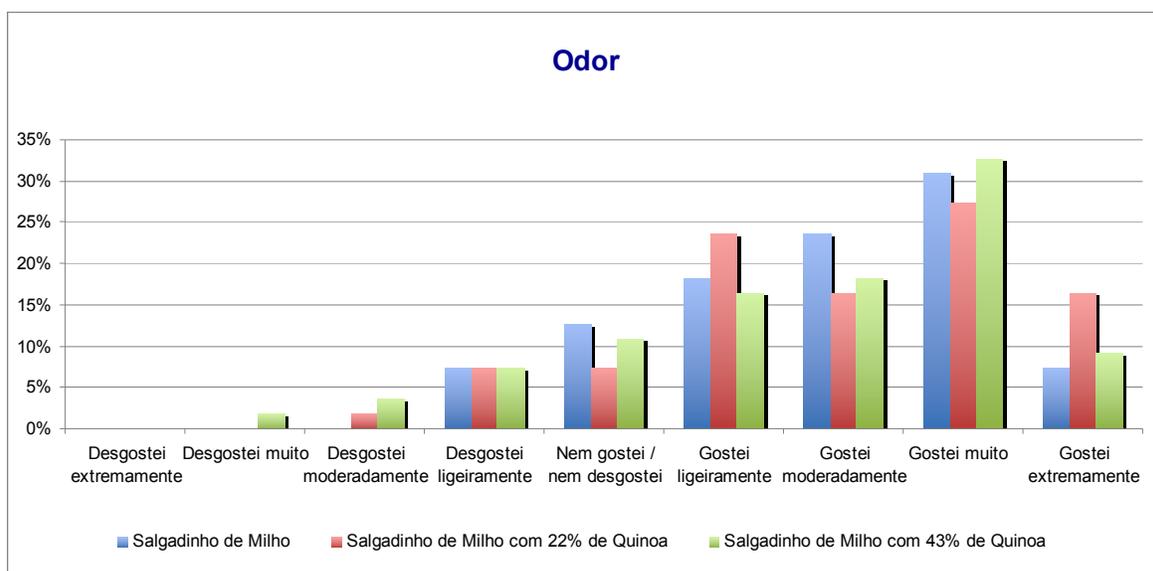
Quanto à aparência, a Tabela 5.37. mostra que não houve diferença significativa ( $p < 0,05$ ) entre os salgadinhos expandidos de milho e o com incorporação de 22% de quinoa. O salgadinho com 43% de quinoa apresentou resultado estatisticamente ( $p < 0,05$ ) inferior em relação aos demais, sendo classificado como gostei ligeiramente.

Na Figura 5.10. é apresentada a distribuição das notas para aparência. A quantidade de provadores que atribuíram nota igual ou superior a 7 (gostei moderadamente) foi de 64, 60 e 42%, respectivamente, para os salgadinhos expandidos de milho, com incorporação de 22% de quinoa e 43% de quinoa, sendo que o último apresentou menor aceitação em relação dos demais. Isso está relacionado, principalmente, à menor expansão do salgadinho causada pela maior adição de quinoa. Conforme Tabela 5.24., o salgadinho com 43% de quinoa apresentou resultado significativamente ( $p < 0,05$ ) superior em 39% para proteína e 175% para lipídio, quando comparado ao salgadinho de milho. Esses componentes interferem na extrusão, reduzindo a expansão do produto, conforme mencionado por Coulter e Lorenz (1991a;1991b).



**Figura 5. 10.** Distribuição das notas de análise sensorial para aparência

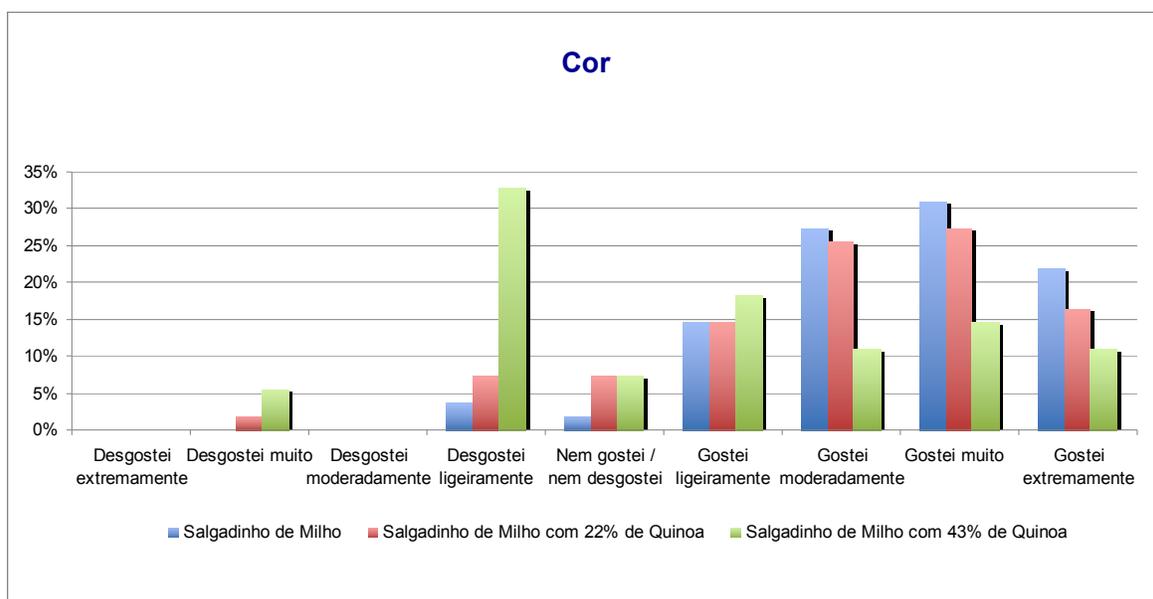
Em relação ao odor, de acordo com a Tabela 5.37., não houve diferença significativa ( $p < 0,05$ ) entre os salgadinhos, uma vez que foi utilizado o mesmo aroma sabor bacon. A nota foi superior a 6, sendo o produto classificado entre gostei ligeiramente e gostei moderadamente. Na Figura 5.11., é apresentada a distribuição das notas para odor. A quantidade de provadores que atribuíram nota igual ou superior a 7 (gostei moderadamente) foi de 65, 59 e 60%, respectivamente, para os salgadinhos expandidos de milho, com incorporação de 22% de quinoa e 43% de quinoa.



**Figura 5. 11.** Distribuição das notas de análise sensorial para odor

Quanto à cor, pela Tabela 5.37., nota-se que não houve diferença significativa ( $p < 0,05$ ) entre os salgadinhos expandidos de milho e o com incorporação de 22% de quinoa. O salgadinho com 43% de quinoa apresentou resultado estatisticamente ( $p < 0,05$ ) inferior em relação aos demais. O salgadinho de milho foi classificado entre gostei moderadamente e gostei muito, o que é explicado pelo fato da maioria dos salgadinhos expandidos disponíveis no mercado serem à base de milho e apresentarem coloração amarela, similar ao salgadinho de milho obtido neste trabalho. O salgadinho com 22% de quinoa foi classificado como gostei moderadamente e o salgadinho com 43% de quinoa entre nem gostei / nem desgostei e gostei ligeiramente.

Na Figura 5.12, consta a distribuição das notas para cor. A quantidade de provadores que atribuíram igual ou superior a 7 (gostei moderadamente) foi de 80, 68 e 37% respectivamente para os salgadinhos expandidos de milho, com incorporação de 22% de quinoa e 43% de quinoa. Isso se deve ao aumento do escurecimento do salgadinho em função do aumento a porcentagem de adição de farinha de quinoa.

