

DAVID MARCELO PERALBO MORA

**ALIMENTO TIPO “SNACK” EXPANDIDO A BASE DE QUINOA (*Chenopodium quinoa Willdenow*).**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2013

**Ficha catalográfica preparada pela Secção de Catalogação e  
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

P426a Peralbo Mora, David Marcelo, 1984-  
2013 Alimento tipo “snack” expandido a base de quinoa (*Chenopodium  
quinoa Willdenow*) / David Marcelo Peralbo Mora. - Viçosa, MG, 2013.  
xvii, 87f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Inclui anexo.

Orientador: Mônica Ribeiro Pirozi.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f. 77-86.

1. Quinoa - Análise. 2. Quinoa - Teor de proteína. 3. Lanches.  
I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Tecnologia de  
Alimentos. Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de  
Alimentos. II. Título.

CDD 22 ed. 641.53

DAVID MARCELO PERALBO MORA

**ALIMENTO TIPO “SNACK” EXPANDIDO A BASE DE QUINOA (*Chenopodium quinoa Willdenow*).**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 09 de setembro de 2013

---

Valéria Paula Rodrigues Minim  
(Coorientador)

---

José Benício Paes Chaves  
(Coorientador)

---

João Tomaz da Silva Borges

---

Mônica Ribeiro Pirozi  
(Orientador)

*Ao motor que enriquece meu espírito, Deus.*

*A meus pais Jorge e Luz Marina,  
a meus irmãos Gabriela, Jorge e Manuel;  
e a todos aqueles que acreditaram em mim*

*Dedico*

*Quanto mais forte você ficar,  
mais gentil você será.  
Provérbio japonês*

## **AGRADECIMENTOS**

À minha família especialmente a minha mãe Luz Marina, e a meu pai Jorge, meus irmãos Gabriela, Jorge e Manuel pelo amor, apoio e por ser exemplos de vida sem os quais não tivera conquistado nenhuma das minhas metas.

À minha Orientadora Prof<sup>a</sup> Mônica Ribeiro Pirozi, por ter me acolhido no Brasil, pela orientação, paciência e amizade.

Aos professores coorientadores Valéria Paula Rodrigues Minim e José Benício Paes Chaves pela disponibilidade e ajuda para a finalização do presente trabalho.

Ao pesquisador do CTAA/EMBRAPA-RJ, Dr. José Ascheri, pela colaboração e orientação no experimento.

Ao DTA/UFV pela infraestrutura de trabalho.

Aos amigos do LAFA: Natanielli, Ana Paula, Marandini, Flavia, Juliana, Lucas, Caroline, Vitor, Cristiano Adriz e Rafaela pelas contribuições e pela ótima convivência.

Ao amigo e pesquisador João Tomaz Borges por todos os conselhos e sugestões.

Aos meus amigos no Equador Marielisa, Karina, Pablo, Cynthia, Marco, Andrés, Iván e especialmente para meu melhor amigo Paúl, por estar sempre presentes, ouvindo e sentindo minhas dificuldades e alegrias. Obrigado pela companhia e apoio.

Ao CTAA/EMBRAPA-RJ especialmente ao equipo de trabalho do Laboratório de Reologia da Embrapa Agroindústria de Alimentos pela ajuda e boa disposição para trabalho.

Aos colegas do Laboratório de Embalagens, em especial ao Prof. Eber Medeiros pela colaboração no experimento.

A meu amigo e colega Davy Hidalgo pelos conselhos e conhecimentos compartilhados.

À “Secretaria de Educación Superior, Ciencia y Tecnologia” – SENESCYT e ao Governo Equatoriano pela concessão da bolsa de mestrado.

## **BIOGRAFIA**

David Marcelo Peralbo Mora, filho de Jorge Peralbo e Luz Marina Mora, nasceu em Quito-Ecuador em dois de abril de 1984. Engenheiro Agropecuário, formou-se em julho 2009, na “Escuela Superior Politécnica del Ejército - ESPE”. Ingresso no Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos no Departamento de Tecnologia de Alimentos (DTA) da Universidade Federal de Viçosa (UFV) em agosto de 2011.

## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS .....	ix
LISTA DE TABELAS .....	xi
LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS.....	xiii
INTRODUÇÃO .....	1
OBJETIVOS .....	3
OBJETIVO GERAL .....	3
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
1 REVISÃO DE LITERATURA .....	4
1.1 O CULTIVO DA QUINOA.....	4
1.1.1 Origem e importância.....	4
1.1.2 Classificação botânica .....	5
1.1.3 Estrutura do grão .....	6
1.1.4 Composição físico química .....	7
1.1.5 Utilização e aproveitamento alimentar .....	10
1.1.5.1 Processamento e agregação de valor .....	12
1.2 O MILHO .....	13
1.3 EXTRUSÃO TERMOPLÁSTICA .....	14
1.3.1 Componentes do extrusor.....	16
1.3.2 Etapas do processo de extrusão termoplástica.....	19
1.3.3 Fatores que interferem na qualidade dos produtos extrudados .....	19
1.3.3.1 Características da matéria-prima .....	19
1.3.3.2 Condições de operação do extrusor.....	21
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	25
2.1 LOCAL DE REALIZAÇÃO.....	25
2.2 MATÉRIA PRIMA .....	25
2.3 MÉTODOS.....	25
2.3.1 Delinheamento experimental .....	25
2.3.2 Obtenção dos “snacks” extrudados .....	27
2.3.2.1 Condicionamento das amostras .....	27

2.3.2.2	Processo de extrusão.....	28
2.3.2.3	Aromatização e embalagem dos snacks expandidos.....	30
2.3.3	Caracterização físico-química .....	30
2.3.4	Caracterização física dos “sancks” expandidos .....	30
2.3.4.1	Densidade aparente .....	31
2.3.4.2	Índice de expansão radial (IER) .....	31
2.3.4.3	Índice de solubilidade em água (ISA) e índice de absorção de Água (IAA).....	31
2.3.4.4	Cor instrumental.....	33
2.3.5	Caracterização tecnológica dos “snacks” expandidos.....	33
2.3.5.1	Textura instrumental.....	33
2.3.5.2	Viscosidade de pasta .....	34
2.3.6	Análise estatística.....	35
2.3.7	Teste de aceitação sensorial.....	35
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	37
3.1	CARACTERIZAÇÃO DAS MATÉRIAS-PRIMAS.....	37
3.1.1	Composição centesimal da materia prima .....	37
3.1.2	Análise de cor da matéria prima .....	38
3.2	CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DOS PRODUTOS EXTRUDADOS.....	40
3.2.1	Índice de expansão radial (IER).....	40
3.2.2	Densidade aparente (DA).....	45
3.2.3	Índice de solubilidade em água (ISA).....	48
3.2.4	Índice de absorção de água (IAA).....	51
3.3	CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DOS PRODUTOS EXTRUDADOS.....	54
3.3.1	Dureza dos “snacks” .....	54
3.3.2	Propriedades de pasta .....	57
3.3.2.1	Viscosidade máxima (VM).....	57
3.3.2.2	Tendência à retrogradação (TR) .....	60
3.4	SELEÇÃO DOS SNACKS PARA AVALIAÇÃO SENSORIAL.....	62
3.5	CARACTERIZAÇÃO DOS SNACKS EXPANDIDOS.....	64

3.5.1	Composição centesimal dos “snacks” .....	64
3.5.2	Determinação da cor dos “snacks” .....	65
3.6	ACEITAÇÃO SENSORIAL DOS “SNACKS” .....	67
3.6.1	Resultados do teste de aceitação sensorial para sabor .....	67
3.6.2	Resultados do teste de aceitação sensorial para textura .....	69
3.6.3	Resultados do teste de aceitação sensorial para impressão global .....	71
4	CONCLUSÕES .....	74
5	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....	76
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	77
7	ANEXOS .....	87

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Foto do grão de quinoa. Fonte: Borges, 2010..	6
<b>Figura 2.</b> Seção longitudinal de um grão de quinoa ( <i>Chenopodium quinoa Willd</i> ). PE: Pericarpio, SC: Tegumento, EN: Endosperma; C: Cotiledones, H: Hipocotilo; SA: Apice do meristemo; R: Radicula, P: Perisperma; F: Funiculo.	7
<b>Figura 3.</b> Fluxo de processamento de quinoa, com os produtos derivados.	12
<b>Figura 4.</b> Esquema das partes principais de um extrusor.	17
<b>Figura 5.</b> Desenho esquemático das zonas do parafuso de um extrusor.	17
<b>Figura 6.</b> Fluxograma para produção de “snacks” e farinha instantânea.	24
<b>Figura 7.</b> Fluxograma do processo de extrusão para a obtenção de “snacks” de quinoa e milho	29
<b>Figura 8.</b> Representação gráfica do resultado típico da força aplicada sobre “snack” expandido.	34
<b>Figura 9.</b> Foto das farinhas de quinoa (A) e de milho (B)	39
<b>Figura 10.</b> Superfície de resposta para o índice de expansão (IER) em função do teor de quinoa e da umidade inicial da mistura	42
<b>Figura 11.</b> Superfície de resposta para densidade aparente (DA) em função do teor de quinoa e da umidade inicial da mistura	46
<b>Figura 12.</b> Superfície de resposta para o índice de solubilidade em água (ISA) em função do teor de quinoa e da umidade inicial da mistura	49
<b>Figura 13.</b> Superfície de resposta para o índice de solubilidade em água (IAA) em função do teor de quinoa e da umidade inicial da mistura	52
<b>Figura 14.</b> Superfícies de resposta para dureza em função do teor de quinoa e da umidade inicial da mistura	56
<b>Figura 15.</b> Viscosidade máxima (VM) em função da umidade inicial da mistura	58
<b>Figura 16.</b> Superfície de resposta para a tendência à retrogradação (TR) em função do teor de quinoa e umidade inicial de mistura	61
<b>Figura 17.</b> Snacks selecionados para avaliação sensorial. Fila superior de esquerda a direita T1, T2 e T5. Fila inferior de esquerda a direita T11, T14 e T15.	63

<b>Figura 18.</b> Mapa de Preferência Interno do atributo sabor para snacks expandidos a base de quinoa .....	67
<b>Figura 19.</b> Distribuição das notas de análise sensorial para o atributo sabor.....	69
<b>Figura 20.</b> Mapa de Preferência Interno do atributo textura para snacks expandidos a base de quinoa.....	70
<b>Figura 21.</b> Distribuição das notas de análise sensorial para o atributo textura .....	71
<b>Figura 22.</b> Mapa de Preferência Interno do atributo impressão global para snacks expandidos a base de quinoa.....	72
<b>Figura 23.</b> Distribuição das notas de análise sensorial para o atributo impressão global.....	73

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Proteína bruta, lipídios, fibra e digestibilidade de componentes de quinoa, 84 dias após a emergência .....	7
<b>Tabela 2.</b> Composição centesimal aproximada (% base seca) de quinoa, arroz, fubá de milho e farinha de trigo .....	8
<b>Tabela 3.</b> Composição de aminoácidos essenciais (mg aminoácido/g proteína) da proteína de quinoa, milho, trigo e arroz .....	9
<b>Tabela 4.</b> Variáveis do processo de extrusão e níveis de variação .....	26
<b>Tabela 5.</b> Combinações entre os níveis, valores reais e codificados das variáveis independentes.....	27
<b>Tabela 6.</b> Composição centesimal das matérias-primas.....	37
<b>Tabela 7.</b> Resultado de luminosidade L* e parâmetros de cor a* e b* das matérias primas .....	38
<b>Tabela 8.</b> Resultados obtidos das variáveis respostas analisadas pelo delineamento composto central rotacional (DCCR) .....	40
<b>Tabela 9.</b> Constante e Coeficientes de regressão para a resposta índice de expansão radial (IER).....	41
<b>Tabela 10.</b> Análise de variância para o índice de expansão radial (IER).....	41
<b>Tabela 11.</b> Constante e Coeficientes de regressão para a resposta densidade aparente (DA).....	45
<b>Tabela 12.</b> Análise de variância para a densidade aparente (DA).....	45
<b>Tabela 13.</b> Constante e Coeficientes de regressão para a resposta índice de solubilidade em água (ISA) .....	48
<b>Tabela 14.</b> Análise de variância para o índice de expansão (ISA).....	49
<b>Tabela 15.</b> Constante e Coeficientes de regressão para a resposta índice de absorção de água (IAA) .....	50
<b>Tabela 16.</b> Análise de variância para o índice de expansão (IAA).....	51
<b>Tabela 17.</b> Resultados obtidos das respostas tecnológicas analisadas pelo delineamento composto central rotacional (DCCR) .....	54

<b>Tabela 18.</b> Constante e Coeficientes de regressão para a resposta dureza .....	55
<b>Tabela 19.</b> Análise de variância para dureza .....	55
<b>Tabela 20.</b> Constante e Coeficientes de regressão para a resposta viscosidade máxima (VM) .....	57
<b>Tabela 21.</b> Análise de variância para viscosidade máxima (VM) .....	58
<b>Tabela 22.</b> Constante e Coeficientes de regressão para a resposta tendência à retrogradação (TR).....	60
<b>Tabela 23.</b> Análise de variância para tendência à retrogradação (TR).....	60
<b>Tabela 24.</b> Tratamentos de “snacks” expandidos a base de quinoa selecionados para análise sensorial .....	63
<b>Tabela 25.</b> Composição centesimal dos snacks expandidos selecionados .....	64
<b>Tabela 26.</b> Luminosidade L* e parâmetros de cor a* e b* dos snacks expandidos de quinoa e milho selecionados .....	66

## LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

A	Área sob a curva da força que provocou a deformação (mm <sup>2</sup> )
ACP	Análise de Componentes Principais
AOAC	Association of Official Agricultural Chemists
cP	Centipoise
CP	Componente Principal
d	distância que o produto foi comprimido (mm)
D	Diâmetro do extrudado
DA	Densidade Aparente
DCCR	Delineamento Composto Central Rotacional
FAO/WHO	Food and Agriculture Organization/World Health Organization
HTST	High Temperature Short Time
IAA	Índice de Absorção de Água
IER	Índice de Expansão Radial
ISA	Índice de Solubilidade em Água
L	Cumprimento do extrudado
m	Massa do extrudado
NASA	National Aeronautics and Space Administration
N <sub>0</sub>	Número total de picos
QV	Quebra de viscosidade ou “Breakdown”
RSIN	Reflectance Specular Included
R <sup>2</sup>	Coefficiente de determinação
SAS	Statistical Analysis System
TR	Tendência à retrogradação ou “Setback”
V	Viscosidade
VM	Viscosidade Máxima

## RESUMO

PERALBO, David Marcelo Mora, M. Sc., Universidade Federal de Viçosa, setembro de 2013. **Alimento tipo “snack” expandido a base de quinoa (*Chenopodium quinoa Willd*)**. Orientadora: Mônica Ribeiro Pirozi. Coorientadores: Valéria Paula Rodrigues Minim e José Benício Paes Chaves.

No presente trabalho, foram desenvolvidos *snacks* expandidos à base de quinoa, pelo processo de extrusão termoplástica. A quinoa (*Chenopodium quinoa*) é um pseudocereal de importante potencial agrônomico e alto valor nutricional, apresentando elevado teor de proteína. As matérias-primas foram caracterizadas quanto a sua composição centesimal e cor. Para verificar quais variáveis influenciariam as propriedades dos *snacks* expandidos, foi realizado um delineamento composto central rotacional (DCCR) cujas variáveis independentes foram (X1) teor de quinoa; (X2) umidade inicial de mistura e (X3) temperatura da 3ª zona de extrusão. As variáveis dependentes avaliadas foram: índice de expansão radial (IER); densidade aparente (DA); dureza; índice de solubilidade em água (ISA); índice de absorção de água (IAA); e as propriedades de pasta, viscosidade máxima (VM) e tendência à retrogradação (TR). Os resultados foram analisados por metodologia de superfície de resposta. Não se encontraram efeitos significativos para a variável temperatura da 3ª zona de extrusão. O baixo conteúdo de umidade, em combinação com baixos teores de quinoa resultaram em produtos de alta expansão e baixa densidade aparente. A diminuição no teor de quinoa e umidade inicial de mistura ocasionaram aumento da dureza do *snack*. Os valores de ISA estão inversamente relacionados com o teor de quinoa e umidade da mistura, e o maior valor de IAA foi obtido com níveis médios para as variáveis avaliadas, correspondente ao ponto central do delineamento. A VM aumenta quanto maior a umidade inicial da mistura, e os maiores valores para TR foram observados com mais baixo teor de quinoa (36 %) e alta umidade de mistura (16 %). Com base nestes resultados, seis tratamentos foram selecionados e caracterizados quanto a sua composição centesimal e cor e depois submetidos a teste de aceitação sensorial

para os atributos sabor, textura e impressão global. Os tratamentos escolhidos contêm um alto teor de proteína e lipídeos principalmente, já na composição da cor apresentaram tom amarelo e sub-tom vermelho, e a farinha de quinoa se mostrou mais escura que a de milho mas isto não influenciou diretamente na luminosidade dos snacks, obtendo-se valores no intervalo de 79,80 a 81,30. Na análise de aceitação sensorial, os tratamentos selecionados receberam notas médias de 5 a 7 na escala hedônica de 9 pontos, localizando-se na categoria “indiferente” a “gostei moderadamente”, sendo o *snack* de maior aceitação processado com 60% de quinoa, 13% de umidade inicial de mistura e temperatura de 140°C na 3ª zona de extrusão.

## ABSTRACT

PERALBO, David Marcelo Mora, M. Sc., Universidade Federal de Viçosa, september, 2013. **Food type "snack" expanded based in (*Chenopodium quinoa Willd*).** Advisor: Mônica Ribeiro Pirozi. Co-advisers: Valéria Paula Rodrigues Minim and José Benício Paes Chaves.