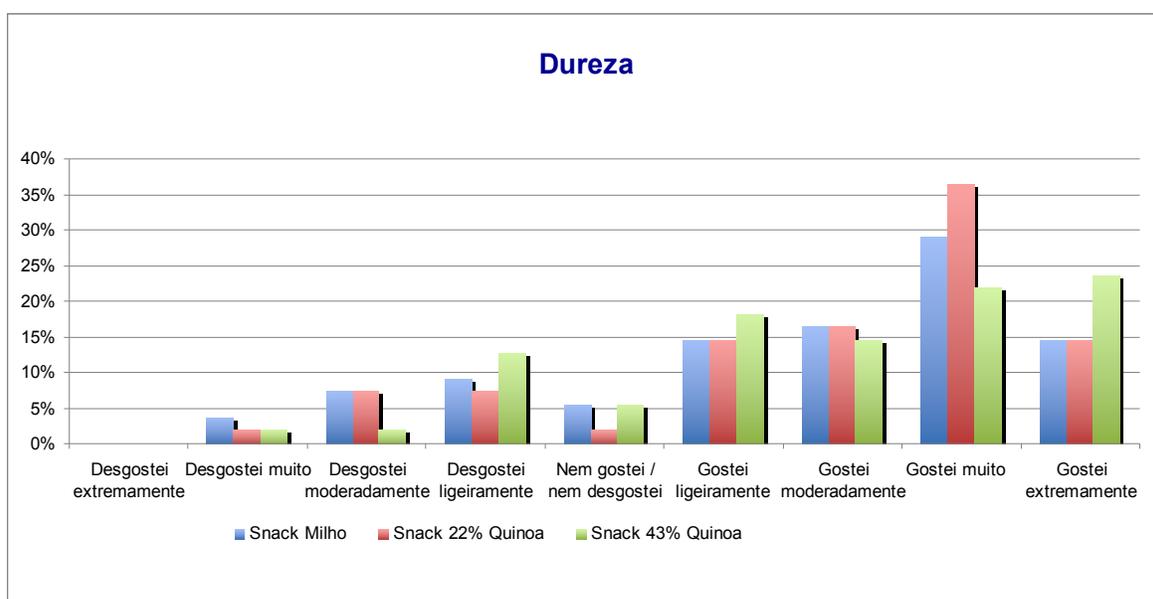


**Figura 5. 12.** Distribuição das notas de análise sensorial para cor

Em relação à dureza, de acordo com a Tabela 5.37., não houve diferença significativa ( $p < 0,05$ ) entre os salgadinhos. A nota foi superior a 6, sendo o produto classificado entre gostei ligeiramente e gostei moderadamente. Na Figura 5.13., observa-se a distribuição das notas para dureza. A quantidade de provadores que atribuíram nota igual ou superior a 7 (gostei moderadamente) foi de 60, 67 e 61%, respectivamente, para os salgadinhos expandidos de milho, com incorporação de 22% de quinoa e 43% de quinoa. Desta forma, observa-se que a adição de farinha de quinoa não interferiu na dureza e na aceitação do produto.

Capriles e Arêas (2005) produziram salgadinhos expandidos de milho, variando o veículo lipídico fixador do aroma, testando gordura vegetal hidrogenada e óleo de canola, ambos na concentração de 22%. Os resultados de análise sensorial mostraram que a substituição da gordura por óleo reduziu em 10% a média das notas de aceitação global e em 26% o número de notas acima de 7 (gostei moderadamente). De acordo com os

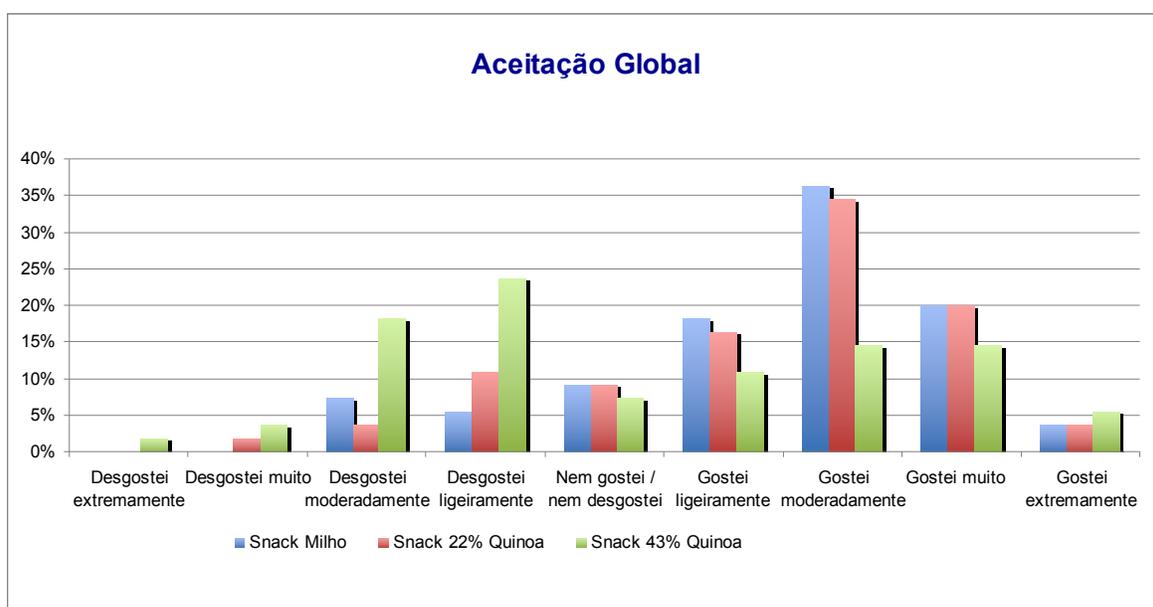
autores, o maior impacto desta substituição foi na textura, em manifestações espontâneas relacionadas a este atributo, 53% foram de reprovação. Resultados instrumentais mostraram que a substituição da gordura por óleo causa redução da força para cisalhamento do produto, devido à diminuição dos teores de ácidos graxos saturados e eliminação dos trans que, são sólidos à temperatura ambiente e causam maior resistência ao cisalhamento. No presente trabalho, foi utilizado apenas 8% de óleo de canola, o que reduziu ainda mais os teores de ácidos graxos saturados e pode ter impactado na aceitação do atributo dureza, embora a média das notas tenham sido acima de 6, o que indica razoável aceitação.



**Figura 5. 13.** Distribuição das notas de análise sensorial para dureza

Quanto à aceitação global, pela Tabela 5.37., nota-se que não houve diferença significativa ( $p < 0,05$ ) entre os salgadinhos expandidos de milho e o com incorporação de 22% de quinoa, ambos apresentaram nota maior do que 6 (gostei ligeiramente) e cerca de

60% dos provadores (Figura 5.14.) atribuíram igual ou superior a 7, o que indica que os produtos foram aceitos pelos potenciais consumidores. Por sua vez, o salgadinho com 43% de quinoa apresentou resultado estatisticamente ( $p < 0,05$ ) inferior em relação aos demais, sendo classificado entre nem gostei / nem desgostei e gostei ligeiramente e apenas 35% dos provadores atribuíram nota igual ou superior a 7 (Figura 5.14.). A menor aceitação do salgadinho expandido contendo a maior quantidade de quinoa (43%), pode ter ocorrido devido às características de aparência (menor expansão), cor (mais escura) e sabor (amargo) que a adição de elevadas concentrações de farinha integral de quinoa conferiram ao produto.



**Figura 5. 14.** Distribuição das notas de análise sensorial para aceitação global

Os resultados de intenção de compra para os salgadinhos expandidos estão apresentados na Tabela 5.38. A Figura 5.15. mostra a distribuição dos provadores que

optaram entre certamente não compraria, possivelmente não compraria, talvez comprasse/ talvez não comprasse, possivelmente compraria e certamente compraria.

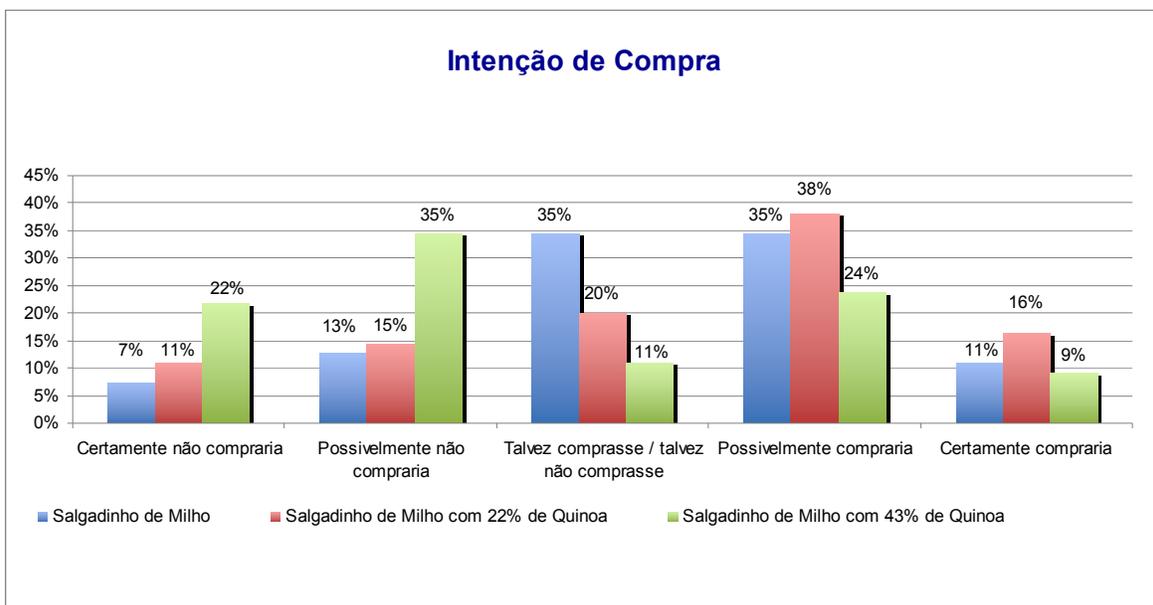
Com relação à intenção de compra, embora não tenha ocorrido diferença significativa ( $p < 0,05$ ) entre o salgadinho expandido de milho e o com incorporação de 22% de quinoa, a quantidade de provadores que atribuíram nota igual ou superior a 4 (possivelmente compraria) foi ligeiramente maior para o salgadinho expandido com quinoa (22%), representando 54% dos provadores, quando comparado ao salgadinho expandido de milho (46% dos provadores).

O salgadinho expandido com 43% de quinoa apresentou resultado estatisticamente ( $p < 0,05$ ) inferior aos demais. Apenas 33% dos provadores atribuíram nota igual ou superior a 4 (possivelmente compraria) e 35% dos provadores opinaram que possivelmente não comprariam o produto. Como visto anteriormente, este salgadinho apresentou baixa aceitação global o que resulta diretamente na baixa intenção de compra.

**Tabela 5. 38.** Teste de intenção de compra para os salgadinhos expandidos

<b>Salgadinhos expandidos</b>	<b>Intenção de compra</b>
<b>Salgadinho milho</b>	3,29 ± 1,07 <sup>a</sup>
<b>Salgadinho 22% quinoa</b>	3,35 ± 1,24 <sup>a</sup>
<b>Salgadinho 43% quinoa</b>	2,64 ± 1,31 <sup>b</sup>

Resultados expressos como média ± desvio padrão do resultado de 55 provadores. Médias seguidas por uma mesma letra não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). As médias variam entre 1 e 5 (1 = certamente não compraria e 5 = certamente compraria).



**Figura 5. 15.** Distribuição das notas de intenção de compra

De acordo com os resultados apresentados, verifica-se que o salgadinho expandido de milho com 22% de quinoa foi bem aceito pelos provadores, apresentando 75% de aceitação (corresponde à soma das porcentagens das notas de 6 a 9 para o atributo aceitação global). Este resultado é similar ao obtido para salgadinhos apenas de milho (78% de aceitação). Com exceção do sabor, todos os atributos obtiveram notas acima de 6 (gostei ligeiramente). A nota média de aceitação global foi de 6,39, valor entre gostei ligeiramente e gostei moderadamente. Este produto apresentou maior aceitação do que os salgadinhos expandidos de milho, com 20 e 30% de quinoa obtidos por Coulter e Lorenz (1991a), que foram classificados como “nem gostei e nem desgostei” para sabor, textura e aparência, avaliados em análise sensorial.

Pelo grau de aceitação do produto, pode-se concluir que os parâmetros utilizados no processo de extrusão foram adequados para a elaboração de salgadinhos expandidos.

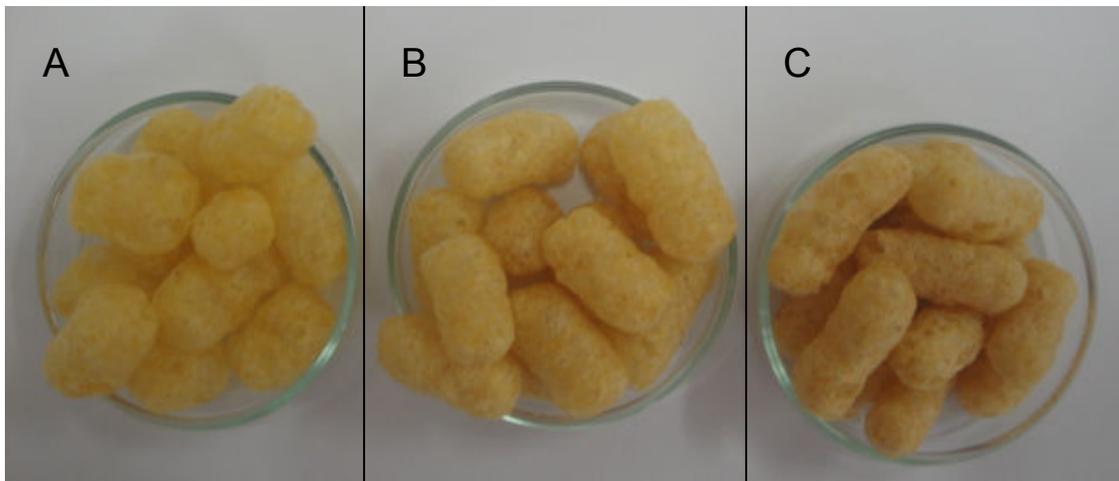
Um fator que não pode deixar de ser considerado é que os provadores da análise sensorial tinham idade entre 20 e 40 anos e os salgadinhos expandidos normalmente são consumidos por crianças e adolescentes. Alves e Grossmann (2002) produziram salgadinhos expandidos à base de farinha de cará e constataram na análise sensorial, que as crianças normalmente dão notas pelo menos 20% superiores às notas dadas pelos adultos, indicando que elas têm maior preferência pelos produtos. Desta forma, os salgadinhos expandidos com 22% de quinoa serão mais bem aceitos pelo público alvo almejado.

O salgadinho expandido de milho com 43% de farinha de quinoa não foi bem aceito pelos provadores, apresentando 45% de aceitação. Esse tipo produto deve ser direcionado para um público alvo que já tenha hábitos de consumir alimentos mais saudáveis, como *light* e integrais, pois está mais acostumado com a menor palatabilidade ou então com o amargor e coloração escura dos produtos. .

#### **5.2.8.1. Comparação visual**

Pela Figura 5.16., nota-se que, visualmente, o salgadinho de milho com 22% de quinoa apresenta-se similar ao salgadinho apenas com milho.