In the present work, were developed by thermoplastic extrusion process expanded snacks made from quinoa. A Quinoa, (*Chenopodium quinoa Willd*), is a pseudocereal with important agronomic potential and a high nutritional value, with high protein content. The raw materials were characterized for their chemistry composition and color. To check which parameters influence the properties of snacks expanded, there was a central composite rotational design (DCCR) whose independent variables (X1) content of quinoa ; (X2) initial moisture mixing and (X3) Temperature of the 3<sup>th</sup> extruder zone. The dependent variables evaluated were: (i) the radial expansion index (IER) , (ii) the apparent density (DA) ( iii ) hardness (iv) water solubility index (ISA) (v) water absorption index (IAA), and properties of fluids (vi) maximum viscosity (VM) and (vii) set back (TR) . The results were analyzed by response surface methodology. No significant effects were found for the variable Temperature of the 3<sup>th</sup> extruder zone. The low moisture content, in combination with low levels of quinoa resulted in high-growth and low density. While a decrement in the content of quinoa and initial moisture mixing caused increasing hardness. ISA values are inversely related to the content of quinoa and initial moisture mix, and the highest value of IAA was obtained with average levels for the variables evaluated , corresponding to the central point of the design. The answer VM increases when the initial moisture mixing increase too, and the highest values for TR were obtained under conditions of low content of quinoa (36 %), and high humidity mixing (16 %). Based on these results, six treatments were selected and analyzed for their chemical composition, color and testing sensory of acceptance for this attributes, flavor, texture and overall impression. The treatments chosen contains a high content of protein and lipids. In your color composition they were tone yellow and sub - tone red, a quinoa flour was

more dark than corn but this did not affect directly the luminosity of snacks, getting values were in the range 79,80 to 81,30 . In the analyzing for sensory acceptance, the treatments selected obtained scores 5-7 on a hedonic 9 point scale, locating the category "indifferent " to " like moderately " , and the greater acceptance of snack processed with 60 % of quinoa, 13 % of initial moisture of the mixture and 140 ° C in the 3<sup>th</sup> extrusion zone.

## INTRODUÇÃO

A quinoa (*Chenopodium quinoa Willd*) é uma planta nativa dos Andes de grande potencial agroindustrial, cuja proteína dos grãos contem todos os aminoácidos essenciais. Domesticada na região andina e utilizada há milhares de anos como uma importante fonte de alimentos de qualidade. No Brasil sua introdução iniciou-se na década de 90, mas seu consumo é limitado em virtude de seu alto custo de importação e ao desconhecimento geral da população.

As características nutricionais deste pseudocereal o tornam matéria-prima desejável na alimentação e nutrição humana, em decorrência de seu alto conteúdo protéico e composição de aminoácidos essenciais (considerada similar ao leite) com teores próximos ao recomendado pela FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). Os teores de vitaminas, especialmente vitamina “E” e riboflavina, assim como de minerais são relativamente elevados. Os lipídios presentes na semente possuem um perfil semelhante ao dos óleos vegetais de boa qualidade nutricional. Outra característica interessante é a ausência das proteínas formadoras do glúten em sua composição, sendo uma boa alternativa no desenvolvimento de alimentos para celíacos.

Os “snacks” são alimentos muito populares, mas muito criticados quanto a seus benefícios para a saúde. A extrusão termoplástica constitui uma tecnologia que vem sendo muito utilizada na indústria alimentícia na fabricação de misturas enriquecidas, permitindo o desenvolvimento de novos produtos e o aproveitamento de subprodutos.

A crescente exigência do consumidor por alimentos com qualidade sensorial, nutricional e que tragam benefícios à saúde incentivam o estudo de novos ingredientes para a indústria de alimentos. Iniciativas da pesquisa e da experimentação com quinoa como matéria prima destinada ao desenvolvimento de produtos de maior valor agregado, especificamente de *snacks* com apelo nutricional certamente trarão grandes recompensas à área de Ciência e Tecnologia de Alimentos no sentido de estimular novos estudos com a matéria

prima, já que originarão novas técnicas e metodologias nas indústrias de processamento, transformando a produção de pequena para grande escala e atingindo as necessidades do consumidor.

Com a realização deste projeto, espera-se desenvolver um produto tipo *snack* a base de Quinoa, e produzir informações tecnológicas e nutricionais importantes para o aumento do consumo deste grão na alimentação humana, tendo em vista seu potencial de cultivo no Brasil e suas altas características nutricionais, bem como a diversificação das opções de consumo. A análise sensorial dos snacks deverá apontar o produto com maior aceitação, assim como informação básica no campo de Ciência e Tecnologia de Alimentos em estudos futuros com quinoa.

## **OBJETIVOS**

### **a) Objetivo Geral**

Desenvolver um produto expandido tipo “snack” a base de grãos de quinoa, por meio de extrusão termoplástica.

### **b) Objetivos Específicos**

- Determinar a composição centesimal da quinoa e dos produtos extrudados;
- Estudar o efeito das variáveis umidade da matéria prima, temperatura de extrusão termoplástica e adição de quinoa sobre propriedades físico-químicas e tecnológicas dos produtos extrudados desenvolvidos;
- Caracterizar os “snacks” produzidos em função da sua densidade aparente, cor e textura;
- Determinar o índice de expansão, índice de absorção de água, índice de solubilidade em água e propriedades de pasta dos “snacks” produzidos;
- Avaliar a aceitação sensorial dos “snacks” desenvolvidos.

## **1. REVISÃO DE LITERATURA**

### **1.1. O CULTIVO DA QUINOA**

#### **1.1.1. Origem e importância**

A quinoa é uma espécie granífera, domesticada pelos povos habitantes da Cordilheira dos Andes, há milhares de anos (SPEHAR e SANTOS, 2002). Originária da América do Sul tem sido cultivada em diferentes regiões desse continente, em países como Colômbia, Chile, Bolívia, Equador e Peru, sendo recentemente introduzida na Europa, América do Norte, Ásia e África (SPEHAR e SANTOS, 2002; BRADY et al., 2007; NSIMBA et al., 2008).

É um pseudocereal, cultivado principalmente na região andina. Tem sido descrita como uma importante fonte de proteínas de alta digestibilidade e apresenta composição equilibrada de aminoácidos e alto teor de lipídios, composto principalmente de ácidos graxos insaturados. Atrai a atenção dos pesquisadores por causa da sua superior qualidade nutricional em relação a outros cereais (GEWEHR et al., 2012).

A espécie foi adaptada a diferentes condições agro-climáticas, de solo e culturais, fazendo com que a planta apresente uma ampla adaptação desde o nível do mar até 4000 m e com ciclo variando de 80 a 150 dias nas condições do Brasil Central. É muito utilizada nas diversas comunidades étnicas de acordo com suas necessidades alimentares. A quinoa era cultivada e utilizada pelas civilizações pré-hispânicas, sendo substituída por cereais na chegada dos espanhóis com o objetivo de reduzir a importância religiosa e social que apresentava (MUJICA et al., 2001).

O cultivo de quinoa na região andina se espalhou para outros países da América do Sul por meio de programas de pesquisa e cooperativas de transferência de tecnologia. O plantio da semente para fins de pesquisa no Brasil teve início na década de 1990, como parte do esforço para diversificar o sistema

de produção do Bioma Cerrado. Durante o processo de seleção, foram obtidos vários genótipos, originando o cultivar BRS Piabiru, sendo, portanto, a primeira recomendação para o cultivo no país, com rendimento médio de grãos de aproximadamente 2,8 t/ha (SPEHAR e SANTOS, 2002; SPEHAR et al., 2003; ROCHA, 2008).

No Brasil, a demanda por quinoa tem sido crescente. Sendo encontrados no mercado produtos como farinha de quinoa, quinoa em grãos e em flocos, barras de cereais, produtos de panificação e bebidas. Como a produção brasileira deste grão ainda não consegue atender esta demanda, a importação se faz necessária. Diante deste cenário, o cultivo desta granífera torna-se uma opção interessante para o produtor rural. Pesquisadores acreditam que a produção comercial deste grão no Brasil é apenas uma questão de tempo (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 2011). Preços atrativos fazem aumentar o interesse de produtores, pesquisadores e indústria alimentícia (BORGES et al., 2010).

Este grão é considerado pela FAO e pela OMS como altamente nutritivo, sem glúten, o que permite também ser consumida pelas pessoas com doença celíaca (alergia ao glúten) (SORAIDE, 2011).

### **1.1.2. Classificação botânica**

A quinoa pertence à família Chenopodiaceae, a mesma de outras plantas alimentares e medicinais como o espinafre e a beterraba. O gênero *Chenopodium* apresenta-se distribuído pelo mundo, com várias espécies, cerca de 250 identificadas. Dessas, destacam-se *C. quinoa*, *C. palidicaule* (de origem andina) e *C. berlandieri ssp. nutaliae* (de origem mexicana) como pseudocereais da América (SPEHAR et al., 2003).

Pela proximidade da composição organo-mineral à dos cereais, no entanto, sem pertencer à mesma família botânica, a quinoa é frequentemente referida como um “pseudocereal” (SPEHAR, 2002).

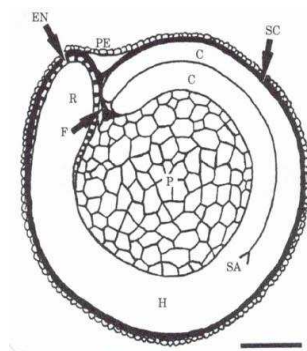
### 1.1.3. Estrutura do grão

O nome quinoa se aplica tanto à planta quanto ao grão, um fruto do tipo aquênio, que amadurece enquanto a planta seca, permitindo sua colheita mecanizada. Como se pode ver na Figura 1, tem forma cilíndrica, achatada e tamanho variando de 2 a 2,5 mm de diâmetro e 1,2 a 1,6 mm de largura (TAPIA, 1997; SPEHAR e SANTOS, 2002). Apresenta como principais estruturas anatômicas o pericarpo, o episperma (testa), o perisperma e o embrião (radícula e cotilédones), (Figura 2) sendo por esta razão considerada semente. Sua cor é resultante da combinação da coloração do pericarpo e do episperma. O pericarpo pode ser translúcido, branco, amarelo, rosa, vermelho, laranja, marrom, cinza ou preto. Quando este tem cores claras o perisperma é branco, os frutos escuros têm episperma marrom ou preto (KOZIOL, 1993; PREGO et al., 1998).



**Figura 1:**-Grão de quinoa.

O perisperma é o principal tecido de armazenamento, composto principalmente de amido. É de cor branca, correspondendo a 60% da superfície da semente, cujas células são maiores do que aquelas do endosperma, possuem forma poligonal e paredes finas e retas, com grandes agregados de amido (compostos de milhares de grânulos) (MUJICA et al., 2001).



**Figura 2.** Seção longitudinal do grão quinoa (*Chenopodium quinoa Willd.*). PE: Pericarpo, SC: Tegumento, EN: Endosperma; C: Cotilédones, H: Hipocotilo; SA: Apice do meristemo; R: Radicula, P: Perisperma; F: Funiculo. Fonte: PREGO et al., 1998.

#### 1.1.4. Composição físico-química

A quinoa apresenta um alto valor nutricional (Tabela 1) sendo o único alimento vegetal conhecido que fornece todos os aminoácidos essenciais para o ser humano, com valores próximos aos estabelecidos pelo *Food and Agriculture Organization* (FAO), podendo ser considerada como proteína de excelente qualidade (MUJICA et al., 2001). Apresenta maior quantidade de proteína e mais equilíbrio na distribuição de aminoácidos essenciais do que os cereais, assemelhando-se à caseína do leite (SPEHAR e SOUZA, 1993; ASCHERI et al., 2002). Isso tem contribuído para sua popularização como alimento alternativo, em especial nos países desenvolvidos (SPEHAR e SANTOS, 2002).

**Tabela 1.** Proteína bruta, lipídios, fibra e digestibilidade de componentes de quinoa, 84 dias após a emergência.

Componente	Proteína Bruta (%)	Lipídeos (%)	Fibra (%)	Digestibilidade
Panícula	23,45	5,03	27,84	87,32
Folha	18,54	4,53	27,84	74,95
Caule	3,84	1,08	72,99	37,34

Fonte: Resultados do Laboratório de Química Analítica da Embrapa, 2001; citado por (SPEHAR; 2006).

Ogungbenle (2003) estudando as características químicas de farinha de quinoa registrou os seguintes teores: 13,5% de proteína, 6,3% de lipídios, 9,5% fibra bruta, 1,2% cinzas totais, 58,3% de carboidratos (com base de 11% de

umidade), além de altas proporções de D-xilose (120,0 mg 100 g<sup>-1</sup>), maltose (101,0 mg 100 g<sup>-1</sup>) e baixos teores de glicose (19,0 mg 100 g<sup>-1</sup>) e frutose (19,6 mg 100 g<sup>-1</sup>).

Em proteínas e fibras, a quinoa supera os cereais (arroz, milho, cevada e trigo), mas está abaixo das leguminosas (feijão e soja). O valor energético deste grão é semelhante ao dos cereais e inferior ao da soja. Na Tabela 2, apresentam-se os teores de compostos orgânicos e cinzas. Além de apresentar alta qualidade nutricional, este grão é isento de glúten, característica que possibilita maior variedade e oferta de produtos alimentícios mais nutritivos e adequados aos portadores da doença celíaca ou consumidores que queiram abster-se do consumo de glúten.

**Tabela 2.** Composição centesimal aproximada (% base seca) de quinoa, arroz, fubá de milho e farinha de trigo

<b>Composição</b>	<b>Quinoa<sup>1</sup></b>	<b>Arroz<sup>2</sup></b>	<b>Fubá de milho<sup>2</sup></b>	<b>Farinha de trigo<sup>2</sup></b>
Lipídeos	5,77	0,35	2,15	1,61
Proteína	16,12	8,30	8,13	11,26
Cinzas	2,83	0,58	0,68	0,92
Carboidratos totais	75,28	90,77	89,04	86,21
Fibra alimentar	9,59	1,84	5,31	2,64

Fonte: <sup>1</sup>Wright et al, (2002), <sup>2</sup>Nepa (2011).

O grão possui gosto levemente amargo devido que apresenta substâncias como saponinas, sapogeninas, fracção de esqualeno, terpenóides, sais de ácidos graxos e oxalatos de magnésio em sua superfície. Por este motivo, em alguns casos, quando não é adequadamente lavado pode apresentar aroma picante e rançoso (SORAIDE, 2011).

A seguir, apresenta-se uma descrição resumida das características de cada componente do grão de quinoa e seus prováveis usos.

**Proteínas.** – A quinoa é o único alimento vegetal que possui proteína de qualidade, contem os 21 aminoácidos indispensáveis para o ser humano, alguns dos ecotipos estudados, atingem até 17,54% de proteína (SORAIDE, 2011). Para Brinegar et al. (1996) e Jancurová et al. (2009), albuminas e globulinas compõem

a maior parte da proteína deste grão (44-47%) enquanto que as prolaminas estão presentes em baixas concentrações (0,5-0,7%). Supera os cereais no conteúdo de proteína, com base na matéria seca (Tabela 2). Na Tabela 3, a composição da grão é comparativamente superior à dos cereais e leguminosas em lisina e metionina. Os teores dos aminoácidos essenciais, por serem elevados, possibilitam combinações favoráveis com cereais e leguminosas e tornam a dieta mais equilibrada (ASCHERI et al., 2002).

**Tabela 3.** Composição de aminoácidos essenciais (mg aminoácido/g proteína) da proteína de quinoa, milho, trigo e arroz

Aminoácidos essências	mg aminoácido/g proteína				
	Quinoa <sup>1</sup>	Milho <sup>2</sup>	Trigo <sup>2</sup>	Arroz <sup>3</sup>	Padrão FAO/WHO <sup>4</sup>
Fenilalanina + Tirosina	71,90	98,92	92,85	78,70	63
Histidina	36	31,83	23,41	22,70	19
Isoleucina	42	23,35	23,81	36	28
Leucina	69,30	134,78	81,48	68	66
Lisina	44,50	25,96	25,87	22,70	58
Metionina + Cistina	25,70	22,21	18,12	32	25
Treonina	43	30,36	24,67	33,30	34
Triptófano	nd.*	nd	Nd	nd	11
Valina	46,20	27,34	27,89	51	35

Fonte: <sup>1</sup>Borges et al. (2003), <sup>2</sup>Pires et al. (2006), <sup>3</sup>Lindeboom (2005), <sup>4</sup>FAO/WHO (1985), \*nd: Não determinado.

**Gorduras.** – O teor lipídico da quinoa varia de 5 a 7%, sendo rico em ácidos graxos essenciais como linoléico e  $\alpha$ -linolênico, apresentando alta concentração de antioxidantes como  $\alpha$ -tocoferol e  $\gamma$ -tocoferol (ANDO et al., 2002; REPO-CARRASCO et al. 2003; NG et al., 2007; ABUGOCH, 2009). Uma comparação do perfil de ácidos graxos do óleo do grão com aquele presente no milho e soja revelou quantidades semelhantes para os ácidos graxos linoléico (C18:2), oléico (C18:1) e linolênico (C18:3), correspondendo a aproximadamente 88% dos ácidos graxos totais da semente.

**Fibras.** – As fibras do grão correspondem em média a 3,8%, sendo este nível maior do que aqueles encontrados no arroz, milho e trigo (PREGO et al., 1998; ASCHERI et al., 2002; LINDEBOOM, 2005). Aproximadamente 87% das

fibras são insolúveis, não sendo considerada fonte significativa de fibras solúveis (RANHOTRA et al., 1993).

**Minerais.** – Ando et al. (2002) e Konish et al. (2004) analisaram o conteúdo de minerais no grão de quinoa polida (100 g de amostra), obtendo dentre os minerais analisados, teores consideráveis de cálcio (55,1 a 91,8 mg), fósforo (360,2 a 411,0 mg), potássio (639,3 a 732,0 mg), magnésio (415,2 a 502,0 mg) e ferro (9,2 a 15,0 mg), cujos valores são superiores àqueles presentes em cereais como trigo, centeio, arroz, milho e aveia (COULTER; LORENZ, 1991; RANHOTRA et al., 1993).

**Amido.** – O grão apresenta a maior parte dos carboidratos na forma de amido, cujos grânulos são consideravelmente menores que os de milho e de trigo. Quanto menor o tamanho do grânulo de amido, mais estável, o que favorece seu uso na indústria de alimentos. O conteúdo de amido pode variar de 51 a 61%, consistindo de grânulos de tamanho uniforme e pequenos (inferior a 3 µm de diâmetro) (PREGO et al., 1998; ASCHERI et al., 2002; LINDEBOOM, 2005).