O salgadinho com 43% de quinoa, mostra-se mais escuro e com menor expansão, fato percebido também por Coulter e Lorenz (1991ab). Conforme mencionado anteriormente, os maiores conteúdos de proteína e gordura presentes na farinha de quinoa se comparada à farinha de milho influenciam no processo de extrusão, gerando redução da expansão do produto (COULTER; LORENZ, 1991b).



**Figura 5. 16.** Comparação visual dos salgadinhos expandidos de milho (A), com incorporação de 22% de quinoa (B) e 43% de quinoa (C)

## 6. Conclusões

Salgadinhos expandidos de milho com incorporação de 22% de farinha de quinoa, produzidos por extrusão termoplástica, apresentaram textura e expansão similares aos produtos disponíveis no mercado, quando processados em condições de 17,5% de umidade inicial da amostra, temperaturas de 100 e 110°C, respectivamente, nas 4ª e 5ª zonas do extrusor e velocidade de rosca igual a 260rpm. Estes produtos obtiveram ótima aceitação (75%) quando apresentados a consumidores potenciais, sendo que 54% dos provadores possivelmente ou certamente comprariam, não apresentando diferença significativa em relação aos salgadinhos de milho.

Quanto às características nutricionais, a adição de 22% farinha de quinoa, como desejado, contribuiu para o aumento do valor nutricional dos salgadinhos expandidos à base de milho, por elevar o teor de aminoácidos essenciais, reduzir um aminoácido limitante (treonina) e conferir maior teor de lisina biodisponível.



## 7. Sugestões para trabalhos futuros

- Executar o planejamento experimental considerando a variável quantidade de farinha de quinoa, com nível mínimo de 0%, para melhor avaliação do efeito desta variável sobre as propriedades químicas, físicas e nutricionais dos salgadinhos expandidos.
- Realizar a análise instrumental da crocância dos salgadinhos expandidos.
- Alterar o tipo e a concentração do aroma, com o intuito de aumentar a aceitação do produto pelos potenciais consumidores.
- Alterar o processo de aromatização, objetivando distribuição mais eficiente e padronizada da mistura óleo e aroma na superfície dos salgadinhos.
- Utilizar a farinha de quinoa em aplicações cujos processos de fabricação proporcionem maior retenção da quantidade de lisina biodisponível.



## 8. Referências Bibliográficas

AACC – American Association of Cereal Chemists. **Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists**. 9<sup>th</sup> ed. Saint Paul, 1995. v.1-2

AKESON, W.R.; STAHMANN, M.A. A pepsin pancreatin digest index of protein quality evaluation. **The Journal of Nutrition**, v. 83, n.3, p. 257-261, 1964.

ALMEIDA-DOMÍNGUEZ, N.G.; VALENCIA, M.E.; HIGUERA-CIAPARA, I. Formulation of corn-based snacks with nutritive value: biological and sensory evaluation. **Journal of Food Science**, v. 55, n. 1, p. 228-231, 1990.

ALVES, R.M.L.; GROSSMANN, M.V.E.; Parâmetros de extrusão para produção de “snacks” de farinha de cará (*Dioscorea alata*). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 22, n. 1, p. 32-38, 2002.

ALVIM, I. D. **Efeito da extrusão termoplástica sobre as propriedades funcionais e nutricionais de farinhas à base de milho, caseína e derivados de levedura**. Campinas – SP, 2001, 147f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, 2001.

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, p. 170-176, 2002.

ANTON, A.A.; LUCIANO, F.B. Instrumental texture evaluation of extruded snack foods: a review. **Ciencia y Tecnología Alimentaria**, v. 5, n. 4, p.245-251, 2007.

ARÊAS, J.A.G. Extrusion of food proteins. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 32, n.4, p. 365-392, 1992.

ARÊAS, J.A.G. Interações moleculares do amido durante o processo de extrusão. **Boletim SBCTA**, v. 30, n.1, jan-jun, p. 28-30, 1996.

ASCHERI, J.L.R.; RAMÍREZ-ASQUIERI, E; CARVALHO, C.W.P. Elaboracion de harina integral instantânea de quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) por extrusion termoplastica. **Alimentaria**, v. 292, n.5, p. 93-98, 1998.

ASP, N.; BJORCK, I. Nutritional properties of extruded foods In: MERCIER, C.; LINKO, P.; HARPER, J.M. **Extrusion Cooking**. American Association of Cereal Chemists, 1998. Cap. 14, p. 399-433.

ATWELL, W.A.; PATRICK, B.M.; JOHNSON, L.A.; GLASS, R.W. Characterization of quinoa starch. **Cereal Chemistry**, v. 60, n. 1, p. 9-11, 1983.

AUTRAN, J. C. ; BÉNÉTRIX, F.; BLOC, D.; BURGHART, P.; CHAURAND, M.; COMBE; N; MELCION, J.P. Composition and technological value of genetically modified and conventional maize (*Zea mays* L.) grains. **Sciences des Aliments**, v. 23, n. 2, p. 223-247, 2003.

BENSON, G.O.; PEARCE, R.B. Corn perspective and culture. In: WHITE, J.P; JOHNSON, L.A. **Corn: chemistry and technology**. American Association of Cereal Chemists. 2<sup>nd</sup> ed., 2003. Cap. 1, p. 1-33.

BERSET, C. Color In: MERCIER, C.; LINKO, P.; HARPER, J.M. **Extrusion Cooking**. American Association of Cereal Chemists, 1998. Cap. 12, p. 371-385.

BHARGAVA, A.; SHUKLA, S.; OHRI, D. *Chenopodium quinoa* – an Indian perspective. **Industrial Crops and Products**, v. 23, p. 73-87, 2006.

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

BOYER, C.D.; SHANNON, J.C. Carbohydrates of the kernel. In: WHITE, J.P; JOHNSON, L.A. **Corn: chemistry and technology**. American Association of Cereal Chemists. 2<sup>nd</sup> ed., 2003. Cap. 8, p. 289-311.

BRADY, K.; HO, C.T.; ROSEN, R.T.; SANG, S.; KARWE, M.V. Effects of processing on the nutraceutical profile of quinoa. **Food Chemistry**, v. 100, p. 1209-1216, 2007.

CALLEGARO, M. G. K.; DUTRA, C. B.; HUBER, L. S.; BECKER, L. V.; ROSA, C. S.; KUBOTA, E. H.; HECKTHEUR, L. H. Determinação da fibra alimentar insolúvel, solúvel e total de produtos derivados do milho. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas:SBCTA, v. 25, nº 2, p. 271-274, Abril-Junho, 2005.

CAMIRE, M.E. Extrusion and nutritional quality. In: GUY, R. **Extrusion Cooking Technologies and applications**. Boca Raton, 2001. Cap. 6, p. 109-129.

CAPOBIANGO, M. ; VIEIRA, C.R. ; SANTIAGO E SILVA, A.L. ; COELHO, J.V. ; SEGALL, S.D. ; SILVESTRE, M.P.C. Extração química e enzimática das proteínas do fubá de milho. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas:SBCTA, v. 26, nº 4, p. 884-890, Outubro-Dezembro, 2006.

CAPRILES, V.D.; ARÊAS, J.A.G. Desenvolvimento de salgadinhos com teores reduzidos de gordura saturada e de ácidos graxos *trans*. **Ciência e Tecnologia dos Alimentos**. v.25, n.2, p. 363-369, 2005.

CARDOSO, I.B. **Tratamento Térmico de misturas de farinha de trigo e de quinoa e sua aplicação em bolo tipo pão de ló**. Campinas – SP, 2007, 114f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, 2007.

CHANG, Y.K.; SILVA, M.R.; GUTKOSKI, L.; SEBIO, L.; DA SILVA, M.A.A.P. Development of extruded snacks using jatobá (*Hymenaea stigonocarpa* Mart) flour and cassava starch blends. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 78, p. 59-66, 1998.

CHAUHAN, G.S.; ESKIN, N.A.M.; TKACHUK, R. Nutrients and antinutrients in quinoa seed. **Cereal Chemistry**, v. 69, n. 1, p. 85-88, 1992.

CHAUHAN, G.S.; VERMA, N.S.; BAINS, G.S. Effect of extrusion processing on the nutritional quality of protein in rice-legume blends. **Die Nahrung**, v. 32, n.1, p. 43-47, 1988.

CHEFTEL, J.C. Nutritional effects of extrusion-cooking. **Food Chemistry**, v.20, p.263-283, 1986.

CHILLO, S.; CIVICA, V.; IANNETTI, M.; SURIANO, N.; MASTROMATTEO, M.; DEL MOBILE, M.A. Properties of quinoa and oat spaghetti loaded with carboxymethylcellulose sodium salt and pregelatinized starch as structuring agents. **Carbohydrate Polymers**, v.78, p. 932-937, 2009.

CHILLO, S.; CIVICA, V.; IANNETTI, M.; MASTROMATTEO, M.; SURIANO, N.; DEL MOBILE, M.A. Influence of repeated extrusions on some properties of non-conventional spaghetti. **Journal of Food Engineering**, v.100, p. 329-335, 2010.

CHINNASWAMY, R. Basis of cereal starch expansion. **Carbohydrate Polymers**, v.21, p.157-167, 1983.

CIACCO, F.C.; CRUZ, R. **Fabricação de amido e sua utilização**. Série Tecnologia Agroindustrial, 1982, 152p.

COLONNA, P.; TAYEB, J.; MERCIER, C. Extrusion cooking of starch and starchy products. In: MERCIER, C.; LINKO, P.; HARPER, J.M. **Extrusion Cooking**. American Association of Cereal Chemists, 1998. Cap. 9, p. 247-319.

COULTER, L.A.; LORENZ, K. Quinoa – composition, nutritional value, food applications. **Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie**, v. 23, n. 3, p. 203-207, 1990.

COULTER, L.A.; LORENZ, K. Extruded corn grits-quinoa blends: I. Proximate composition, nutritional properties and sensory evaluation. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 15, n. 4, p. 231-242, 1991a.

COULTER, L.A.; LORENZ, K. Extruded corn grits-quinoa blends: II. Physical characteristics of extruded products. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 15, n. 4, p. 243-259, 1991b.

DA COSTA, P.F.P ; FERRAZ, M.B.M ; ROS-POLSKI, V. ; QUAST, E. ; COLLARES QUEIROZ, F.P. ; STEEL, C.J. Funcional extruded snacks with lycopene and soy protein. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas:SBCTA, v. 30, nº 1, p. 143-151, Janeiro-Março, 2010.

DIEMAIR, W. **Laboratoriumsbuch für Lebensmittelchemiker**. 8. Aufl. Dresden: Verlag Von Theodor Steinkopff, 1963.

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

DINI, A.; RASTRELLI, L.; SATURNINO, P.; SCHETTINO, O. A compositional study of *Chenopodium quinoa* seeds. **Die Nahrung**, v. 36, n. 4, p. 400-404, 1992.

DOGAN, H.; KARWE, M.V. Physicochemical properties of quinoa extrudates. **Food Science and Technology International**, v. 9, n. 2, p. 101-114, 2003.

EL-DASH, A. A. Application and control of thermoplastic extrusion of cereals for food and industrial uses. In: POMERANZ, Y. & MUNCH, L. **Cereal a Renewable Resource: Theory and Practice**. American Association of Cereal Chemists, 1981, p. 165-216.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados. Disponível em:

<[http://www.cpac.embrapa.br/noticias/noticia\\_completa/203/](http://www.cpac.embrapa.br/noticias/noticia_completa/203/)> . Acesso em 25 jun. 2011.

ESCOBAR, B.; ESTÉVEZ, A.M.; VÁSQUEZ, M; CASTILHO, E.; YANEZ, E. Barras de cereals maní y amaranto dilatado: composición química y estabilidad en almacenamiento acelerado. **Archivos Latinoamericanos de Nutricion**, v. 44, n.1, p. 36-40, 1994.

FAO/WHO/UNU expert consultation. Energy and protein requirements: WHO Technical **Report Series Nº 522**, FAO Nutrition Meetings **Report Series Nº 52**. WHO, Genebra; FAO, Rome, 1973.

FAO/WHO/UNU. Expert Consultation. **Energy and protein requirements**: FAO/WHO nutrition meetings. Report series 724. Geneva: Food and Agriculture Organization/World Health Organization, 1985.

FAUBION, J.M.; HOSENEY, R.C.; High-Temperature short-time extrusion cooking of wheat starch and flour. II. Effect of protein and lipid on extrudate properties . **Cereal Chemistry**. v. 59, n. 6, p. 533-537. 1982.

FAUBION, J.M.; HOSENEY, R.C.; SEIB, P.A. Functionality of grain components in extrusion. **Cereal Foods World**. v. 27, n. 5, p. 212-216. 1982.

FERREIRA, R.E. **Avaliação de parâmetros do processo de extrusão e do teor de farelo de trigo adicionado em características de "snacks" expandidos de milho**. Campinas – SP, 2006, 183f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, 2006.

GONÇALVES, P.V.M. **Desenvolvimento de massa alimentícia funcional à base de extrato em pó e farinha de Yacon (*Polymnia sonchifolia*) e farinha de arroz por processo de extrusão termoplástica** Campinas – SP, 2010, 104f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, 2010.

GONZÁLEZ, J.A.; ROLDÁN, A.; GALLARDO, M.; ESCUDERO, T.; PRADO, F.E. Quantitative determinations of chemical compounds with nutritional value from Inca crops: *Chenopodium quinoa* ("quinoa"). **Plant Foods for Human Nutrition**, v. 39, n. 4, p. 331-337, 1989.

GUJSKA, E.; KHAN, K. Effect of temperature on properties of extrudates from high starch fractions of navy, pinto and garbanzo beans. **Journal of Food Science**, v. 55, n. 2, p. 466-469, 1990.

GUY, R. Snack foods. In: GUY, R. **Extrusion cooking - Technologies and applications**. Boca Raton, 2001. Cap. 6, p. 109-129.

HARPER, J.M. Food Extrusion. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 11, n. 2, p. 155-215, 1979.

HARPER, J.M. Food extruders and their applications. In: MERCIER, C.; LINKO, P.; HARPER, J.M. **Extrusion Cooking**. American Association of Cereal Chemists, 1998. Cap. 1, p. 1-15.

HOOD-NIEFER, S.D., TYLER, R.T. Effect of protein, moisture content and barrel temperature on the physicochemical characteristics of pea flour extrudates. **Food Research International**, v. 43, p. 659-663, 2010.

HORWITZ, W. (Ed.) **Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists – AOAC International** 18<sup>th</sup> ed. Gaithersburg, Maryland: AOAC, 2005. Current through Revision 1, 2006.

HUBER, G. Snack foods from cooking extruders. In: LUSAS, E.W. & ROONEY, L.W. **Snack Foods Processing**. CRC Press, 2001. Cap. 12.

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

IWE, M.O; VAN ZUILICHEM, D.J.; STOLP, W.; NGODDY, P.O. Effect of extrusion cooking of soy-sweet potato mixtures on available lysine content and browning index of extrudates. **Journal of Food Engineering**, v. 62, p. 143-150, 2004.

JANCUROVÁ, M.; MINAROVICOVÁ, L.; DANDÁR, A. Quinoa – a review. **Czech Journal of Food Science**, v. 27, n. 2, p. 71-79, 2009.

KAKADE, M.L.; LIENER, I.E. Determination of available lysine in proteins. **Analytical Biochemistry**, v. 27, n.1, p. 273-281, 1969.

KASEMSUWAM, T.; JANE, J.; SCHNABLE, P.; ROBERTSON, D. Characterization of the dominant mutant amylose-extender (Ae1-5180) maize starch. **Cereal Chemistry**, v. 72, n. 5, p. 457-464, 1995.