O grão possui saponinas no pericarpo, que devem ser eliminadas antes de ser consumido, devido ao gosto amargo e à sua atividade hemolítica. Métodos úmidos são geralmente empregados para a remoção destas substâncias e as condições mais favoráveis são um período de 30 minutos de imersão em água a 70 °C e agitação por 20 minutos (REPO-CARRASCO et al., 2003).

#### **1.1.5. Utilização e aproveitamento alimentar**

Apesar de seu consumo estar restrito a alguns países e, além disso, dentro de algumas regiões, o potencial da quinoa como fonte nutricional é elevado. O interesse no seu aproveitamento é reconhecido por órgãos internacionais como a Food and Agriculture Organization/World Health Organization (FAO/WHO) e a National Aeronautics and Space Administration (NASA) (DINI et al., 2006; COMAI et al., 2007; JANCUROVÁ et al., 2009), por exemplo, sendo necessário o

desenvolvimento de produtos de qualidade sensorial adequada, como forma de viabilizar sua incorporação à alimentação humana.

Na perspectiva de ser produzida em larga escala no Brasil, no plantio em sucessão (safrinha), poder-se-á utilizar o grão na indústria de alimentos e rações (SPEHAR, 2002). Em sistemas integrados de agricultura e pecuária, a planta inteira tem utilidade na alimentação animal (SPEHAR e SANTOS, 2002). Portanto, sua integração ao sistema produtivo será tanto maior quanto mais diversificadas forem as formas de utilização.

Os fatores que tornam a quinoa atrativa no sistema de produção são as características de composição do grão e da planta. Se considerarmos que a composição em aminoácidos essenciais é bastante aproximada à da caseína, não é de se estranhar que as crianças, após o desmame, passassem a consumi-la em forma de papas ou mingaus, como ainda hoje se percebe entre os habitantes da zona rural (ASCHERI et al., 2002).

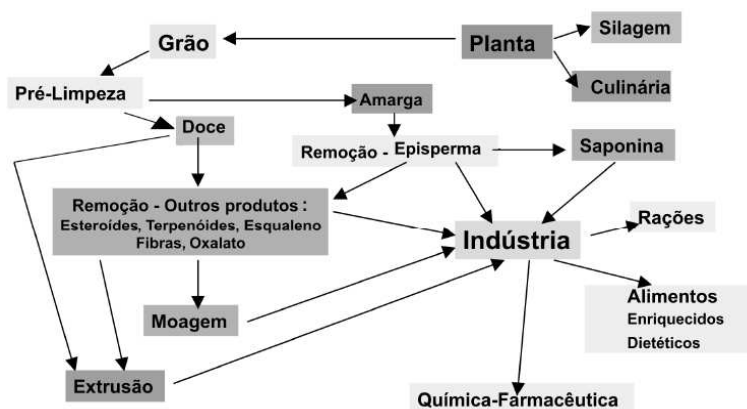
Na alimentação de humanos adultos, faz parte de uma série de pratos, nos quais contribui com a melhoria da qualidade alimentar e sabor típico; usa-se também como alimento de idosos e convalescentes. Cita-se ainda seu emprego em regimes especiais para pacientes celíacos (pessoas alérgicas ao glúten), além de vegetarianos e outros consumidores que optam por retirar glúten da dieta. Na alimentação animal, tanto o grão como a planta inteira podem ser utilizados com vantagens sobre os produtos concorrentes. Amido especial, gorduras, vitaminas B e E e minerais encontrados no grão criam novas oportunidades de utilização (SPEHAR, 2002; ASCHERI et al., 2002).

O grão pode ser consumido de várias formas: cozido em água e temperado depois, como salada; cozido com temperos, de modo semelhante ao arroz; em sopas e molhos. A farinha derivada do grão pode ser utilizada na alimentação infantil e na elaboração de mingaus, pudins, pães enriquecidos, panquecas, biscoitos e bebidas (SPEHAR, 2006).

O desconhecimento de como preparar o grão e a falta de diversificação no processamento industrial fazem com que seu consumo seja mínimo, a despeito das suas boas características alimentícias. As mudanças estruturais nas matérias-primas resultantes da extrusão permitem o aproveitamento integral deste pseudocereal, que apresenta qualidade superior a outras farinhas quando comparado em termos de aminoácidos e minerais (MAGALLANES, 2009).

### 1.1.5.1. Processamento e agregação de valor

Em escala industrial, a partir da quinoa pode-se obter por extrusão, produtos como farinha instantânea e expandidos (“snacks”). Além desses produtos, substâncias nutracêuticas, podem ser obtidas para a alimentação humana. Em quaisquer dos níveis de transformação, encontram-se usos para a planta. A Figura 3 resume o processamento, com as várias etapas de transformação da quinoa em produtos de maior valor agregado. Dessa forma, estabelece-se o fluxo de produção desta granífera e desencadeia-se o mercado (SPEHAR, 2006).



**Figura 3.** Fluxo de processamento de quinoa, com os produtos derivados.  
Fonte: Spehar et al., (2003).

Os produtos à base de quinoa podem ser de interesse no contexto da saúde pública. A difusão de suas vantagens poderá incentivar seu uso desde a merenda escolar enriquecida até alimentos sofisticados para consumo da classe de maior poder aquisitivo. A busca constante por alimentos variados e saudáveis enseja a oportunidade de divulgar as propriedades nutritivas e nutracêuticas deste

grão como, por exemplo, proteína com alto valor biológico. Comercialmente encontram-se disponíveis os grãos de quinoa (integral ou polido), farinhas e flocos; podendo ser aplicados em diversos produtos, seja como ingrediente principal ou em combinação com outros, na preparação de diferentes derivados alimentícios como massas, “snacks”, cereais matinais, farinhas instantâneas, dentre outros.

Atualmente, os alimentos tipo “snacks” são importantes na dieta da maioria das pessoas, sendo utilizados para satisfazer a fome, proporcionar energia ao corpo, ou simplesmente por prazer. Mas a percepção do consumidor é que estes produtos têm pouco ou nenhum valor nutricional e não contribuem para a saúde geral (CADENA et al., 2010).

## **1.2. O MILHO**

É uma das culturas mais populares do mundo. A produção mundial é estimada em aproximadamente 792 milhões de toneladas (FAO, 2009). No Brasil, a cultura do milho só é superada pelas culturas da cana-de-açúcar e da soja. Estima-se que cerca de apenas 9,5% do grão seja processado pela indústria de moagem, para consumo humano, tais como grits, farinhas, amidos, edulcorantes, óleo, álcool para bebida, tortilhas, snacks, cereais matinais, bioplásticos, entre outros (ASCHERI, 2009). Em algumas situações constitui a ração diária de alimentação, por exemplo: no Nordeste do Brasil, é a fonte de energia para muitas pessoas que vivem no semiárido; outro exemplo está na população mexicana, que tem no milho o ingrediente básico para sua culinária (CNPMS, 2010).

O milho (*Zea mays* L.) é um alimento de baixo custo e, em função de seu potencial produtivo, composição química e valor nutritivo (Tabela 2 e 3), torna-se um dos mais importantes cereais cultivados e consumidos no mundo, além de constituir a matéria-prima base para os produtos extrudados, pelo seu alto percentual de amido (MOURA e ASCHERI, 2013).

O grits é um dos coprodutos do milho. Seu tamanho varia de 0,60 a 2 mm, o maior a abaixo de 0,60 mm, o menor (ZANOTTO; BELLAVER, 1996). A elaboração de extrudados expandidos se faz a partir da utilização do milho na forma de grits. A obtenção de produtos como grits é precedida pela produção de canjica por degerminação e esta por redução em canjiquinha. Para melhor redução do grão nesses produtos, com grau de conservação sem desenvolvimento de ranço e garantia de textura nos produtos derivados para o consumo, é necessária a eliminação do pericarpo (ASCHERI, 2009), sendo esse o milho ideal para elaboração de extrudados expandidos. Pérez et. al. (2008) demonstraram que, o uso de grits de milho contendo uma menor dureza no endosperma levou a uma maior expansão dos snacks e que, para a produção de farinhas instantâneas para sopas, cremes e purês, a temperatura ideal de processamento situa-se em torno de 170°C com umidade de 14% na matéria-prima.

### **1.3. EXTRUSÃO TERMOPLÁSTICA**

A extrusão termoplástica consiste em um processo térmico de curta duração (High Temperature Short Time) que ocorre a temperaturas elevadas, no qual materiais amiláceos e/ou proteináceos umedecidos, expansíveis, são plastificados e cozidos, pela combinação de umidade, pressão, temperatura e cisalhamento mecânico. Pesquisas têm mostrado que a extrusão termoplástica inativa os fatores antinutricionais tais como inibidores de proteases, taninos e fitatos, além de aumentar a digestibilidade das proteínas e do amido, garantindo ainda a obtenção de produtos seguros para consumo, pela eliminação de microrganismos (naturalmente presentes na matéria prima ou contaminantes) pelas altas temperaturas utilizadas (ALONSO et al., 2000; MOUQUET et al., 2003; BERRIOS, 2006; SHIMELIS e RAKSHIT, 2007).

O princípio fundamental desta tecnologia fundamenta-se na transformação de um material sólido em um fluido pela aplicação de calor, trabalho mecânico e submetê-lo a passagem através de uma matriz, promovendo assim sua termoplastificação, com a finalidade de formar um produto de características

físicas e geométricas predeterminadas. O termo termoplástico significa a capacidade de amolecer ou fundir um determinado material quando aquecido e endurecer novamente quando resfriado (GÓMEZ, 1997; GONZÁLEZ et al., 2002). Além disso, proporciona a hidratação de amidos e proteínas, homogeneização, cisalhamento, fundimento de gorduras, plastificação e expansão da estrutura alimentar (FELLOWS, 2006). Durante o processo ocorrem alterações na matéria prima, como gelatinização do amido, desnaturação de proteínas, inativação enzimática, reações de Maillard (CHUANG & YEH, 2004), formação de complexo entre amilose e lipídios e reações de degradação de vitaminas, pigmentos e fatores antinutricionais (ILO et al., 1999).

É um processo no qual a ação mecânica é combinada com o calor para gelatinizar o amido, ocorrendo uma fluidização do mesmo, permitindo criar novas texturas e formas para o produto final. É um processo muito versátil e, com modificações mínimas no equipamento básico e nas condições de processo, uma grande variedade de produtos pode ser obtida. As farinhas e féculas podem ser destinadas para a produção de alimentos extrudados práticos, como os cereais matinais, “snacks”, alimentos infantis e sopas instantâneas (ASCHERI et al., 2002; CAPRILES e ARÊAS, 2005).

Harper (1981), Lusas e Riaz (1994), Ascheri (1997), Ribas et al. (2000), Guy (2002) e González et al (2002) afirmam que o processo de extrusão possui inúmeras vantagens, tais como: cozimento rápido a alta temperatura, pois, promove a digestibilidade do amido, desnatura proteínas sem alterar sua qualidade, desativa fatores tóxicos ou antinutricionais, reduz ou elimina a carga microbiana e aumenta a vida de prateleira; homogeneização e reestruturação de matérias-primas pouco atrativas em produtos com textura e formas aceitáveis; redução da perda de nutrientes, produção contínua e em larga escala; ausência de efluentes, devido ao tempo de permanência do produto no extrusor, tendo a vantagem de realizar várias operações unitárias num processo único, rápido e eficiente; redução do custo em relação à energia, mão de obra, e outros custos de processamento pelo aumento do controle automático; versatilidade, considerada uma das características mais importantes, pois permite o uso de diversos

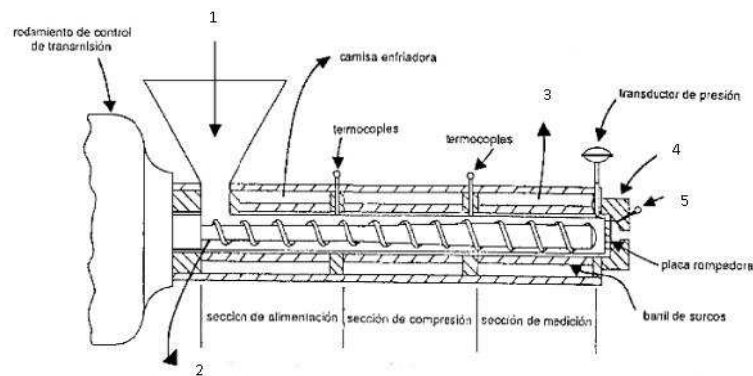
parâmetros e controle no processo, os quais se adequam ao uso de diferentes matérias-primas para produzir produtos variados utilizando-se uma máquina, mudando apenas as configurações dos vários constituintes das seções do extrusor.

O processo de extrusão termoplástica tem proporcionado numerosas aplicações, sobretudo na indústria alimentícia, na qual há elaboração de produtos, tais como cereais matinais, petiscos, “snacks”, macarrões, alimentos à base de cereais enriquecidos com proteína, bebidas em pó e proteínas de soja texturizada, farinhas e amidos pré-gelatinizados utilizados na formulação de sopas instantâneas, molhos semi-processados, produtos de confeitaria, entre outros. Esses produtos geralmente são elaborados a base de cereais como o milho e o arroz ou de amidos de raízes e tubérculos como a mandioca e a batata (CHEYNE et al., 2005; CHUANG e YEH, 2004; BALAGOPALAN, 2002; BOONYASIRIKOOL e CHARUNUCH, 2000;).

Embora a extrusão de alimentos seja considerado um processo tecnológico simples, seu controle é complexo, em virtude do número de variáveis envolvidas.

### **1.3.1. Componentes do extrusor**

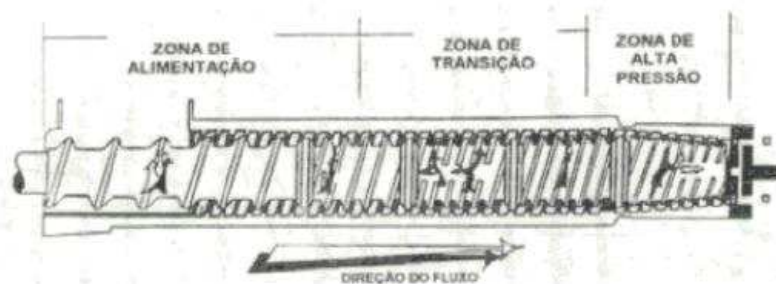
O extrusor é composto de cinco partes principais como se observa na Figura 4: (1) mecanismo de alimentação vertical ou horizontal; (2) rosca ou um parafuso sem fim, que transporta a matéria prima; (3) cilindro ou canhão, que serve para controlar a temperatura; (4) matriz que modela o produto na forma desejada, e (5) mecanismo de corte (EL-DASH, 1982).



**Figura 4.** Esquema das partes principais de um extrusor. Fonte: González, (1988).

De acordo com Gutkoski (2000), o alimentador é composto de um recipiente para receber o material a ser extrudado e de um parafuso, localizado vertical ou horizontalmente, cuja função é manter a alimentação constante e ininterrupta, o que é essencial para o funcionamento do extrusor, bem como para a homogeneidade e a qualidade do produto final. Enquanto o parafuso, considerado a parte mais importante do extrusor, ajuda a regular o grau de cozimento e a gelatinização, mistura continuamente a matéria prima, conduzindo-a pelo cilindro, gerando fricção mecânica e calor promovendo fusão e cozimento do produto.

Na Figura 5 pode-se observar que o parafuso do extrusor divide-se em 3 seções: alimentação, transição e de alta pressão.



**Figura 5.** Desenho esquemático das zonas do parafuso de um extrusor. Fonte: Silva (2002).

A função da seção ou zona de alimentação é receber o material, misturá-lo, comprimi-lo e iniciar seu transporte através do parafuso transformando-o numa massa contínua (estado homogêneo), o ar é expelido e os espaços da rosca são ocupados. Na seção ou zona de transição, conhecida como zona do amassado, a geometria do parafuso modifica-se gradualmente com decrescente altura da rosca, ou a presença de placas perpendiculares ao fluxo para restrição interna deste, os quais irão aumentar a taxa de cisalhamento e a energia mecânica, resultando em elevação da temperatura. O alimento nessa seção é trabalhado totalmente, transformando-se em uma massa de cozimento parcial (GÓMEZ, 1997; SILVA, 2002).

A zona do cozimento final ou de alta pressão é a parte mais importante do extrusor, tendo como funções receber, homogeneizar e forçar a passagem do material comprimido através da matriz, sob pressão constante. A taxa de cisalhamento é muito alta nessa seção, fazendo com que a intensidade da mistura seja aumentada e a dissipação de energia mecânica atinja o ponto máximo. O aumento da temperatura é muito rápido e alcança o máximo antes do produto emergir da matriz, assim, a massa é cozida até o grau desejado (ASCHERI, 1997).

Devido às altas pressões e ao grande cisalhamento, em temperaturas elevadas durante o processo a matéria prima que entra no processo é convertida em uma massa fundida, o que mantém a água em estado líquido. Quando essa massa sai pela matriz do extrusor, devido à mudança de pressão, a água líquida supersaturada vaporiza-se instantaneamente, passando o produto de uma massa fundida a um produto poroso, após a sua solidificação à temperatura ambiente (24 °C).

Extrusores monorosca requerem que não contenha partículas finas, enquanto o extrusor de dupla rosca tolera partículas mais finas (ROONEY e SUHENDRO, 2001).

### **1.3.2. Etapas do processo de extrusão termoplástica**

O processo de extrusão compreende as etapas de pré-extrusão, extrusão e pós-extrusão. A pré-extrusão é um pré-condicionamento, onde é feito o ajuste de umidade de matéria prima, e inclui a preparação dos ingredientes e sua mistura em proporção adequada. Após a mistura, o material é transportado para ser condicionado a um conteúdo apropriado de umidade (EL- DASH, 1982; ASCHERI e CARVALHO, 2008).

Na etapa de extrusão propriamente dita, a matéria prima é introduzida no equipamento por meio do alimentador, sendo impulsionada pelo(s) parafuso(s) em direção à matriz. À medida que o produto atravessa as diferentes zonas do parafuso, ocorre aumento gradativo do atrito mecânico provocado por modificações da geometria do parafuso e abertura da matriz. Em consequência, aumentam também a pressão e a temperatura, ocorrendo o cozimento do produto.

E a pós-extrusão que representa o tratamento no qual o produto é submetido após ter sido extrudado, destacando-se a secagem para umidades inferiores a 10%, o resfriamento e, em alguns casos a adição de sabores e temperos (BORBA, 2005; ASCHERI e CARVALHO, 2008).

### **1.3.3. Fatores que interferem na qualidade dos produtos extrudados**

Para Fellows (2006) os dois principais fatores que influenciam nas características dos produtos extrudados são: as características da matéria prima e as condições de operação do extrusor.

#### **1.3.3.1. Características da matéria prima**

As propriedades da matéria prima têm importante influência principalmente na textura e coloração do produto, devendo-se considerar como características importantes para o processamento: teor de umidade, granulometria, composição

química (teores de amidos, proteínas, gorduras, fibras e açúcares) e pH do material.

A composição da matéria prima, seu teor de umidade e tamanho de suas partículas influenciam a viscosidade do produto no extrusor. O aumento do conteúdo de água favorece o decréscimo na viscosidade do produto, que tem como primeiro efeito o abaixamento da geração de calor e, como segundo efeito, o decréscimo da queda de pressão do produto na saída da matriz (GUERREIRO, 2007). Geralmente, baixos valores de umidade estão relacionados ao maior grau de dextrinização e menor viscosidade da pasta a frio. Uma das funções da água é criar bolhas de ar, o que leva a diferenças na expansão (VERNAZA et al., 2009). O aumento da umidade diminui o grau de degradação do amido durante o aquecimento e cisalhamento devido a redução do estresse, que promove redução da viscosidade (VAN DEN EINDE et al., 2004).

A viscosidade é um fator crucial, que determina as condições de operação do extrusor e, portanto, a qualidade do produto final. Semelhantemente, a adição de ácidos para ajuste do pH causa mudanças na gelatinização do amido e no desdobramento de moléculas de proteínas. Diferenças no conteúdo de açúcares e no pH também produzem variação de cor devido a Reação de Maillard (BORBA, 2005; FELLOWS, 2006; VERNAZA et al., 2009).

Partículas pequenas, como as farinhas, são hidratadas mais facilmente e cozidas mais rapidamente que partículas maiores, alterando também a qualidade do produto. O intenso cisalhamento também pode quebrar as macromoléculas em unidades menores, resultando na redução da viscosidade (FELLOWS, 2006). A distribuição do tamanho de partículas afetará o cozimento, a expansão e a crocância relativa do produto.

Vários autores estudaram o efeito da formulação de misturas de alimentos nas características dos produtos extrudados. A inclusão de ingredientes no material amiláceo a ser extrudado influencia as características físico-químicas do produto final, podendo diminuir a gelatinização do amido (ASCHERI et al., 2006).

A qualidade sensorial de alimentos extrudados depende principalmente de sua expansão, esta conjuntamente com a estrutura dos produtos depende da gelatinização do amido, que é afetada pelas condições de processamento e pela composição da matéria prima (YANNIOTIS et al., 2007). Os parâmetros de viscosidade de pasta possibilitam a determinação e o estudo do grau de cozimento do produto extrudado e permite avaliar o comportamento do amido em meio aquoso, aplicando-se diferentes temperaturas durante o processo.

A maioria dos estudos reconhece que o amido tem um papel principal na expansão, enquanto outros ingredientes, como proteínas, açúcares, gorduras e fibras atuam como diluentes.

A adição de fibras pode afetar a matriz de amido dos produtos extrudados (EASTMAN et al., 2001). Sua adição tem sido limitada a quantidades menores que 10% em substituição à farinha, em virtude do aumento na dureza do extrudado, ocasionando problemas no processamento e diminuição da aceitabilidade pelo consumidor (ONWULATA et al., 2001).

Segundo Hsieh et al. (1993), o nível da adição de açúcar é limitado à capacidade de manter uma condição de extrusão estável. Um aumento no conteúdo do açúcar (sacarose) de 20 a 50% diminui a pressão na saída da matriz, a energia mecânica específica, e o torque, e aumenta a tendência do extrudado entrar em colapso ao esfriar. Assim, a adição deste ingrediente na formulação, leva à redução do índice de expansão radial, do volume específico e do aumento da densidade aparente.

#### **1.3.3.2. Condições de operação do extrusor**

O controle das condições do processo de extrusão é uma tarefa fundamental, pois não somente permite a obtenção de produtos com características tecnológicas variadas, mas também melhora a eficiência e economia da operação (EL-DASH, 1982). Segundo Guerreiro (2007), Silva (2007), Ascheri e Carvalho (2008), os parâmetros de operação mais importantes

no extrusor são temperatura do cilindro, configuração do parafuso, velocidade do parafuso e configuração da matriz.

#### *a) Temperatura do cilindro*

A temperatura utilizada no processo de extrusão exerce papel importante nas mudanças das propriedades físico-químicas dos produtos extrudados. Além da umidade inicial da matéria prima, esta variável é considerada como a de maior efeito na gelatinização do amido. Ascheri et al. (2006) observaram que amidos degradados são compostos de moléculas com baixo peso molecular em decorrência da sua dextrinização. Esse fenômeno, usualmente ocorre em temperaturas de extrusão superiores a 160 °C.

#### *b) Configuração do parafuso*

A função, a eficiência e a capacidade de um extrusor dependem consideravelmente do desenho do parafuso e de seu revestimento, os quais governam o mecanismo de fluxo (SILVA, 2007). Uma inadequada configuração diminui as possibilidades de controle de alguns parâmetros como velocidade do parafuso e temperatura do barril (SILVA, 2007; ASCHERI e CARVALHO, 2008). O tempo de residência do produto no extrusor é uma função do modelo do parafuso e de sua velocidade de rotação.

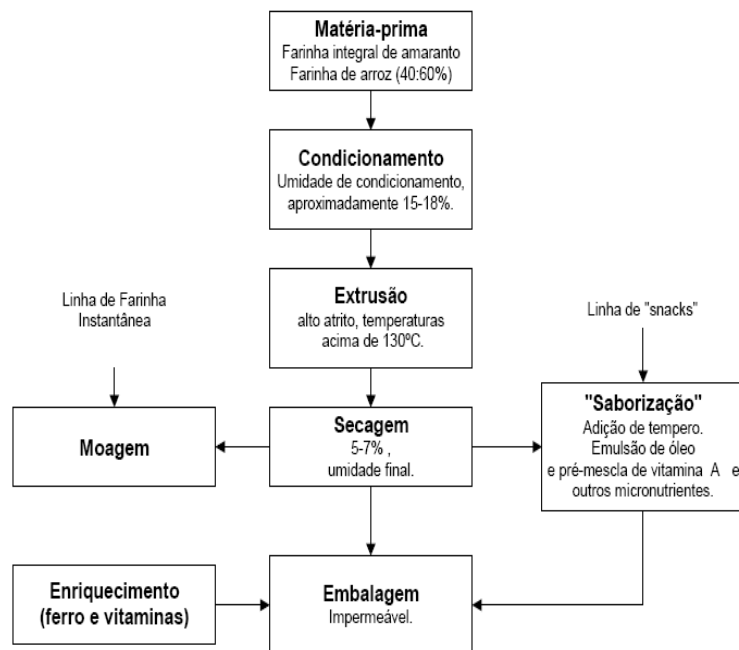
#### *c) Velocidade de rotação do parafuso*

A uma maior velocidade no parafuso, observa-se aumento na taxa de cisalhamento. Isto implica em maior grau de cozimento do material, sendo que, como consequência de um processo mais veloz, o tempo de resistência diminui, devendo-se observar os níveis ótimos destes parâmetros a fim de se conseguir qualidade no produto final (ASCHERI et al., 2006).

#### *d) Configuração da matriz*

A configuração e desenho da matriz são fundamentais na qualidade do produto final. As taxas de cisalhamento podem ser alteradas drasticamente pela mudança de uma simples matriz. Ao mudar uma matriz simples por outra múltipla observa-se um aumento no fluxo de material (ASCHERI e CARVALHO, 2008). A intensidade de pressão no interior do cilindro depende, em parte, do tamanho da matriz. Se o cilindro for completamente aberto na matriz, não haverá pressão e o extrusor simplesmente agirá como um parafuso transportador. Inversamente, se a matriz for completamente fechada, a pressão aumentará. Entre estes dois extremos, o tamanho da matriz afeta grandemente o desempenho do extrusor (BORBA, 2005; FELLOWS, 2006).

O processamento de alimentos por extrusão termoplástica (Figura 6) vem ganhando destaque e expansão na indústria de alimentos por ser uma importante técnica que, além de aumentar a variedade de alimentos processados, possui muitas vantagens quando comparado a outros sistemas de processamento, como versatilidade, custo relativamente baixo, alta produtividade e, por representar um processo ambientalmente seguro. É uma tecnologia considerada como limpa (GUY, 2002; SILVA, 2007).



**Figura 6.** Fluxograma para produção de “snacks” e farinha instantânea Fonte: Ascheri et al., (2003).

## **2. MATERIAL E METODOS**

### **2.1. LOCAL DE REALIZAÇÃO DO EXPERIMENTO**

O presente estudo foi desenvolvido nos Laboratórios de Panificação e Pesquisa em Cereais e de Análise Sensorial do Departamento de Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal de Viçosa(DTA-UFV), Viçosa - Minas Gerais; e no Laboratório de Tecnologia de Cereais e Extrusão da Embrapa Agroindústria de Alimentos, Rio de Janeiro. As análises físicas, determinação das propriedades físico-químicas e análise sensorial foram realizadas na UFV; enquanto que a elaboração dos extrudados e a caracterização das propriedades tecnológicas ocorreram na Embrapa.

### **2.2. MATÉRIA PRIMA**

Foram utilizados 40 kg de grãos de quinoa real e 15 kg grits de milho, obtidos na cidade de São Paulo, Brasil.

### **2.3. MÉTODOS**

#### **2.3.1. Delineamento experimental**

Foi utilizado o delineamento composto central rotacional  $2^3 + (2 \times 3) + 1(4)$  segundo Cochran e Cox (1957), para verificar os efeitos de três fatores (teor de quinoa, umidade das misturas e temperatura na terceira zona de extrusão) e cinco níveis. As variáveis foram estabelecidas com dois níveis codificados como -1 e +1, e um ponto central (0), calculados segundo a equação 1.

Equação 1

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

Em que:

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

$X_i$  = valor real da variável;

$X_{ic}$  = valor real da variável no ponto central;

$\Delta X_i$  = valor do intervalo de variação de  $X_i$ .

Este planejamento apresenta ainda dois níveis de variáveis axiais, codificados como  $-\alpha$  e  $+\alpha$ . O valor de  $\alpha$  é função do número de variáveis independentes ( $k$ ), sendo definida pela equação 2.

Equação 2 
$$\alpha = (2^k)^{1/4}$$

Em que:

$\alpha$  = variável axial

$k$  = número de variáveis independentes utilizadas no planejamento (3)

No presente estudo, foram utilizados 15 tratamentos, subdivididos em 8 fatoriais (combinações entre os níveis -1 e +1), 6 axiais (uma variável no nível  $\pm\alpha$  e duas em 0, sendo  $\alpha = 1,682$ ) e 1 central repetido 4 vezes (as três variáveis no nível 0 ou ponto central).

Os níveis das variáveis independentes, codificados, e na escala real; e os ensaios a serem realizados, encontram-se nas Tabelas 4 e 5, respectivamente.

**Tabela 4.** Variáveis do processo de extrusão e níveis de variação.

Variáveis Independentes	Níveis				
	- 1,682 (- $\alpha$ )	-1	0	+1	1,682 (+ $\alpha$ )
Quinoa (%) – X1	20	36	60	84	100
Umidade (%) – X2	13	14	15	16	17
Temperatura (°C) – X3	120	128	140	152	160

As faixas de variação entre o limite inferior e superior de cada variável independente foram estabelecidas a partir de testes preliminares, com base nos

dados citados por Ascheri (2008), características operacionais do extrusor marca Brabender, modelo DSE 20 DN (Duisburg, Alemanha).

**Tabela 5.** Combinações entre os níveis, valores reais e codificados das variáveis independentes.

Ensaio	Variáveis combinadas			Variáveis codificadas		
	Quinoa (%)	Umidade (%)	Temp (°C)	Quinoa	Umidade	Temp
1	36	14	128	-1	-1	-1
2	84	14	128	+1	-1	-1
3	36	16	128	-1	+1	-1
4	84	16	128	+1	+1	-1
5	36	14	152	-1	-1	+1
6	84	14	152	+1	-1	+1
7	36	16	152	-1	+1	+1
8	84	16	152	+1	+1	+1
9	20	15	140	- $\alpha$	0	0
10	100	15	140	+ $\alpha$	0	0
11	60	13	140	0	- $\alpha$	0
12	60	17	140	0	+ $\alpha$	0
13	60	15	120	0	0	- $\alpha$
14	60	15	160	0	0	+ $\alpha$
15 (c)	60	15	140	0	0	0
16 (c)	60	15	140	0	0	0
17 (c)	60	15	140	0	0	0
18 (c)	60	15	140	0	0	0

(c) Ponto central

## 2.3.2. Obtenção dos “snacks” extrudados

### 2.3.2.1. Condicionamento das amostras

Os tratamentos foram obtidos pela mistura de diferentes proporções de quinoa em grãos, grits de milho e quantidade de água ajustada para os níveis determinados pelo planejamento experimental e homogêneos durante 15 minutos em misturador de massa (HMT, modelo M5A).

Foram preparados um total de 3 kg de amostra para cada tratamento. A umidade inicial das misturas foi obtida segundo o método 925.09 da AOAC (2010), sendo a quantidade de água necessária para alcançar a umidade final requerida para cada tratamento calculada conforme a equação 3 (MATHIAS, 2002; MADEIRA, 2007; SILVA, 2009).

Equação 3

$$Y = \frac{(U_f - U_i) * Pa}{100 - U_f}$$

Em que:

Y = quantidade de água a ser adicionada (mL)

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

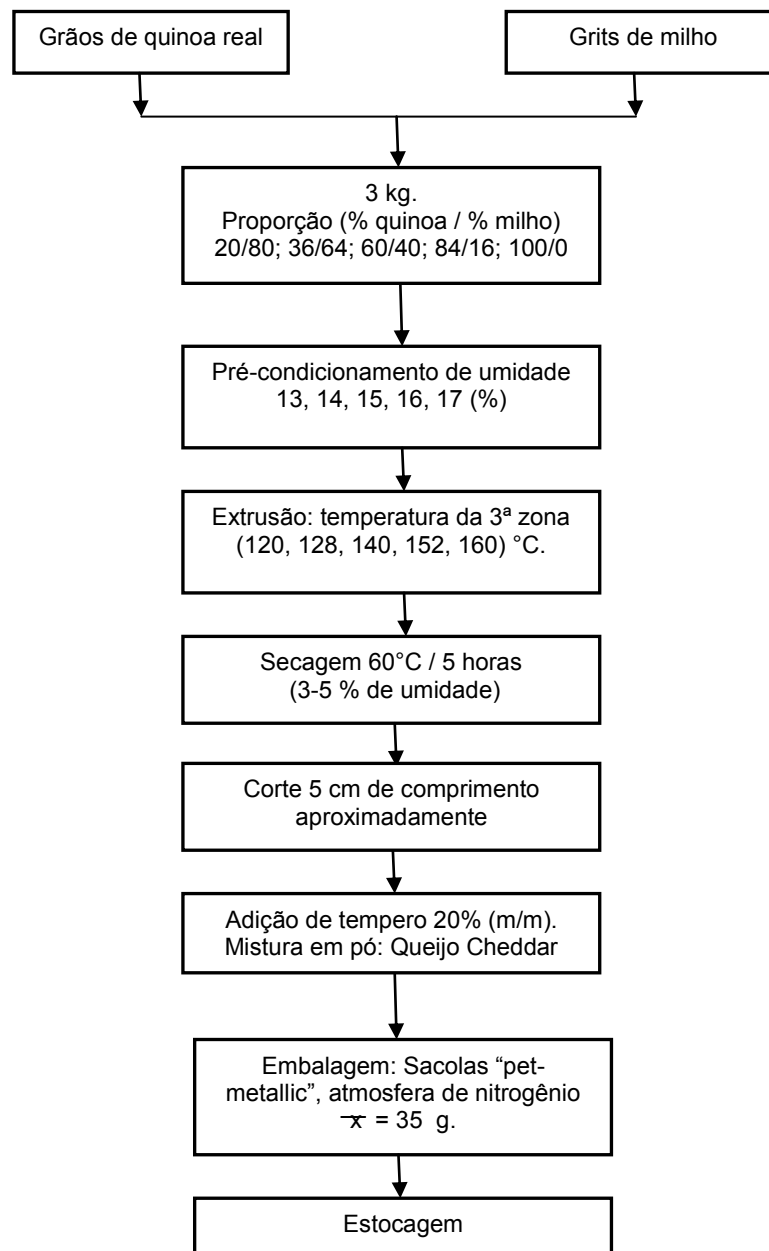
U<sub>i</sub> = umidade inicial da amostra (%)

Pa = peso da amostra (g)

Todos os tratamentos foram colocados em sacos de polietileno, devidamente identificados e armazenados a 4°C por 24 horas para melhor homogeneização da umidade, sendo, posteriormente submetidos ao processo de extrusão termoplástica.

### **2.3.2.2. Processo de extrusão**

Os “snacks” foram obtidos segundo o fluxograma apresentado na Figura 7, pela extrusão de cada tratamento em extrusor monorosca, marca Brabender, modelo DSE 20 DN (Duisburg, Alemanha).



**Figura 7.** Fluxograma do processo de extrusão para a obtenção de “snacks” de quinoa e milho.

No processo de extrusão foram mantidas fixas a velocidade de alimentação (17 kg/h); a velocidade de rotação do parafuso (180 rpm); a temperatura na 1ª zona (60 °C ) e 2ª zona: (120 °C) e o diâmetro da matriz (3 mm). Amostras extrudadas de cada tratamento foram coletadas manualmente após alcance da temperatura desejada, verificada no painel de controle do equipamento.