LAUNAY, B.; LISCH, J.M. Twin-screw extrusion cooking of starches: flow behavior of starch pastes, expansion and mechanical properties of extrudates. **Journal of Food Engineering**, n. 2, p. 259-280, 1983.

LEORO, M. G. V. **Desenvolvimento de cereal matinal extrusado orgânico à base de farinha de milho e farelo de maracujá**. Campinas – SP, 2007, 147f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, 2007.

LI, J. Y.; YEH, A.I. Relationships between thermal, rheological characteristics and swelling power for various starches. **Journal of Food Engineering**, v. 50, p. 141-148, 2001.

LINKO, P.; COLONNA, P.; MERCIER, C. High-temperature, short-time extrusion cooking. In: Pomeranz Y (ed). **Advances in Cereal Science and Technology**, 1981. v. 4, Cap. 4, p. 145-235.

LORENZ, K. Quinoa (*Chenopodium quinoa*) starch – physico-chemical properties and functional characteristics. **Starch**, Alemanha, v. 42, n. 3, p. 81-86, 1990.

MASTEBROEK, H.D., LIMBURG, H.; GILLES, T., MARVIN, H. J.P. Occurrence of saponin in leaves and seeds of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 80, n.1, p. 152-156, 2000.

MENDONÇA, S.; KARAM, L.B.; GROSSMANN, M.V.E. Análise instrumental de textura e sua correlação com avaliação sensorial em “snacks” comerciais. In: Congresso Brasileiro

de Cleñcia e Tecnologia de Alimentos, 16., 1998. Rio de Janeiro. Anais ... Rio de Janeiro: SBCTA, 1998, v.1, p. 419-422.

MERCIER, C.; FEILLET, P. Modification of carbohydrate components by extrusion-cooking of cereal products. **Cereal Chemistry**, v. 52, n. 3, p. 283-296, 1975.

MINOLTA. Precise color communication: color control from feeling to instrumentation. MINOLTA Co., Ltd., 1994, 49p.

MISHRA ,S.; RAI, T. Morphology and functional properties of corn, potato and tapioca starches. **Food Hydrocolloids**, v. 20, p. 557-566, 2006.

MOHAMED, S. Factors affecting extrusion characteristics of expanded starch-based products. **Journal of Food Processing and Preservation**, n. 14, p. 437-452, 1990.

PHAM, C.B; DEL ROSARIO, R.R. Studies on the development of texturized vegetable products by extrusion process. II. Effects of extrusion variables on the available lysine, total and reducing sugars. **Journal of Food Technology**, v. 19, pg. 549-559, 1984.

PROSKY, L.; ASP, N-G; FURDA, I.; DEVRIES, J.W., SCHWEIZER, T.F.; HARLAND, B.F. Determination of total dietary fiber in foods, food products and total diets: interlaboratorial study. **Journal of the Association Official Analytical Chemists**, v.67, n.6, p.1044-1052, 1984.

PROSKY, L.; ASP, N-G.; SCHWEIZER, T.F.; DEVRIES, J. W.; FURDA, I. Determination of insoluble and soluble dietary fibers in foods and food products. **Journal of the Association of Official Analytical Chemists International**, v.75, n.2, p.360-367, 1992.

QIAN, J. Y.; STUTTGART, M. K. Characterization of *Amaranthus cruentus* and *Chenopodium quinoa* starch. **Starch/Starke**, v. 51, n.4, p. 116-120, 1999.

RANHOTRA, G.S.; GELROTH, J.A.; GLASER, B.K.; LORENZ, K.J.; JOHNSON, D.L. Composition and protein nutritional quality of quinoa. **Cereal Chemistry**, v. 70, n. 3, p. 303-305, 1993.

REPO-CARRASCO-VALENCIA, R.A.M.; SERVA, L.A.. Quinoa (*Chenopodium quinoa*, Willd.) as a source of dietary fiber and other functional components. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 31, n. 1, p. 225-230, 2011.

RODRIGUES, M.I.; IEMMA, A.F. **Planejamento de experimentos e otimização de processos**, 2ª ed. Campina, SP: Casa do Espírito Amigo Fraternidade Fé e Amor, 2009. 358 p.

ROKEY, G.J. Single-Screw Extruders. In: RIAZ, M. **Extruders in food applications**. Crc Press, 2002. Cap. 2, p. 25-50.

ROONEY, L.W.; SERNA-SALDIVAR, S.O. Food use of whole corn and dry-milled fractions. In: WHITE, J.P; JOHNSON, L.A. **Corn: chemistry and technology**. American Association of Cereal Chemists. 2<sup>nd</sup> ed., 2003. Cap. 13, p. 495-532.

RUALES, J.; NAIR, B.M. Nutritional quality of protein in quinoa (*Chenopodium quinoa*, Willd) seeds. **Plant Foods for Human Nutrition**, v. 42, p. 1-11, 1992.

RUALES, J.; NAIR, B.M. Content of fat, vitamins and minerals in quinoa (*Chenopodium quinoa*, Willd) seeds. **Food Chemistry**, v. 48, n. 2, p. 131-136, 1993.

RUALES, J.; NAIR, B.M. Properties of starch and dietary fibre in raw and processed quinoa (*Chenopodium quinoa*, Willd) seeds. **Plant Foods for Human Nutrition**, v. 45, n. 3, p. 223-246, 1994a.

RUALES, J.; NAIR, B.M. Effect of processing on *in vitro* digestibility of protein and starch in quinoa seeds. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 29, p. 449-456, 1994b.

RUALES, J.; VALENCIA, S.; NAIR, B. Effect of processing on the physico-chemical characteristics of quinoa flour (*Chenopodium quinoa*, Willd). **Starch- Starke**, v. 45, n. 1, p. 13-19, 1993.

RUTHERFURD, S.M.; MOUGHAN, P.J.; OSCH, L.V. Digestible reactive lysine in processed feedstuffs: application of a new bioassay. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 45, p. 1189-1194, 1997.

SANDHU, K. S.; SINGH, N.; KAUR, M. Characteristics of the different corn types and their grain fractions: physicochemical, thermal, morphological, and rheological properties of starches. **Journal of Food Engineering**, v. 64, nº 2, p. 96-101, Apr. 2004.

SCHMIELE, M. **Caracterização das frações com diferentes granulometrias de milho dentado e duro e avaliação na qualidade de extrusados expandidos**. Campinas – SP, 2009, 223f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, 2009.

SEBIO L.; CHANG, Y. K. Effects of selected process parameters in extrusion of yam flour (*Dioscorea rotundata*) on physicochemical properties of the extrudates. **Nahrung**, Weinheim: Wiley-VCH, v. 44, p. 96-101, 2000.

SGARBIERI, V.C. **Proteínas em alimentos protéicos: propriedades, degradações e modificações**. São Paulo: Livraria Varela, 1996.

SINGH,S.; GAMLATH, S.; WAKELING, L. Nutritional aspects of food extrusion: a review. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 42, p.916-929, 2007.

SINGH, N.; SINGH, J.; KAUR, L.; SODHI, N. S.; GILL, B.S. Morphological, thermal and rheological properties of starches from different botanical sources. **Food Chemistry**, v. 81, p.219-231, 2003.

SOUZA, L.A.C.; SPEHAR, C.R.; SANTOS, R.L.B. Análise de imagem para determinação do teor de saponinas em quinoa. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 04, p. 397-401, 2004.

SPEHAR, C.R.; SANTOS, R.L.B. Quinoa BRS Piabiru: alternativa para diversificar os sistemas de produção de grãos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 06, p. 889-893, 2002.

SPIES, J.R. Determination of tryptophan in proteins. **Analytical Chemistry**, v. 38, n. 12, p. 1412-1415, 1967.