Os extrudados foram submetidos à secagem em estufa com circulação de ar a 60 °C por 5 horas, até umidade final de 3 a 5 %, sendo em seguida cortados com auxílio de uma tesoura, em peças uniformes de 5 cm de comprimento e acondicionadas em sacos plásticos, lacrados, etiquetados e armazenados sob temperatura ambiente 24 °C, em local seco, arejado e protegido da luz.

#### **2.3.2.3. Aromatização e embalagem dos snacks expandidos**

Os “snacks” foram aromatizados, empregando mistura em pó sabor queijo cheddar (CHEZ-TONE 627 J) Marca Kerry do Brasil, numa proporção de 20% (m/m), conforme instrução do fabricante. O aromatizante foi colocado diretamente nos produtos expandidos e misturados manualmente em sacolas plásticas até conseguir distribuição uniforme no produto. Posteriormente foram submetidos novamente a secagem em estufa a 60 °C por 5 h, resfriados e finalmente acondicionados em embalagem do tipo “pet-metallic”, em atmosfera de nitrogênio, com aproximadamente 35 g de amostra cada pacote. O armazenamento foi feito em local seco à temperatura ambiente (24 °C) para análises posteriores.

#### **2.3.3. Caracterização físico-química**

A composição centesimal foi realizada segundo a metodologia descrita pela Association of Official Agricultural Chemists AOAC (2010), sendo umidade (método 925.09); cinzas (método 923.03); extrato etéreo (método 922.06); teor de nitrogênio (método 2001.11), para o cálculo da proteína a partir do teor de nitrogênio total foi usado fatores de conversão (6,25). Os teores de carboidratos totais foram determinados por diferença subtraindo-se de 100 os valores de umidade, cinzas, proteínas e extrato etéreo.

#### **2.3.4. Caracterização física dos “snacks” expandidos**

#### 2.3.4.1. Densidade aparente

Foi calculada a densidade do produto extrudado ( $\rho_{Pe}$ ) com a equação 4 (ASCHERI et al., 2006).

Equação 4

$$\rho_{Pe} = \frac{4 \cdot m}{\pi \cdot D^2 L}$$

Em que:

m = massa (g) do extrudado

L = comprimento do extrudado 5 cm

D = diâmetro médio do extrudado

#### 2.3.4.2. Índice de expansão radial (IER)

O IER foi avaliado no material cortado em peças de 5 cm. Foi calculado pela relação entre o diâmetro da amostra (D), medido com paquímetro metálico, marca Vonder e o diâmetro da matriz ( $D_0 = 3$  mm), conforme equação 5 (ALVAREZ-MARTÍNEZ et al., 1988). O valor considerado foi obtido pela média aritmética das medidas de 20 leituras dentro de cada tratamento.

Equação 5

$$IER = \left( \frac{D}{D_0} \right)^2$$

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

Foram realizados em triplicata segundo o método descrito por Anderson et al. (1969) modificado. O procedimento consistiu em pesar (balança Mettler Toledo, modelo AG204) uma massa (m) de  $1 \pm 0,0005$  g, em base seca, em tubos de centrífuga, previamente tarados. Foram adicionados 10 mL de água destilada

preaquecida a 60 °C, sendo o material homogeneizado em agitador tipo Vortex (Phoenix AP-56).

Posteriormente, os tubos foram colocados em um banho de água a 60 °C (Banho Maria SOLAB, série 00105) durante 30 minutos com agitação a cada 10 minutos após iniciado o aquecimento. Em seguida, foram levados à centrífuga (Novatenica NT 815) por 30 minutos sob 885,82 x g e temperatura de 25 °C. O líquido sobrenadante após centrifugação foi vertido cuidadosamente sobre uma placa de petri, previamente tarada, e seco em estufa (Nova-Ética) com circulação de ar a 105 °C por 4 horas. Depois, as placas foram transferidas para um dessecador por 30 minutos para resfriar a temperatura ambiente, sendo então pesadas para cálculo da massa dos sólidos solúveis no sobrenadante ( $m_s$ ). A equação 6 descreve o cálculo do índice de solubilidade em água (ISA).

*Equação 6*

$$ISA = \left( \frac{m_s}{m} \right) \times 100 \%$$

Em que:

$m_s$  = massa dos sólidos solúveis no sobrenadante

$m$  = massa ( $1 \pm 0.0005$  g)

Logo após a retirada do líquido sobrenadante, os tubos foram pesados para cálculo da massa do resíduo da centrifugação ( $m_a$ ). A equação adaptada por Hashimoto e Grossmann (2003), equação 7, foi usada para o cálculo do índice de absorção de água (IAA):

*Equação 7*

$$IAA = \left( \frac{m_a}{m} \right) = \frac{\text{g gel}}{\text{g matéria seca}}$$

Em que:

$m_a$  = massa dos sólidos solúveis no sobrenadante

m = massa ( $1 \pm 0.0005$  g)

#### **2.3.4.4. Cor instrumental**

A cor foi determinada utilizando-se um colorímetro, modelo COLOR QUEST II (HUNTERLAB), com iluminante D65 e ângulo de visão de 10°. A determinação baseia-se nos sistemas  $L^* a^* b^*$ . Onde,  $L^*$  indica luminosidade que varia de zero (preto) a 100 (branco), enquanto  $a^*$  e  $b^*$  representam as coordenadas de cromaticidade, sendo que  $+a^*$  indica tendência para o vermelho e  $-a^*$  tendência para o verde;  $+b^*$  indica tendência para o amarelo e  $-b^*$  tendência para o azul.

As condições de teste foram: iluminante D65, ângulo de visão de 10°, calibração “Reflectance Specular Included” (RSIN). Para uniformidade das leituras de cor das amostras foram utilizadas farinhas dos snacks e da matéria prima de granulometria compreendida entre 106 e 212  $\mu\text{m}$ . Os resultados foram expressos como a média aritmética de 3 leituras.

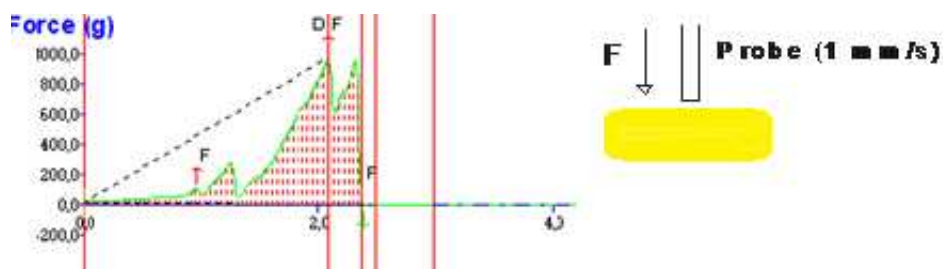
#### **2.3.5. Caracterização tecnológica dos “snacks” expandidos**

##### **2.3.5.1. Textura instrumental**

Baseou-se na metodologia desenvolvida e utilizada pelo American Institute of Baking (2010), com 10 repetições por ensaio. Foi determinado o pico de força (dureza) utilizando-se o analisador de textura modelo TA.XT Express da Stable Micro Systems (Figura 8), com célula de carga de 5 kg e equipado com software Expression 2008. Para a análise dos dados, 10 amostras de cada ensaio com 5 cm de comprimento foram cortadas axialmente com “probe” tipo guilhotina, de aço inoxidável, modelo HDP/3PB.

Os resultados expressos em newtons (N) foram apresentados como a média aritmética de 10 replicatas de 15 leituras totais. As condições utilizadas no

experimento foram: velocidade de pré-teste: 2,5 mm/s; velocidade de teste: 2 mm/s; velocidade de pós-teste: 10 mm/s; distância de ruptura: 15 mm; limiar de força: 20 g, e medida em força de cisalhamento.



**Figura 8.** Representação gráfica do resultado típico da força aplicada sobre “snack” expandido.

Em que:

F: Força (dureza)

### 2.3.5.2. Viscosidade de pasta

A determinação da viscosidade de pasta para as amostras de snacks, foi realizada em *Rapid Visco Analyser (RVA)*, série 4, *Newport Scientific Pty. Ltd.*, Namiewoad, Austrália. As análises foram realizadas em duplicata para cada ensaio. As amostras foram moídas em moinho Perten 3100 com peneira de 0,8 mm e levadas ao agitador de peneiras Ro-TAP modelo RX-29-10 por 10 minutos, para a separação da fração retida entre as peneiras de 106 e 212  $\mu\text{m}$ . Desta fração foram pesados 3 g da amostra, com a umidade corrigida para 14 %, em base úmida, e em seguida adicionada água destilada até obtenção do peso final de 28 g, conforme metodologia descrita por Whalen et al. (1997).

Para a interpretação dos viscogramas, foram utilizados os seguintes dados:

a) Viscosidade máxima (VM): é o valor da viscosidade no ponto máximo da curva, obtido durante o ciclo de aquecimento, expresso em cP;

b) Tendência à retrogradação ou “Setback” (TR): é a diferença entre a viscosidade final a 25 °C e o menor valor de viscosidade à 95 °C.

### **2.3.6. Análise estatística**

Para a análise dos resultados do DCC foi utilizada a Metodologia de Superfície de Resposta. Os cálculos estatísticos foram feitos utilizando-se o software Statistical Analysis System (SAS), versão atualizada e licenciada para Universidade Federal de Viçosa; e as superfícies foram construídas (quando possível) utilizando-se o software STATISTICA, versão 5.5 (STATSOFT, EUA). Na construção das superfícies, duas variáveis independentes variaram dentro das regiões estudadas e a terceira foi mantida fixa no ponto central.

### **2.3.7. Teste de aceitação sensorial**

Os testes foram realizados com a participação de uma equipe de 120 julgadores não treinados (HOUGH et al., 2006) com idade variando de 16 a 40 anos, abordados aleatoriamente, incluindo alunos, professores e funcionários. A análise da aceitação foi realizada em cabines individuais, sob luz natural. As 6 amostras dos tratamentos T1, T2, T5, T11, T14 e T15 foram apresentadas todas juntas seguindo um delineamento inteiramente casualizado. Orientou-se que os provadores ingerissem água após cada degustação de cada um dos “snacks”.

Os julgadores analisaram quanto gostaram ou desgostaram dos “snacks”, utilizando escala hedônica estruturada de nove pontos (1 - desgostei extremamente a 9 - gostei extremamente) (MINIM, 2010), para os atributos: sabor, textura e impressão global (Anexo A). Para obtenção do Mapa de Preferência Interno, os dados de aceitação foram organizados numa matriz de amostras (em linhas) e consumidores (em colunas). Depois os dados foram submetidos à Análise de Componentes Principais (ACP), utilizando o procedimento PRINCOMP do SAS/STAT (licenciado para uso da UFV) a partir da matriz de covariâncias (MINIM, 2010). Os resultados foram expressos em gráficos de dispersão das amostras (tratamentos) em relação aos dois primeiros

componentes principais e representando também as correlações dos dados de cada consumidor com os escores dos dois primeiros componentes principais.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1. CARACTERIZAÇÃO DAS MATÉRIAS PRIMAS

##### 3.1.1. Composição centesimal da matéria prima

Os resultados para os teores de água (umidade), cinzas, extrato etéreo, proteínas e carboidratos são apresentados na Tabela 6.

**Tabela 6.** Composição centesimal das matérias-primas

Componente	Grãos de Quinoa (%)	Grits de Milho (%)
Umidade	10,56 ± 0,28	8,98 ± 0,16
Cinzas	2,28 ± 0,00	0,17 ± 0,01
Extrato etéreo	6,02 ± 0,02	0,14 ± 0,04
Proteínas**	12,02 ± 0,06	5,57 ± 0,06
Carboidratos*	69,12 ± 0,32	85,14 ± 0,20

Dados expressos em base úmida (bu). Resultados expressos como média ± desvio padrão das análises em triplicatas.

\*Calculado por diferença: 100 – (umidade + proteína + extrato etéreo + cinzas).

\*\* Fator de conversão (Nx6,25).

Os resultados da composição centesimal da farinha de milho apontam para elevado teor de carboidratos e baixo teor de proteína e extrato etéreo. Os teores obtidos para as frações analisadas encontram-se próximos àqueles apresentados pelo NEPA (2011).

Pôde-se observar que a quinoa possui teores superiores de proteína e lipídeos principalmente. Os valores obtidos no presente estudo são muito próximos aos encontrados por Ogungbenle (2003) que registrou teores 13,5 % de proteína, 6,3 % de lipídios, 9,5 % fibra bruta, 1,2 % cinzas totais, 58,3 % de carboidratos.

O grão de quinoa apresenta excelente balanço entre lipídios, proteínas e carboidratos, sendo o pericarpo, embrião e perisperma as principais estruturas de armazenamento. O amido é armazenado no perisperma, enquanto que lipídeos e proteínas estão presentes principalmente no endosperma e no embrião. O conteúdo de amido varia de 51 a 61 %, e as fibras do grão correspondem em

média a 3,8 %, conteúdos coerentes com os resultados para carboidratos totais do presente estudo (PREGO et al., 1998; ASCHERI et al., 2002; LINDEBOOM 2005).

É importante ressaltar que a composição centesimal pode variar conforme as condições de solo e clima de cultivo, assim como a variedade dos grãos. Em comparação ao milho, a quinoa apresenta quantidades superiores de proteínas, lipídios, cinzas e fibra.

### 3.1.2. Análise de cor da matéria prima

Os resultados da análise de cor estão apresentados na Tabela 7.

**Tabela 7.** Resultado de luminosidade L\* e coordenadas de cor a\* e b\* das matérias primas<sup>1</sup>

Parâmetros de cor	Grãos de Quinoa	Grits de Milho
L*	84,29±0,45	86,13±0,21
a*	0,40±0,10	5,62±0,18
b*	15,28±0,55	36,63±0,63

<sup>1</sup>.Resultados expressos como média ± desvio padrão das análises em triplicatas.

A quinoa apresentou-se mais escura (L\* de 84,29) que o milho. As fotos das farinhas podem ser vistas na Figura 9. As farinhas de quinoa e milho tem tom amarelo (b\* positivo) e sub-tom vermelho (a\* positivo). Os valores de a\* e b\* foram superiores para a farinha de milho, indicando maior intensidade das tonalidades amarela e vermelha.

Os resultados das coordenadas 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\*. Em concordância com esta pesquisa, Terezan (2011) reportaram farinha de quinoa com tom amarelo e sub-tom vermelho, porém mais clara, apresentando resultados de 87,53 para L\*, 0,24 para a\* e 13,71 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).



**A**

**B**

**Figura 9.** Farinhas de quinoa (A) e de milho (B).

### 3.2. CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DOS PRODUTOS EXTRUDADOS

Os resultados do delineamento composto central rotacional (DCCR)<sub>7</sub> para verificar os efeitos do teor de quinoa (%), umidade da matéria prima (%) e temperatura da 3ª zona de extrusão (°C) sobre as propriedades físicas dos produtos extrudados estão apresentados na Tabela 8.

**Tabela 8.** Resultados obtidos das variáveis respostas analisadas pelo delineamento composto central rotacional (DCCR)

Ensaio	X1	X2	X3	IER	DA (g/cm <sup>3</sup> )	ISA (%)	IAA (g água/g amostra seca)
1	-1	-1	-1	4,71±0,33	0,43±0,04	17,49±1,30	5,31±0,08
2	+1	-1	-1	2,85±0,25	0,69±0,07	14,40±0,45	5,40±0,06
3	-1	+1	-1	3,37±0,38	0,63±0,07	13,51±0,12	5,13±0,06
4	+1	+1	-1	2,82±0,17	0,71±0,04	13,39±0,10	5,38±0,02
5	-1	-1	+1	4,61±0,42	0,44±0,05	17,21±0,96	5,27±0,13
6	+1	-1	+1	2,88±0,48	0,67±0,15	14,56±0,43	5,46±0,03
7	-1	+1	+1	3,61±0,27	0,55±0,05	14,43±0,69	5,29±0,05
8	+1	+1	+1	1,92±0,23	0,85±0,12	13,21±0,39	5,28±0,01
9	-1,682	0	0	4,93±0,46	0,46±0,05	15,72±0,90	5,25±0,20
10	+1,682	0	0	1,50±0,10	1,11±0,07	11,28±0,25	5,44±0,03
11	0	-1,682	0	6,84±0,48	0,28±0,02	17,21±0,85	5,40±0,10
12	0	+1,682	0	2,75±0,21	0,71±0,06	14,26±0,27	5,20±0,01
13	0	0	-1,682	3,74±0,31	0,52±0,05	16,69±0,21	5,33±0,07
14	0	0	+1,682	3,84±0,29	0,49±0,04	16,43±0,82	5,45±0,26
15	0	0	0	4,00±0,35	0,51±0,05	16,38±0,48	5,48±0,37
16	0	0	0	3,84±0,27	0,51±0,04	16,59±0,49	5,28±0,03
17	0	0	0	3,62±0,39	0,55±0,07	15,73±0,42	5,56±0,02
18	0	0	0	3,61±0,25	0,52±0,04	16,21±0,45	5,43±0,23

X1= teor de quinoa (%); X2= umidade inicial da mistura (%); X3= temperatura da 3ª zona do extrusor (°C);  $\alpha = (2^k)^{1/4} = 1,68$ . DA= Densidade aparente (g/cm<sup>3</sup>); ISA = Índice de Solubilidade em Água (%); IAA = Índice de Absorção de Água (g água/ g de amostra seca);

#### 3.2.1. Índice de expansão radial (IER)

Como observado na Tabela 8, os extrudados obtiveram IER entre 1,50 e 6,84 para os 18 ensaios. O ensaio com menor IER (T10) foi obtido com 100% de quinoa e valores intermediários propostos no delineamento para umidade (15%) e temperatura da 3ª zona de extrusão (140 °C). Por outro lado o ensaio com maior

expansão foi o Ensaio 11, processado nas condições intermediárias do planejamento em relação ao teor de quinoa (60%) e temperatura da 3ª zona (140 °C), mas com a condição mais baixa de umidade inicial da mistura (13%).

Com estes resultados foi possível testar o modelo da análise de regressão que estão apresentados na Tabela 9, com efeitos significativos ( $p < 0,05$ ) do teor de quinoa e umidade de mistura. A variável temperatura da 3ª zona de extrusão na faixa de 120 °C a 160 °C não afetou o índice de expansão radial.

**Tabela 9.** Constante e coeficientes de regressão para índice de expansão radial (IER)

	<b>Coefficientes de Regressão</b>	<b>Erro Padrão</b>	<b>Valor t</b>	<b>P(t)</b>
<b>Constante (<math>\beta_0</math>)</b>	3,64	0,16		
<b>Quinoa (L)</b>	-0,85	0,18	-4,59	0,0004
<b>Umidade(L)</b>	-0,75	0,18	-4,04	0,0011

Valores estatisticamente significativos ( $p < 0,05$ ). L=Linear.

Na Tabela 10 apresenta-se a análise de variância (ANOVA) da regressão, sendo o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) igual a 0,71 e o valor de F da regressão significativo ( $p < 0,05$ ).

**Tabela 10.** Análise de variância da regressão para o índice de expansão radial (IER)

<b>Fontes de Variação</b>	<b>GL</b>	<b>QM</b>
<b>Regressão</b>	2	8,74 *
<b>F. Ajuste</b>	12	0,58 *
<b>Erro puro</b>	3	0,04
<b>Resíduo</b>	15	0,47

$R^2=71\%$ ;  $F_{2;15;0,95} = 3,68$ ; \*Valores estatisticamente significativos ( $p < 0,05$ )

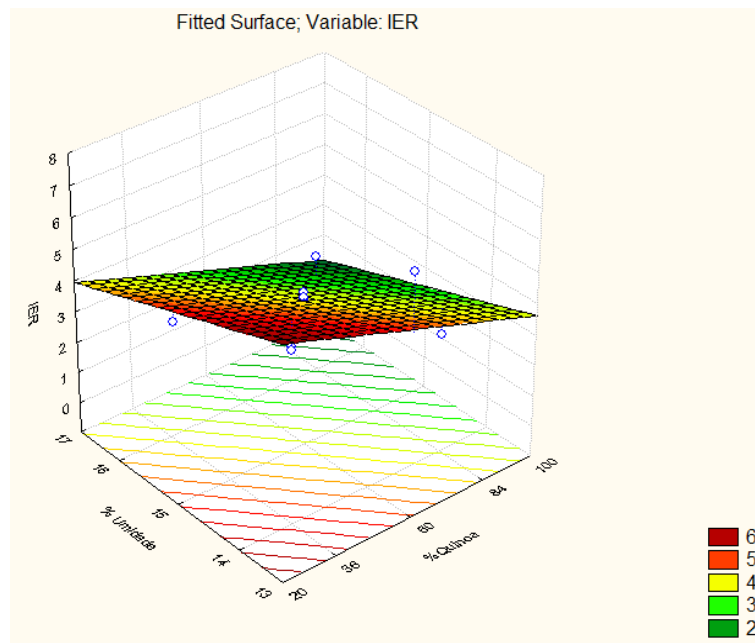
A equação 8 mostra a possibilidade do IER ser estimado em função do teor de quinoa e da umidade inicial da mistura, dentro da faixa de variação utilizada neste estudo. A temperatura da 3ª zona foi desconsiderada como variável independente para o modelo, já que não mostrou efeito significativo para a variável resposta IER.

$$\text{IER} = 3,64 - 0,85 \cdot Q - 0,75 \cdot U$$

em que:

IER = Índice de expansão radial  
Q = Teor de quinoa (%)  
U = Umidade da mistura (%)

A partir do modelo obtido (equação 8), é possível construir a superfície de resposta para o IER, apresentadas na Figura 10.



**Figura 10.** Superfície de resposta para o índice de expansão (IER) em função do teor de quinoa e da umidade inicial da mistura.

A expansão, usualmente obtida pela comparação entre o valor do diâmetro do “snack” em relação ao diâmetro da matriz do extrusor, é uma das características mais importantes de produtos extrudados (LINKO et al., 1981).

Os produtos extrudados são caracterizados quanto a sua expansão e normalmente a expansão máxima é desejada para “snacks” extrudados expandidos (MERCIER et al., 1998). No extrusor, fatores como a aplicação de

calor, ação de cisalhamento sobre o produto e o teor de água, provocam uma quebra molecular do material. Quando o material é forçado pela matriz para sair do extrusor, ele expande rapidamente, aumentando seu diâmetro várias vezes em relação ao tamanho da matriz (PADMANABHAN e BHATTACHARYA, 1989; MERCIER et al., 1998).

Baixos valores de teor de quinoa e umidade inicial da mistura produziram as maiores expansões. Segundo a Equação 8, ao aumentar o teor de quinoa e a umidade inicial de mistura dentro das faixas estudadas o IER diminui. Resultado semelhante foi obtido por Lustosa et al., (2010) e por Dogan e Karwe (2003) onde o maior IER é observado nas condições de baixa umidade e teor médio de proteína para snacks de farinha de mandioca enriquecida com caseína e “snacks” de quinoa. Resultados obtidos por Terezan (2011) indicaram que maiores valores de índice de expansão de snacks de quinoa e milho foram obtidos em baixas concentrações de quinoa (abaixo de 22%) e umidades intermediárias (ao redor de 17,5%).

Estudos realizados com grits de milho demonstraram que a expansão é inversamente proporcional à umidade do material a ser extrudado. A água tem efeito inverso sobre a expansão, agindo como plastificante para materiais amiláceos, reduzindo sua viscosidade e a dissipação da energia mecânica no extrusor, produzindo assim, produtos mais densos e comprimindo o crescimento de bolhas. Em temperaturas altas, o gel é mais elástico, formando uma matriz de pequenas células uniformes, enquanto que em baixa umidade, o gel formado é pouco elástico e o material extrudado tem células grandes e pouco uniformes, sendo a umidade o principal fator que afeta a densidade do extrudado e sua expansão (CHIMMASWAMY, 1993; MERCIER, LINKO e HARPER, 1998; DING et al., 2005). Este mesmo fenômeno foi observado neste projeto, quanto menor a umidade da matéria prima, maior foi o valor encontrado para o índice de expansão.

A menor expansão de “snacks” 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 depende da diferença entre a pressão na matriz e a atmosférica, com mais água, a diferença de pressão será menor e, por consequência, a expansão também será menor (MOHAMED, 1990; ZANG; HOSENEY, 1998).

Outro resultado importante obtido neste estudo foi a redução do índice de expansão devido à adição de quinoa na formulação (Figura 9). Os polissacarídeos não amiláceos, como a fibra, ligam-se à água mais fortemente durante a extrusão do que as proteínas e o amido, reduzindo assim, a perda da água na matriz e a expansão do produto. O amido presente não pode ser gelatinizado totalmente na presença da fibra e por isso não sendo capaz de suportar a expansão (CAMIRE e KING, 1991; ILO, LIU E BERGHOFER, 1999).

Em concordância com os resultados encontrados neste trabalho, Coulter e Lorenz (1991), ao extrusar farinha de quinoa e grits de milho, variando as concentrações de farinha de quinoa de 10 a 30%, a umidade de 15 a 25%, 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. No presente trabalho, como o conteúdo de proteína da farinha de quinoa adicionado ao milho foi alto (12,02%), isto deve ter contribuído para a redução da expansão.

Os lipídios, em razão de sua característica hidrofóbica, ligam-se à parte interna das hélices do amido, que contém as ligações C-H. Segundo Arêas (1996), a presença de lipídios no processo de extrusão do amido, até o limite da capacidade das hélices de incorporá-los, não prejudica 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%, sendo que a adição de farinha de quinoa (6,02% de lipídeos) à farinha de milho aumentou o conteúdo total dos lipídios.

### 3.2.2. Densidade aparente (DA)

Os extrudados apresentaram valores de DA entre 0,28 a 1,11 g/cm<sup>3</sup>, para os 18 ensaios (Tabela 8). A análise dos dados mostrou efeito linear significativo ( $p < 0,05$ ) de teor de quinoa e da umidade da mistura e quadrático de teor de quinoa. Mediante os resultados foi possível determinar os coeficientes de regressão que estão apresentados na Tabela 11. A variável temperatura da 3<sup>ra</sup> zona de extrusão na faixa de 120 °C a 160°C não afetou a DA do “snack”.

**Tabela 11.** Constante e coeficientes de regressão para densidade aparente (DA)

	<b>Coefficientes de Regressão</b>	<b>Erro Padrão</b>	<b>Valor t</b>	<b>P(t)</b>
<b>Constante (<math>\beta_0</math>)</b>	0,52	0,02		
<b>Quinoa (L)</b>	0,14	0,02	8,45	<0,0001
<b>Umidade(L)</b>	0,09	0,02	5,31	<0,0001
<b>Quinoa (Q)</b>	0,10	0,02	5,79	0,0001

Valores estatisticamente significativos ( $p < 0,05$ ). L=Linear, Q=Quadrático.

A Tabela 12 apresenta a análise de variância (ANOVA) da regressão, sendo o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) igual a 0,90 e o valor de F da regressão significativo ( $p < 0,05$ ).

**Tabela 12.** Análise de variância da regressão para a densidade aparente (DA)

<b>Fontes de Variação</b>	<b>GL</b>	<b>QM</b>
<b>Regressão</b>	3	0.1754 *
<b>F. Ajuste</b>	11	0.0049 *
<b>Erro puro</b>	3	0.0004
<b>Resíduo</b>	14	0.0039

$R^2=90\%$ ;  $F_{3;14;0,95} = 3,34$ . \*Valores estatisticamente significativos ( $p < 0,05$ )

O modelo codificado representado na Equação 9 mostra a possibilidade da DA ser estimada em função do teor de quinoa e da umidade inicial da mistura, na faixa de variação utilizada neste estudo

$$\text{Equação 9} \quad DA = 0,52 + 0,14*Q + 0,09*U + 0,1*Q^2$$

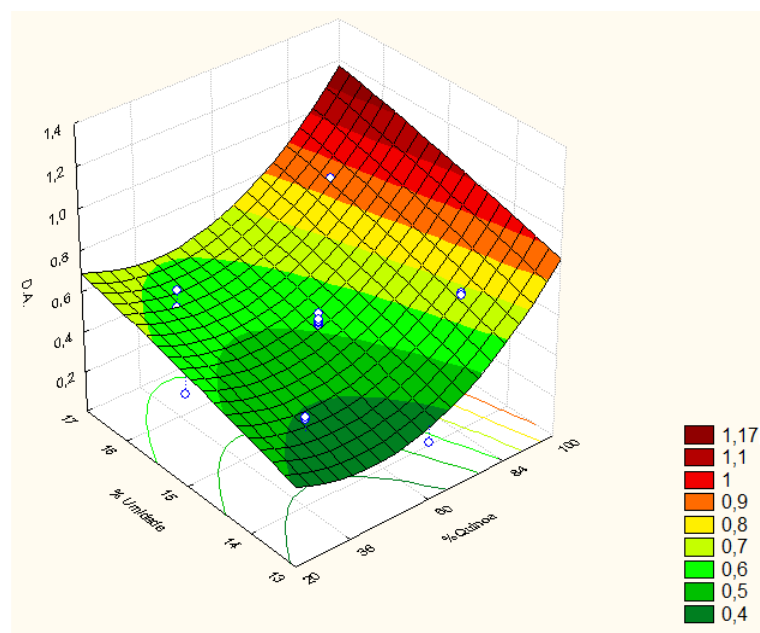
em que:

DA = Densidade aparente ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )

Q = Teor de quinoa (%)

U = Umidade da mistura (%)

A partir do modelo obtido, foi possível construir a superfície de resposta para a DA, apresentada na Figura 11.



**Figura 11.** Superfície de resposta para densidade aparente (DA) em função do teor de quinoa e da umidade inicial da mistura.

Segundo Gujska e Khan (1990), o grau de expansão afeta a densidade, a fraturabilidade e a textura dos produtos extrudados. Desta forma, é muito importante seu monitoramento no processo de extrusão de snacks expandidos. Tanto a densidade aparente como o índice de expansão descrevem, de forma indireta, o grau de “transformação” do grânulo de amido e as variações de massa e volume da fração amilácea ao sair do extrusor (CARVALHO et al., 2010).

O modelo de regressão obtido demonstra que maiores valores de DA relacionam-se diretamente com altos teores de quinoa e umidade na mistura, o que também pode ser observado na Figura 11. Este resultado está de acordo com os relatos na literatura. Oliveira (2007) encontrou valores de DA entre 0,18 e 0,92 g/cm<sup>3</sup> para produtos extrudados de milho. Já Mendonça et al. (2005) observaram valores entre 0,14 e 0,68 g/cm<sup>3</sup> para extrudados elaborados com farinha de amaranto integral e quirera de arroz.

De acordo com Mendonça (2005), a DA é uma das características físicas mais importantes em produtos extrudados, pois interfere diretamente na embalagem e conseqüentemente, na qualidade do produto final. Vários são os parâmetros que influenciam a densidade aparente de um produto extrudado, como umidade, temperatura de extrusão e formulação.

A DA é uma forma indireta de quantificar a eficiência do processo de extrusão. De forma indireta, também permite avaliar objetivamente quão leves ou pesados são os extrudados elaborados e, assim, prever sua aceitabilidade pelo consumidor (CARVALHO et al., 2010). É uma importante característica dos produtos extrudados expandidos, na maioria das vezes, inversamente proporcional ao índice de expansão (WANG et al., 2007).

O tratamento (T11) que obteve o menor valor de DA (0,28 g/cm<sup>3</sup>) foi aquele com valores médios para teor de quinoa (60%), mas com o valor mais baixo de umidade de mistura (13%). Por outro lado o tratamento (T10) com maior valor de densidade aparente foi processado com alto teor de quinoa (100%) e teor médio de umidade de mistura (15%) e que por sua vez, apresentou o menor índice de expansão. Wang et al (2007) afirmaram que a DA é inversamente proporcional ao índice de expansão.

Pôde se observar que os produtos com maior teor de quinoa apresentaram maior densidade e menor expansão, isto é atribuído ao maior teor de proteína e lipídeos e menor conteúdo de amilose da quinoa, resultado similar ao obtido por Coulter e Lorenz (1991), em que produtos processados com 15% de umidade

inicial apresentaram menor densidade e maior expansão do que aqueles com 25% de umidade.

### 3.2.3 Índice de solubilidade em água (ISA)

Os extrudados apresentaram valores de ISA entre 11,28 e 17,49 para os 18 ensaios (Tabela 8). Os coeficientes de regressão, apresentados na Tabela 13, indicam efeitos lineares significativos ( $p < 0,05$ ) para teor de quinoa e umidade de mistura, quadrático significativo ( $p < 0,05$ ) para teor de quinoa, e para a interação quinoa umidade dentro da faixa de valores estudada.

**Tabela 13.** Constante e coeficientes de regressão para índice de solubilidade em água (ISA)

	<b>Coeficientes de Regressão</b>	<b>Erro Padrão</b>	<b>Valor t</b>	<b>P(t)</b>
<b>Constante (<math>\beta_0</math>)</b>	16.03	0.16		
<b>Quinoa (L)</b>	-1.07	0.14	-7.73	<0,0001
<b>Umidade(L)</b>	-1.03	0.14	-7.48	<0,0001
<b>Quinoa (Q)</b>	-1.02	0.15	-7.37	<0,0001
<b>QxU</b>	0.55	0.18	3.06	0.0092

Valores estatisticamente significativos ( $p < 0,05$ ). L=Linear, Q=Quadrático.

A Tabela 14 apresenta a análise de variância (ANOVA) dos resultados obtidos, sendo o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) igual a 0,93 e o valor de F da regressão significativo ( $p < 0,05$ ).

**Tabela 14.** Análise de variância da regressão para o índice de solubilidade em água (ISA)

<b>Fontes de Variação</b>	<b>GL</b>	<b>QM</b>
<b>Regressão</b>	4	11,63 *
<b>F. Ajuste</b>	10	0,30
<b>Erro puro</b>	3	0,13
<b>Resíduo</b>	13	0,26

$R^2=93\%$ ;  $F_{4;13;0,95}=3,18$ ; \*Valores estatisticamente significativos ( $p < 0,05$ )

O modelo, com valores codificados, está representado na Equação 10 e mostra a possibilidade do ISA ser estimado em função do teor de quinoa e da

umidade inicial da mistura, desde que estas variáveis sejam analisadas nas faixas de variação utilizadas neste estudo

$$\text{Equação 10} \quad \text{ISA} = 16,03 - 1,07*Q - 1,03*U - 1,02*Q^2 + 0,55*Q*U$$

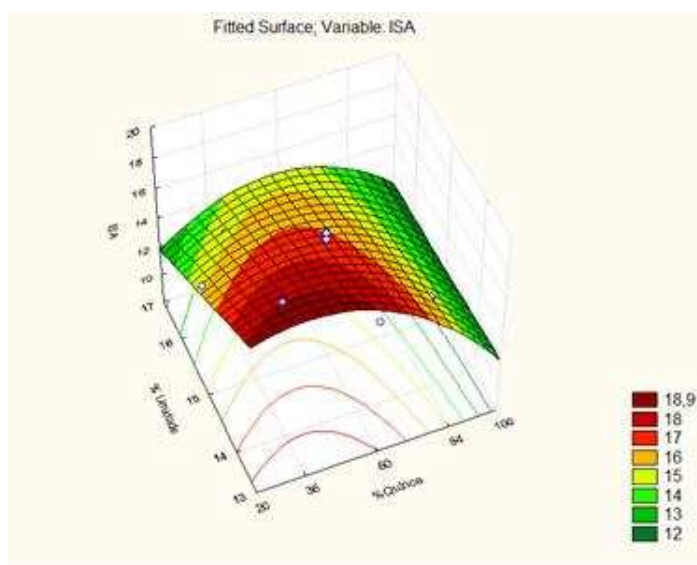
em que:

ISA = Índice de solubilidade em água (%)

Q = Teor de quinoa (%)

U = Umidade da mistura (%)

A partir do modelo obtido, pode-se construir a superfície de resposta para o ISA, apresentada na Figura 12.