TANG, H.; WATANABE, K.; MITSUNAGA, T. Characterization of storage starches from quinoa, barley and adzuki seeds. **Carbohydrate Polymers**, v. 49, p. 13-22, 2002.

THYMI, S.; KROKIDA, M.K.; MAROULIS, Z.B. Structural properties of extruded corn starch. **Journal of Food Engineering**, v. 68, p. 519-526, 2005.

TORBATINEJAD, N.M.; RUTHERFURD, S.M.; MOUGHAN, P.J. Total and reactive lysine contents in selected cereal-based food products. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 53, p. 4454-4458, 1997.

VALIM, M.F.C.F.A; BATISTUTI, J.P. Efeito da extrusão termoplástica no teor de lisina disponível da farinha desengordurada de grão-de-bico (*Cicer arietinum*, L.). **Archivos Latinoamericanos de Nutrición**, v. 50, nº3, p. 270-273, set, 2000.

WATSON, S.A. Description, development, structure and composition of corn kernel. In: WHITE, J.P; JOHNSON, L.A. **Corn: chemistry and technology**. American Association of Cereal Chemists. 2<sup>nd</sup> ed., 2003. Cap. 3, p. 69-106.

WHITE, J.A.; HART, R.J.; KRY, J.C. An evaluation of the waters pico-tag system for the aminoacid analyses of food materials. **Journal of Automatic Chemistry**, v.8, p. 170-177, 1986.

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

ZANG, W.; HOSENEY, R.C. Factors affecting expansion of corn meals with poor and good expansion properties. **Cereal Chemistry**, v. 75, n.5, p. 639-643, 1998.



## Anexo A - Ficha de análise sensorial

### AVALIAÇÃO SENSORIAL DE SALGADINHOS EXPANDIDOS DE MILHO E QUINOA AROMATIZADOS

Nome: \_\_\_\_\_ Idade: \_\_\_\_\_ Data: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_

**AMOSTRA:** \_\_\_\_\_

1. Você está recebendo uma amostra de **SALGADINHO**. Avalie a **APARÊNCIA** do mesmo. Na escala, indique o quanto você gostou ou desgostou da **APARÊNCIA** do produto.

**Valor:** \_\_\_\_\_

- 9- gostei extremamente
- 8- gostei muito
- 7- gostei moderadamente
- 6- gostei ligeiramente
- 5- nem gostei/nem desgostei
- 4- desgostei ligeiramente
- 3- desgostei moderadamente
- 2- desgostei muito
- 1- desgostei extremamente

Comentários: \_\_\_\_\_

2. Agora, por favor, avalie a **COR** do **SALGADINHO** e indique, na escala abaixo, o quanto você gostou ou desgostou da **COR** do mesmo:

**Valor:** \_\_\_\_\_

- 9- gostei extremamente
- 8- gostei muito
- 7- gostei moderadamente
- 6- gostei ligeiramente
- 5- nem gostei/nem desgostei
- 4- desgostei ligeiramente
- 3- desgostei moderadamente
- 2- desgostei muito
- 1- desgostei extremamente

Comentários: \_\_\_\_\_

3. Agora, por favor, avalie a **ODOR** do **SALGADINHO** e indique, na escala abaixo, o quanto você gostou ou desgostou do **ODOR** do mesmo:

**Valor:** \_\_\_\_\_

- 9- gostei extremamente
- 8- gostei muito
- 7- gostei moderadamente
- 6- gostei ligeiramente
- 5- nem gostei/nem desgostei
- 4- desgostei ligeiramente
- 3- desgostei moderadamente
- 2- desgostei muito
- 1- desgostei extremamente

Comentários: \_\_\_\_\_

4. Agora, por favor, **PROVE** o **SALGADINHO** e indique, na escala abaixo, o quanto você gostou ou desgostou do **SABOR** do mesmo:

**Valor:** \_\_\_\_\_

- 9- gostei extremamente
- 8- gostei muito
- 7- gostei moderadamente
- 6- gostei ligeiramente
- 5- nem gostei/nem desgostei
- 4- desgostei ligeiramente
- 3- desgostei moderadamente
- 2- desgostei muito
- 1- desgostei extremamente

Comentários: \_\_\_\_\_

5. Por favor, **PROVE** o **SALGADINHO** e indique, na escala abaixo, o quanto você gostou ou desgostou da

**DUREZA** do mesmo:

**Valor:** \_\_\_\_\_

- 9- gostei extremamente
- 8- gostei muito
- 7- gostei moderadamente
- 6- gostei ligeiramente
- 5- nem gostei/nem desgostei
- 4- desgostei ligeiramente
- 3- desgostei moderadamente
- 2- desgostei muito
- 1- desgostei extremamente

Comentários: \_\_\_\_\_

6. Por favor, **PROVE** o **SALGADINHO** e indique, na escala abaixo, o quanto você gostou ou desgostou da **CROCÂNCIA** do mesmo:

Valor: \_\_\_\_\_

- 9- gostei extremamente
- 8- gostei muito
- 7- gostei moderadamente
- 6- gostei ligeiramente
- 5- nem gostei/nem desgostei
- 4- desgostei ligeiramente
- 3- desgostei moderadamente
- 2- desgostei muito
- 1- desgostei extremamente

Comentários: \_\_\_\_\_

7. Agora, por favor, **PROVE** a **SALGADINHO** e indique, na escala abaixo, o quanto você gostou ou desgostou

**DE UM MODO GERAL** do mesmo:

Valor: \_\_\_\_\_

- 9- gostei extremamente
- 8- gostei muito
- 7- gostei moderadamente
- 6- gostei ligeiramente
- 5- nem gostei/nem desgostei
- 4- desgostei ligeiramente
- 3- desgostei moderadamente
- 2- desgostei muito
- 1- desgostei extremamente

Comentários: \_\_\_\_\_

8. Comente o que você **mais gostou e menos gostou no produto.**

+ Gostou: \_\_\_\_\_

- Gostou: \_\_\_\_\_

9. Com base na sua opinião, indique, na escala abaixo, sua atitude se você encontrasse este produto à venda.

**Se eu encontrasse este SALGADINHO à venda eu:**

- certamente compraria
- possivelmente compraria
- talvez comprasse/talvez não comprasse
- possivelmente não compraria
- certamente não compraria

10. Você é consumidor de salgadinhos?

SIM     NÃO



## **Anexo B - Termo de consentimento livre e esclarecido**

**Projeto de Pesquisa** - - *Snacks* extrudados à base de farinhas de milho e quinoa: desenvolvimento, otimização e caracterização.

**Responsável pela pesquisa: Vanina Helen de Castro Terezan**

**Nome completo do entrevistado:** \_\_\_\_\_

**e-mail:** \_\_\_\_\_ **fone:** \_\_\_\_\_

**Data Nascimento:** \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_ **RG:** \_\_\_\_\_

Este trabalho tem por objetivo o desenvolvimento de *snacks* extrudados de milho com incorporação de farinha de quinoa. O objetivo desta adição é a obtenção de produto de fácil consumo e melhor valor nutricional.

O provador analisará três amostras, individualmente, avaliando: aparência, cor, odor, sabor, dureza, crocância, aceitação global e intenção de compra. A duração da sensorial será de cerca de 10 minutos.

**Seção 1.01 O(a) entrevistado(a) durante o projeto, terá toda a liberdade para questionamento de qualquer dúvida e esclarecimento sobre a pesquisa a ser realizada bem como poderá deixar de participar da pesquisa a qualquer tempo, sem prejuízos. Não há riscos previsíveis decorrente da pesquisa em questão. Não há**

necessidade de reembolso em dinheiro ou qualquer espécime, uma vez que a participação na pesquisa não gera custos para o voluntário. As informações fornecidas são confidenciais. Uma cópia do termo de consentimento livre e esclarecido será entregue ao voluntário.