**Figura 12.** Superfície de resposta para o índice de solubilidade em água (ISA) em função do teor de quinoa e da umidade inicial da mistura.

O ISA é geralmente utilizado em produtos extrudados como indicador da degradação de componentes moleculares. Indica, por exemplo, o grau de conversão do amido, medindo a quantidade de polissacarídeos solúveis liberados das macromoléculas componentes do amido após o processo de extrusão, ou seja, a somatória dos efeitos de gelatinização, dextrinização e conseqüente solubilização (DING et al., 2005).

Na figura 12, observa-se que os valores de ISA estão relacionados com o teor de quinoa e umidade da mistura, sendo que quando níveis menores foram

utilizados, maiores valores de ISA foram obtidos. O ensaio com maior valor de ISA foi o ensaio 1 (36 % quinoa e 14% de umidade) e o ensaio com menor valor foi o ensaio 10 (100% de quinoa e 15% de umidade).

O ISA depende da intensidade e do tipo de reações que ocorrem durante a extrusão, influenciando a quantidade de moléculas solúveis. Além da gelatinização do amido, que resulta na liberação de amilose e amilopectina, pode ocorrer também a dextrinização dos componentes do amido e outras reações que conduzem à formação de compostos de baixa massa molecular (ALVIM et al., 2002; RIAZ 2002). Segundo Ozcan e Jackson (2005), durante a extrusão a estrutura do amido é rompida e as regiões cristalinas são fundidas. Depois, as altas condições de cisalhamento, temperatura e pressão dentro do extrusor, resultam em uma fragmentação molecular aumentando o índice de solubilidade em água.

Os valores observados foram superiores à média obtida na farinha de quinoa antes da extrusão (9,66%) e aqueles obtidos por Revelo (2010) em extrudados laminados de quinoa e milho, que variaram de 0,97 a 4,1 % em condições de umidade de 20 a 22 % e teores de quinoa de 50 a 100 %.

### 3.2.4 Índice de absorção de água (IAA)

Na Tabela 15 se observa que foram significativos ( $p < 0,10$ ) os efeitos lineares correspondentes ao teor de quinoa, e linear e quadrático correspondente a umidade da mistura.

**Tabela 15.** Constante e coeficientes de regressão para índice de absorção de água (IAA)

	<b>Coefficientes de Regressão</b>	<b>Erro Padrão</b>	<b>Valor t</b>	<b>P(t)</b>
<b>Constante (<math>\beta_0</math>)</b>	5,39	0.03		
<b>Quinoa (L)</b>	0,06	0.02	2.78	<0,0146
<b>Umidade(L)</b>	-0,05	0.02	-2,31	0,0367
<b>Umidade(Q)</b>	-0,04	0.02	-1,97	0,0691

Valores estatisticamente significativos ( $p < 0,10$ ). L=Linear, Q=Quadrático.

A Tabela 16 apresenta a análise de variância (ANOVA) dos resultados obtidos, sendo o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) igual a 0,55 e o valor de F da regressão significativo ( $p < 0,10$ ).

**Tabela 16.** Análise de variância da regressão para o índice de absorção de água (IAA)

Fontes de Variação	GL	QM
Regressão	3	0,037 *
F. Ajuste	11	0,005
Erro puro	3	0,013
Resíduo	14	0,006

$R^2=55\%$ ;  $F_{3;14;0,90} = 2,52$ ; \*Valores estatisticamente significativos ( $p < 0,10$ )

O modelo com valores codificados das variáveis está representado na Equação 11 que mostra a possibilidade do IAA ser estimado em função do teor de quinoa e da umidade inicial da mistura, dentro da faixa de variação utilizada neste estudo.

$$\text{Equação 11} \quad \text{IAA} = 5,39 + 0,06 \cdot Q - 0,05 \cdot U - 0,04 \cdot U^2$$

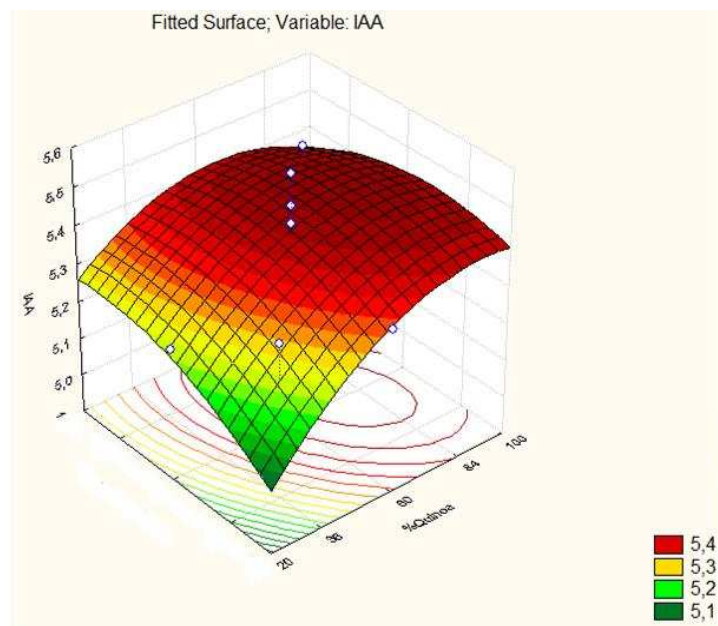
em que:

IAA = Índice de absorção de água (g de água / g de amostra seca)

Q = Teor de quinoa (%)

U = Umidade da mistura (%)

A partir do modelo obtido, foi possível construir a superfície de resposta para o IAA, apresentada na Figura 13.



**Figura 13.** Superfície de resposta para o índice de absorção de água (IAA) em função do teor de quinoa e da umidade inicial da mistura.

O maior valor de IAA foi obtido com níveis médios para as variáveis avaliadas, correspondente ao ponto central do delineamento (60% de quinoa, 15% de umidade de mistura e 140°C na 3ª zona de extrusão), contudo, as diferenças observadas apesar de significativas foram muito pequenas. De acordo com Alvin et al., (2002) o IAA está relacionado à capacidade de absorção e retenção de água pelos constituintes da matéria prima. Durante a extrusão o amido é gelatinizado e as proteínas são desnaturadas. Os grânulos de amido gelatinizado absorve mais água que as proteínas, devido a mudanças estruturais. Estes incham, e com sua fragmentação, diminui a absorção de água (CARVALHO et al., 2002; BORBA et al., 2005;).

Os valores observados foram superiores à média obtida na farinha de quinoa antes da extrusão (4,54 g gel/ g matéria seca) e aos obtidos por Revelo (2010) em extrudados laminados de quinoa e milho, que variaram de 3,14 a 3,67 g gel/ g matéria seca, em condições de umidade de 20 a 22% e teores de quinoa de 50 a 100 %. O aumento do IAA em produtos extrudados a base de amido e proteína é causado provavelmente pela exposição dos grupos hidrofílicos, bem como pelo enfraquecimento e quebra das ligações do biopolímero, o que facilita a penetração da água nas estruturas (LUSTOSA et al., 2010).

Nas condições testadas a temperatura de 3ª zona de extrusão não exerceu efeito sobre os IAA de misturas de grãos de quinoa e grits de milho. Resultado semelhante foi também obtido por Lustosa et al., (2010), ao avaliar a influencia de parâmetros de extrusão no IAA de farinhas de mandioca e caseína. O coeficiente de variação ( $R^2$ ) apresentou um valor baixo (55%), este comportamento pode ser devido aos extrudados apresentarem valores de IAA muito próximos entre si (Tabela 22).

### 3.3. CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DOS PRODUTOS EXTRUDADOS

Na Tabela 17 pode-se observar os resultados do delineamento composto central rotacional (DCCR), para verificar os efeitos das variáveis independentes sobre as propriedades tecnológicas dos produtos extrudados.

**Tabela 17.** Resultados obtidos das respostas tecnológicas analisadas pelo delineamento composto central rotacional (DCCR)

Ensaio	X1	X2	X3	Dureza (N)	VM (cP)	TR (cP)
1	-1	-1	-1	6,66	495,50	1054
2	+1	-1	-1	4,33	448,50	627
3	-1	+1	-1	4,70	607,50	1441
4	+1	+1	-1	4,39	533,50	719
5	-1	-1	+1	5,57	473,50	968
6	+1	-1	+1	4,20	400	612
7	-1	+1	+1	4,36	610,50	1468,50
8	+1	+1	+1	3,09	550,50	784
9	-1,682	0	0	5,83	497,50	1332
10	+1,682	0	0	3,89	602	558,50
11	0	-1,682	0	4,56	337	612,50
12	0	+1,682	0	1,96	666	1284
13	0	0	-1,682	3,75	570	1017
14	0	0	+1,682	4,59	520,50	974,50
15	0	0	0	4,18	475	839,50
16	0	0	0	3,90	562	958
17	0	0	0	4,07	561,50	946
18	0	0	0	4,07	521,50	927

X1=teor de quinoa (%); X2=umidade inicial da mistura (%); X3=temperatura da 3ª zona do extrusor (°C); $\alpha = (2^k)^{1/4} = 1,68$ . VM = Viscosidade Máxima; TR= Tendência à retrogradação.

#### 3.3.1. Dureza dos “snacks”

Verifica-se que os resultados da dureza variaram de 1,96 a 6,66 N (Tabela 17). Os coeficientes de regressão das variáveis estão apresentados na Tabela 18, podendo-se observar efeitos lineares ( $p < 0,05$ ), correspondente a teor de quinoa e umidade inicial de mistura, e efeito quadrático ( $p < 0,05$ ) para teor de quinoa dentro da faixa de valores estudada.

**Tabela 18.** Constante e coeficientes de regressão para dureza dos snacks

	<b>Coeficientes de Regressão</b>	<b>Erro Padrão</b>	<b>Valor t</b>	<b>P(t)</b>
<b>Constante (<math>\beta_0</math>)</b>	4,03	0,18		
<b>Quinoa (L)</b>	-0,63	0,15	-4,07	0,0012
<b>Umidade (L)</b>	-0,63	0,15	-4,09	0,0011
<b>Quinoa (Q)</b>	0,41	0,15	2,64	0,0195

Valores estatisticamente significativos ( $p < 0,05$ ). L=Linear, Q=Quadrático.

A Tabela 19 apresenta a análise de variância (ANOVA) da regressão, sendo o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) igual a 0,74 e o valor de F da regressão significativo ( $p < 0,05$ ).

**Tabela 19.** Análise de variância da regressão para dureza dos snacks

<b>Fontes de Variação</b>	<b>GL</b>	<b>QM</b>
<b>Regressão</b>	3	4,33 *
<b>F. Ajuste</b>	11	0,41 *
<b>Erro puro</b>	3	0,01
<b>Resíduo</b>	14	0,32

$R^2=74\%$ ;  $F_{3;14;0,95} = 3,34$ ; \*Valores estatisticamente significativos ( $p < 0,05$ )

A equação 12 mostra os valores codificados para a dureza ser estimada em função do teor de quinoa e da umidade inicial da mistura, dentro da faixa de variação utilizada neste estudo.

$$\text{Equação 12} \quad D = 4,03 - 0,63*Q - 0,63*U + 0,41*Q^2$$

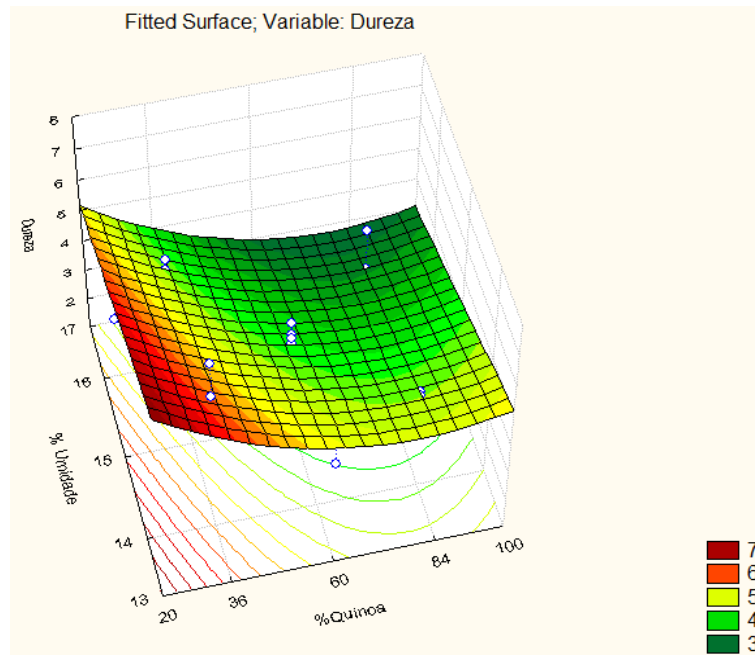
em que:

D = Dureza (N)

Q = Teor de quinoa (%)

U = Umidade da mistura (%)

A partir do modelo obtido, foi possível construir a superfície de resposta para a dureza, apresentadas na Figura 14.



**Figura 14.** Superfície de resposta para dureza em função do teor de quinoa e da umidade inicial da mistura.

Os valores de dureza encontrados na literatura variam entre 1,31 e 47 N, para produtos com características semelhantes, desta forma, os valores encontrados neste estudo estão em concordância com aqueles obtidos por vários trabalhos (DOGAN e KARWE, 2003; FERREIRA, 2006; LEORO, 2007; SCHMIELE, 2009).

Pode-se observar na superfície de resposta (Figura 14) que a diminuição no teor de quinoa e umidade inicial de mistura ocasionaram aumento da dureza, enquanto que o incremento de quinoa principalmente, junto a maiores umidades reduziu este parâmetro. Os valores obtidos encontram-se abaixo daqueles reportados por Lustosa et al., (2010) ao extrusarem farinha de mandioca com caseína, com resultados variando de 43,4 a 120,8 N. Esta diferença pode ser devido principalmente a características físico-químicas próprias da matéria prima utilizada.

Os resultados encontrados também estão de acordo com Coulter e Lorenz (1991), esses autores reportaram que a dureza é reduzida com o aumento do teor de quinoa na mistura, principalmente devido ao maior conteúdo de proteínas e

lipídios presentes na composição, observando-se neste estudo este comportamento e ainda maior nos “snacks” extrudados com alta umidade (17%).

As condições de altos teores de umidade e teor de proteína principalmente, testadas neste experimento, proporcionaram menores valores de dureza, o que é desejado para este tipo de produto. Vários trabalhos estão em acordo que a umidade é o fator de influência mais significativa na dureza (COULTER e LORENZ, 1991; SEBIO e CHANG, 2000; DOGAN e KARWE, 2003; DING et al., 2005; FERREIRA, 2006; LEORO, 2007).

### 3.3.2. Propriedades de pasta

#### 3.3.2.1. Viscosidade máxima (VM)

Através dos resultados obtidos (Tabela 17), foi possível determinar os coeficientes de regressão que estão apresentados na Tabela 20, onde pode ser observado efeito significativo ( $p < 0,05$ ) linear correspondente à umidade inicial de mistura. O teor de quinoa e a temperatura da 3ª zona de extrusão não afetaram a VM dentro da faixa de valores estudada.

**Tabela 20.** Constante e coeficientes de regressão para viscosidade máxima (VM)

	<b>Coefficientes de Regressão</b>	<b>Erro Padrão</b>	<b>Valor t</b>	<b>P(t)</b>
<b>Constante (<math>\beta_0</math>)</b>	524,03	10,23	51,24	<0,0001
<b>Umidade(L)</b>	75,99	11,74	6,47	<0,0001

Valores estatisticamente significativos ( $p < 0,05$ ). L=Linear.

A Tabela 21 apresenta a análise de variância (ANOVA) dos resultados obtidos, sendo o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) igual a 0,72 e o valor de F da regressão significativo ( $p < 0,05$ ).

**Tabela 21.** Análise de variância da regressão para viscosidade máxima (VM)

Fontes de Variação	GL	QM
Regressão	1	78867,42*
F. Ajuste	13	1923,83
Erro puro	3	1704,50
Resíduo	16	1882,71

$R^2=72\%$ ;  $F_{1;16;0,95} = 4,49$ ; \*Valores estatisticamente significativos ( $p<0,05$ )

A Equação 13 mostra valores codificados para a possibilidade da VM ser estimada em função da umidade inicial da mistura, desde que esta variável seja analisada nas faixas de variação utilizadas neste estudo. O teor de quinoa e a temperatura da 3ª zona foram desconsiderados para o modelo, já que não mostrou efeitos significativos para a variável resposta em estudo.

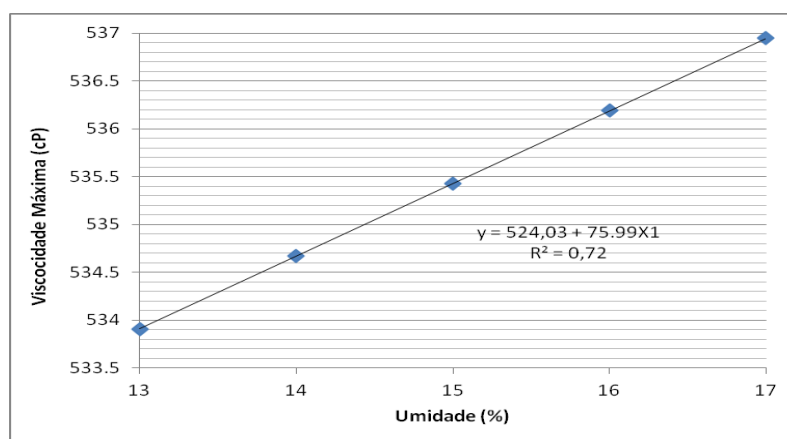
*Equação 13*  $VM = 524,03 + 75,99 \cdot U$

em que:

VM = Viscosidade máxima (cP)

U = Umidade da mistura (%)

A partir do modelo obtido (equação 13), é possível construir o gráfico de regressão para a VM, apresentado na Figura 15.