**Membros da Equipe:**

VANINA HELEN DE CASTRO TEREZAN – Tel:

FERNANDA PAULA COLLARES QUEIROZ – Tel:

**Comitê de Ética em Pesquisa em caso de reclamações:**

**Fone: (19) 3521-8936**

**Endereço: Rua Tessália Vieira de Camargo, 126 – Caixa Postal – 6111 CEP: 13083-87**

**e-mail: cep@fcm.unicamp.br**

Data: 26/11/2010

Assinatura do responsável pela pesquisa: \_\_\_\_\_

Assinatura do entrevistado: \_\_\_\_\_

# Anexo C – Parecer do Comitê de Ética



FACULDADE DE CIÊNCIAS MÉDICAS  
COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA

[www.fcm.unicamp.br/pesquisa/etica/index.html](http://www.fcm.unicamp.br/pesquisa/etica/index.html)

CEP, 16/12/08.  
(Grupo III)

**PARECER CEP:** Nº 1102/2008 (Este nº deve ser citado nas correspondências referente a este projeto)  
**CAAE:** 0871.0.146.000-08

## I - IDENTIFICAÇÃO:

**PROJETO:** “SNACKS EXTRUDADOS À BASE DE FARINHAS DE MILHO E QUINOA: DESENVOLVIMENTO, ORGANIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO”.

**PESQUISADOR RESPONSÁVEL:** Vanina Helen de Castro Terezan

**INSTITUIÇÃO:** Faculdade de Engenharia de Alimentos/UNICAMP

**APRESENTAÇÃO AO CEP:** 10/12/2008

**APRESENTAR RELATÓRIO EM:** 16/12/09 (O formulário encontra-se no *site* acima)

## II - OBJETIVOS

Desenvolvimento de snacks, por processo de extrusão termoplástica, à base de farinha de milho com a incorporação de farinha integral de quinoa, visando o aumento do valor nutricional.

## III - SUMÁRIO

Projeto de doutorado, trata-se de um estudo experimental com farinhas de milho e quinoa na composição de snacks aromatizados que serão submetidos a teste sensorial. Serão recrutados 30 sujeitos (alunos e funcionários) que utilizarão uma escala hedônica de 9 pontos, com extremos de classificação “gostei extremamente” e “desgostei extremamente” e os atributos avaliados são: aparência, crocância, cor, odor, sabor e aceitação global. Para o teste de intenção de compra será utilizada uma escala de cinco pontos sendo 1=certamente não compraria e 5=certamente compraria. Não há desconforto ou riscos previstos para os sujeitos. Os dados do teste de aceitação serão submetidos à análise de variância (ANOVA), com fonte de variação (provador), teste de média Tukey e por análise gráfica (histograma). Para escala de intenção de compra será utilizada somente apresentação gráfica. Apresenta cronograma, orçamento que aguarda financiamento do CNPQ, instrumento de coleta de dados, autorização do diretor da FEA e o termo de Consentimento Livre e Esclarecido que precisa ser reformulado para contemplar as exigências do CEP e legislação. Responsáveis vão preencher questionários para caracterização, informações alimentares e de prática de atividade física também serão coletados dados antropométricos. Não há desconforto ou riscos previstos para os sujeitos, serão excluídos àqueles com impossibilidade de avaliação antropométrica, rebaixamento mental ou sem telefone para contato. Os dados serão analisados por regressão logística e regressão linear múltipla. Apresenta cronograma, orçamento, instrumento de coleta de dados, autorização do diretor da instituição e o termo de Consentimento Livre e Esclarecido que contempla a característica dos sujeitos de grupo vulnerável, conforme legislação.

Comitê de Ética em Pesquisa - UNICAMP  
Rua: Tessália Vieira de Camargo, 126  
Caixa Postal 6111  
13084-971 Campinas – SP

FONE (019) 3521-8936  
FAX (019) 3521-7187  
[cep@fcm.unicamp.br](mailto:cep@fcm.unicamp.br)

- 1 -



#### IV - COMENTÁRIOS DOS RELATORES

O estudo está bem fundamentado será útil para disponibilizar no mercado um produto de boa qualidade, com maior valor nutricional e aceitação que não apresente toxicidade, considerando-se que crianças e adolescentes são os maiores consumidores.

#### V - PARECER DO CEP

O Comitê de Ética em Pesquisa da Faculdade de Ciências Médicas da UNICAMP, após acatar os pareceres dos membros-relatores previamente designados para o presente caso e atendendo todos os dispositivos das Resoluções 196/96 e complementares, resolve aprovar sem restrições o Protocolo de Pesquisa, bem como ter aprovado o Termo do Consentimento Livre e Esclarecido, assim como todos os anexos incluídos na Pesquisa supracitada.

O conteúdo e as conclusões aqui apresentados são de responsabilidade exclusiva do CEP/FCM/UNICAMP e não representam a opinião da Universidade Estadual de Campinas nem a comprometem.

#### VI - INFORMAÇÕES COMPLEMENTARES

O sujeito da pesquisa tem a liberdade de recusar-se a participar ou de retirar seu consentimento em qualquer fase da pesquisa, sem penalização alguma e sem prejuízo ao seu cuidado (Res. CNS 196/96 – Item IV.1.f) e deve receber uma cópia do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido, na íntegra, por ele assinado (Item IV.2.d).

Pesquisador deve desenvolver a pesquisa conforme delineada no protocolo aprovado e descontinuar o estudo somente após análise das razões da descontinuidade pelo CEP que o aprovou (Res. CNS Item III.1.z), exceto quando perceber risco ou dano não previsto ao sujeito participante ou quando constatar a superioridade do regime oferecido a um dos grupos de pesquisa (Item V.3.).

O CEP deve ser informado de todos os efeitos adversos ou fatos relevantes que alterem o curso normal do estudo (Res. CNS Item V.4.). É papel do pesquisador assegurar medidas imediatas adequadas frente a evento adverso grave ocorrido (mesmo que tenha sido em outro centro) e enviar notificação ao CEP e à Agência Nacional de Vigilância Sanitária – ANVISA – junto com seu posicionamento.

Eventuais modificações ou emendas ao protocolo devem ser apresentadas ao CEP de forma clara e sucinta, identificando a parte do protocolo a ser modificada e suas justificativas. Em caso de projeto do Grupo I ou II apresentados anteriormente à ANVISA, o pesquisador ou patrocinador deve enviá-las também à mesma junto com o parecer aprovatório do CEP, para serem juntadas ao protocolo inicial (Res. 251/97, Item III.2.e)

Relatórios parciais e final devem ser apresentados ao CEP, de acordo com os prazos estabelecidos na Resolução CNS-MS 196/96.

#### VII - DATA DA REUNIÃO

Homologado na XII Reunião Ordinária do CEP/FCM, em 16 de dezembro de 2008.

*Carla*  
**Profa. Dra. Carmen Sílvia Bertuzzo**  
PRESIDENTE DO COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA  
FCM / UNICAMP

Figura C. 1. Parecer do Comitê de Ética .

## Anexo D – Planejamento experimental

**Tabela D. 1.** Valores experimentais, previstos pelo modelo e erro para o índice de expansão (IE) dos salgadinhos expandidos

Ensaio	IE Experimental	IE Previsto pelo	
		modelo codificado	Erro (%)
1	3,49	3,44	1,54
2	3,53	3,71	-5,20
3	2,76	2,94	-6,64
4	3,34	3,29	1,52
5	3,20	3,32	-3,96
6	3,31	3,20	3,24
7	3,10	2,99	3,47
8	2,81	2,94	-4,61
9	2,98	2,93	1,72
10	3,17	3,11	1,73
11	3,81	3,75	1,38
12	3,17	3,12	1,75
13	3,56	3,44	3,35
14	3,04	3,05	-0,40
15	3,10	3,31	-6,81
16	3,50	3,31	5,27
17	3,23	3,31	-2,78
18	3,41	3,31	2,84