**Figura 15.** Viscosidade máxima (VM) em função da umidade inicial da mistura

O maior valor da viscosidade máxima (666 cP) foi verificado no tratamento T12 que apresentou maior umidade (17%). Ao contrário, o menor valor de viscosidade máxima (337cP) foi constatado no tratamento T11 processado com a menor umidade inicial de mistura (13%). Assim, verificou-se a relação diretamente proporcional entre a variável de extrusão umidade inicial de mistura e a VM. Comportamento semelhante ao obtido também por Moura et al. (2013) mostrando a influência de maiores valores de umidade para obtenção de uma maior viscosidade a 95°C com farinhas extrudadas de arroz, feijão e milho.

A viscosidade máxima no ciclo de aquecimento indica o quão alto ou baixo pôde ser a viscosidade de uma amostra, que por sua vez depende da estrutura granular do amido, da sua distribuição ramificada, da sua proporção de amilose e amilopectina e das prováveis combinações que por ventura foram feitas com outros ingredientes. Consequentemente poderá indicar indiretamente as possibilidades de utilização da farinha extrudada (TORRES et al., 2005). A viscosidade máxima é atingida quando, durante o ciclo de aquecimento até 95°C, ocorre intumescimento e gelatinização dos grânulos de amido.

Nas condições experimentais do presente estudo, a umidade foi a única variável independente avaliada com efeitos estatísticos significativos na viscosidade de pasta, o que pôde ser observado no modelo de regressão (Equação 13). Os valores observados foram inferiores à média obtida na farinha de quinoa antes da extrusão (769 cP) e aqueles obtidos por Moura e Ascheri (2013) que estudaram os efeitos das variáveis de extrusão sobre propriedades de pasta de farinhas mistas pré-gelatinizadas de arroz, feijão e milho. A viscosidade máxima é caracterizada pelas transformações que ocorrem na estrutura granular do amido submetido ao processo de aquecimento como resultado da desorganização molecular, principalmente da amilose, que leva a um entumescimento total, gelatinização, dextrinização e absorção máxima de água pelos grânulos de amido.

### 3.3.2.2. Tendência à Retrogradação (TR)

Os extrudados apresentaram valores de TR entre 558,5 e 1468,5 cP para os 18 ensaios (Tabela 17). A análise dos dados mostrou efeito linear ( $p < 0,05$ ) correspondente ao teor de quinoa e umidade de mistura, assim como a interação destas variáveis. Mediante os resultados obtidos, foi possível determinar os coeficientes de regressão que estão apresentados na Tabela 22. A variável temperatura da 3ra zona de extrusão na faixa de 120 °C a 160 °C não afetou a TR do “snack”.

**Tabela 22.** Constante e coeficientes de regressão para tendência à retrogradação (TR)

	<b>Coefficientes de Regressão</b>	<b>Erro Padrão</b>	<b>Valor t</b>	<b>P(t)</b>
<b>Constante (<math>\beta_0</math>)</b>	951,25	12,84		
<b>Quinoa (L)</b>	-255,56	14,74	-17,34	<0,0001
<b>Umidade(L)</b>	167	14,74	11,33	<0,0001
<b>QxU</b>	-77,94	19,25	-4,05	0,0012

Valores estatisticamente significativos ( $p < 0,05$ ). L=Linear, Q=Quadrático.

A Tabela 23 apresenta a análise de variância (ANOVA) da regressão, sendo o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) igual a 0,97 e o valor de F da regressão significativo ( $p < 0,05$ ).

**Tabela 23.** Análise de variância da regressão para tendência à retrogradação (TR)

<b>Fontes de Variação</b>	<b>GL</b>	<b>QM</b>
<b>Regressão</b>	3	440522.10 *
<b>F. Ajuste</b>	11	2990.83
<b>Erro puro</b>	3	2875.56
<b>Resíduo</b>	14	2966.13

$R^2=97\%$ ;  $F_{3;14;0,95} = 3,68$ ; \*Valores significativos ( $p < 0,05$ )

O modelo para valores codificados representado na Equação 14 mostra a possibilidade da TR ser estimada em função do teor de quinoa e da umidade inicial da mistura, na faixa de variação utilizada neste estudo.

Equação 14  $TR = 951,25 - 255,56*Q + 167*U - 77,94*Q*U$

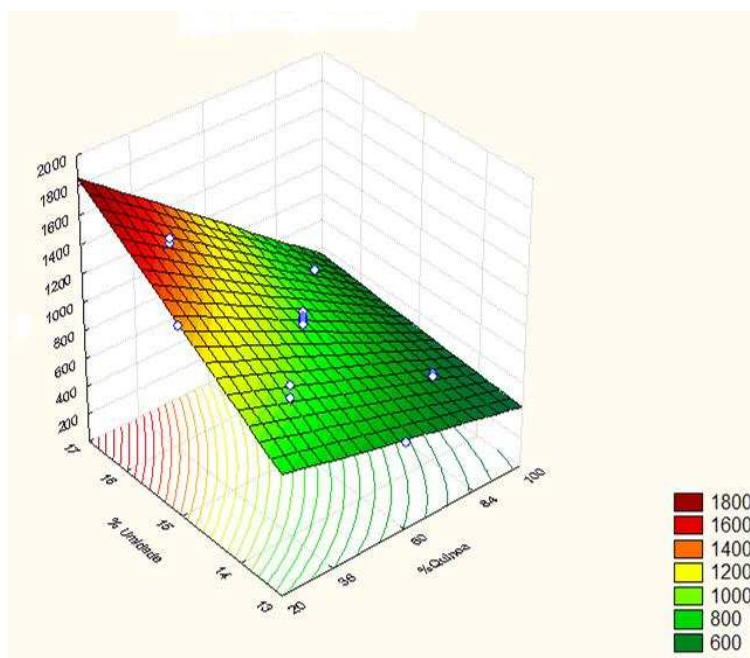
em que:

TR = Tendência à retrogradação (cP)

Q = Teor de quinoa (%)

U = Umidade da mistura (%)

A partir do modelo obtido, foi possível construir a superfície de resposta para a TR, apresentada na Figura 16.



**Figura 16.** Superfície de resposta para a tendência à retrogradação (TR) em função do teor de quinoa e umidade inicial de mistura.

O ensaio com menor TR foi o T10, com 100% de quinoa e valores intermediários para umidade de mistura (15%). Por outro lado, o Ensaio 7 (36% de quinoa e 16% de umidade) foi o que apresentou maior TR.

Pode-se verificar na Tabela 17 que a viscosidade final foi superior a viscosidade máxima, estimando a característica de um amido extrudado em retrogradar e reaproximar moléculas de amilose e amilopectina e aumentar a viscosidade de pasta. A tendência à retrogradação (Setback) corresponde à

diferença entre a viscosidade final a 25 °C e o menor valor de viscosidade à 95 °C. Os maiores valores de viscosidade final 1929 e 1882 cP foram encontrados em amostras processadas com baixos teores de quinoa (36%), e altas umidades de mistura (16%), tratamento T7 e T3, respectivamente.

Além disso, o valor da TR do milho (4818 cP) é muito superior ao da quinoa (229 cP), pelo que é esperado maior TR nos tratamentos com menor teor de quinoa na formulação. Pôde-se observar na superfície de resposta que a altos valores de teor de quinoa principalmente, foram obtidos os menores valores de TR dentro dos níveis estudados. Segundo a Equação 14, ao diminuir a umidade inicial de mistura dentro das faixas estudadas a TR diminuiu, resultado semelhante ao obtido por Carvalho, Ascheri e Vidal (2002) que estudaram a extrusão da mistura de farinha de arroz, banana e trigo, com teores de umidade variando entre 30 e 40%, relatando que a tendência a retrogradação diminuiu com a redução da umidade.

### **3.4. SELEÇÃO DOS SNACKS PARA AVALIAÇÃO SENSORIAL**

Inicialmente se fez uma avaliação visual dos snacks obtidos, observando principalmente a impressão global (cor, forma, tamanho e textura) tentando que esta seja semelhante aos snacks encontrados no mercado. 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, 1991), assim como efeitos na cor e na textura.

Posteriormente foram selecionados snacks de 6 dos 15 tratamentos pesquisados, para posterior análise sensorial. A seleção baseou-se principalmente nos valores das respostas índice de expansão e dureza obtidos nos análises físicos e tecnológicos (Tabela 8 e 17) lembrando que a literatura cita que a máxima expansão é desejada neste tipo de produtos, foram selecionado snacks com índices de expansão no intervalo de 2,85 a 6,84 e com dureza de 4,18 a 6,66 N. Considera-se ainda que os tratamentos escolhidos apresentassem

o maior teor possível de quinoa na sua formulação com o objetivo de promover o aumento de seu consumo e ter um alto teor de proteína no produto. Sendo assim, o valor real das variáveis dos tratamentos selecionados para a análise sensorial estão apresentados na Tabela 24.

**Tabela 24.** Tratamentos de “snacks” expandidos a base de quinoa selecionados para análise sensorial.

Tratamento	% Quinoa (X1)	% Umidade (X2)	Temperatura na 3ª zona (X3)
T1	36	14	128
T2	84	14	128
T5	36	14	152
T11	60	13	140
T14	60	15	160
T15	60	15	140

A aceitação dos “snacks” extrudados pelos consumidores está associada às suas características sensoriais, principalmente aparência sabor e textura, com maior ênfase nos atributos crocância e dureza (ANTON; LUCIANO, 2007). As características de crocância e dureza dos “snacks” 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 (COLONNA; TAYEB; MERCIER, 1998; DING et al., 2005). Sendo assim os tratamentos selecionados para análises sensorial são apresentados na Figura 17.



**Figura 17.** Snacks selecionados para avaliação sensorial. Fila superior de esquerda a direita T1, T2 e T5. Fila inferior de esquerda a direita T11, T14 e T15.

### 3.5. CARACTERIZAÇÃO DOS “SNACKS” EXPANDIDOS

#### 3.5.1. Composição centesimal dos snacks

Os “snacks” selecionados foram submetidos às análises para determinação da composição centesimal. Os resultados de umidade, cinzas, extrato etéreo, proteínas e carboidratos são apresentados na Tabela 25.

**Tabela 25.** Composição centesimal dos snacks expandidos selecionados.

Componente	T1	T2	T5	T11	T14	T15
Umidade	12,49±0,37	11,34±0,32	11,92±0,02	10,06±0,39	13,36±0,84	12,74±0,57
Cinzas	0,95±0,02	1,99±0,01	0,94±0,00	1,49±0,01	1,46±0,01	1,46±0,02
Extrato etéreo	1,08±0,08	3,57±0,49	1,09±0,03	1,97±0,09	2,04±0,27	1,98±0,09
Proteínas	9,17±0,26	12,42±0,14	9,17±0,04	10,97±0,55	9,98±0,34	10,29±0,23
Carboidratos*	76,66±1,04	71,87±2,48	76,89±0,07	75,51±2,99	73,16±0,75	74,19±1,40

Dados expressos em base úmida (bu). Resultados expressos como média ± desvio padrão das análises em triplicatas. \*Calculado por diferença: 100 – (umidade + proteína + extrato etéreo + cinzas). Fator de conversão de nitrogênio em proteína (N x 6,25).

Pela Tabela 25, nota-se que os valores de umidade tem relação direta e guardam concordância com o teor de umidade inicial de mistura (X2) para cada um dos tratamentos. Obteve-se o menor conteúdo no tratamento processado com a menor umidade T11 (13%), enquanto que os maiores valores correspondem aos tratamentos processados com a maior umidade inicial de mistura T14 e T15 (15%).

Comparando o teor de proteína dos produtos expandidos selecionados, verificou-se relação diretamente com o teor de quinoa da formulação (X1), observando-se que os maiores conteúdos na composição, correspondem aos tratamentos T2, T11, T14 e T15, que contem valores de 60 % a 84 % de quinoa, isso era o esperado devido ao teor significativamente superior deste composto presente naturalmente na quinoa. Dentro destes tratamentos o maior valor corresponde a T2 processado com 84% de quinoa e 14% de umidade inicial. Comportamento similar observa-se no conteúdo de lipídeos, em que se obtiveram

principalmente, valores mais baixos nos tratamentos processados com menor teor de quinoa (36%), tratamentos T1 e T5.

Quanto aos carboidratos os grits de milho tem maior conteúdo deles na sua composição química, isto mantém relação com os dados obtidos na Tabela 25 para conteúdo de carboidratos totais, em que se observa valores dentro do intervalo de 71,87 a 76,89 %, para os tratamentos T2 e T5, tratamentos que foram processados com o menor e maior teor de milho na formulação. Finalmente na composição centesimal para o componente cinza encontrou-se valores de 0,94 a 1,99 %, para os tratamentos T5 e T2, podendo-se observar o mesmo comportamento.

Cabe destacar que as análises de composição centesimal foram feitas nos “snacks” selecionados sem adição do aromatizante com o objetivo de não afetar os resultados dos componentes analisados.

### 3.5.2. Determinação da cor dos “snacks”

Os resultados da análise de cor dos “snacks” selecionados para análise sensorial são apresentados na Tabela 25. Os “snacks” tem tom amarelo e subtom vermelho, pois apresentaram valores positivos para as coordenadas de cor  $b^*$  e  $a^*$ , respectivamente.

**Tabela 26.** Luminosidade  $L^*$  e coordenadas de cor  $a^*$  e  $b^*$  dos snacks expandidos de quinoa e milho selecionados

Parâmetros de cor	T1	T2	T5	T11	T14	T15
$L^*$	81,30±0,08	81,03±0,10	81,26±0,06	81,30±0,12	79,90±0,08	79,80±0,11
$a^*$	1,87±0,05	0,52±0,04	1,70±0,02	1,22±0,02	1,29±0,02	1,32±0,03
$b^*$	29,27±0,13	21,22±0,07	28,93±0,18	25,10±0,06	25,13±0,06	25,51±0,10

Resultados expressos como média ± desvio padrão das análises em triplicatas.

Quanto à luminosidade ( $L^*$ ), a farinha de quinoa se mostrou mais escura que a de milho (Tabela 7.), mas isto não interferiu diretamente na luminosidade dos snacks, obtendo-se valores muito próximos no intervalo de 79,80 a 81,30. O maior escurecimento dos produtos após a extrusão corresponde ao T14 (60% de

teor de quinoa, 15% de umidade inicial e 160°C), isto pode ter ocorrido devido à reação de escurecimento não enzimático, conhecida como reação de Maillard, favorecida pelas condições de baixa umidade e altas temperaturas da extrusão (BERSSET, 1998) e, provavelmente, facilitadas pelo maior teor proteico da quinoa.

Analisando a coordenada  $a^*$ , o “snack” correspondente ao tratamento T2 com 84% de quinoa, 14% de umidade e 128°C na 3ª zona de extrusão, apresentou o menor valor de  $a^*$ , seguido dos tratamentos T11, T14 e T15 com 60% de teor de quinoa, observando-se uma relação entre o conteúdo de quinoa e valores inferiores para o sub-tom vermelho  $a^*$ . Quanto  $b^*$  com o aumento da adição de quinoa, ocorreu redução do valor de  $b^*$ . Isso porque a farinha de quinoa apresentou menor intensidade da coordenada  $b^*$  que a farinha de milho, com valores de 15,28 e 36,63 respectivamente, conforme Tabela 7. Observando-se uma menor intensidade do tom amarelo ( $b^*$ ) nos tratamentos T1 e T5. Isto 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.

Os valores obtidos no presente estudo são ligeiramente inferiores aos obtidos por Terezan (2011), para “snacks” expandidos de quinoa e milho.

### **3.6. ACEITAÇÃO SENSORIAL DOS “SNACKS”**

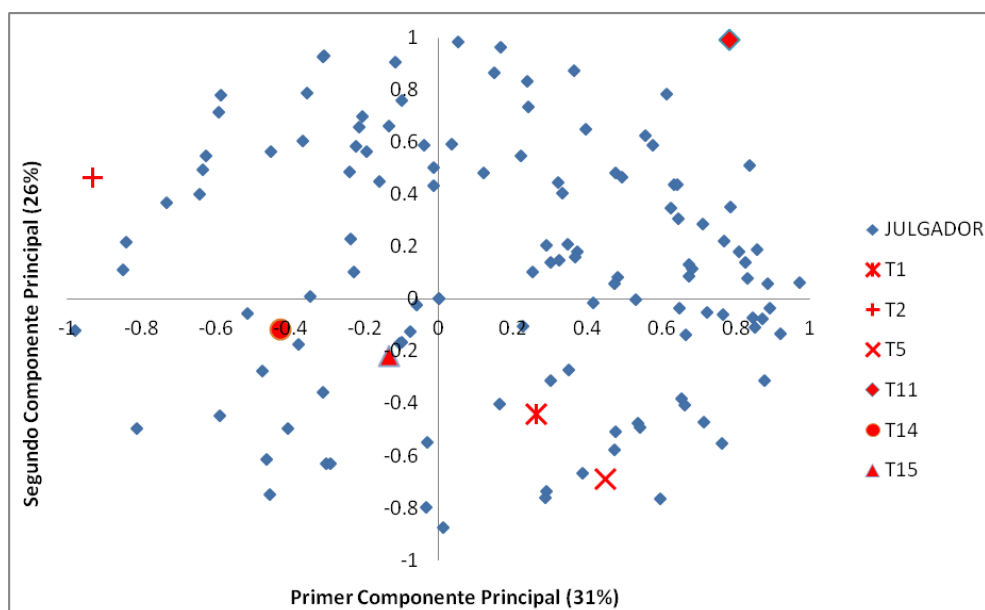
Os dados obtidos nos testes de aceitação das seis amostras de snacks expandidos contendo quinoa foram avaliados pela técnica de Mapa de Preferência Interno (MPI).

O MPI das amostras foi construído de forma a considerar as preferências individuais de cada provador. Assim, as 120 respostas individuais dos provadores, com relação a cada amostra avaliada, geraram um espaço sensorial multidimensional representado por dimensões que explicam a variação total das respostas. Os pontos caracterizam a aceitação individual de cada provador, e a

primeira e segunda dimensões geradas explicam conjuntamente em porcentagem a variabilidade das respostas.

### 3.6.1. Resultados do teste de aceitação sensorial para sabor

O MPI do atributo sabor (Figura 18), foi gerado por meio dos Componentes Principais CP1 CP2 que juntos explicaram 57% da variação total.



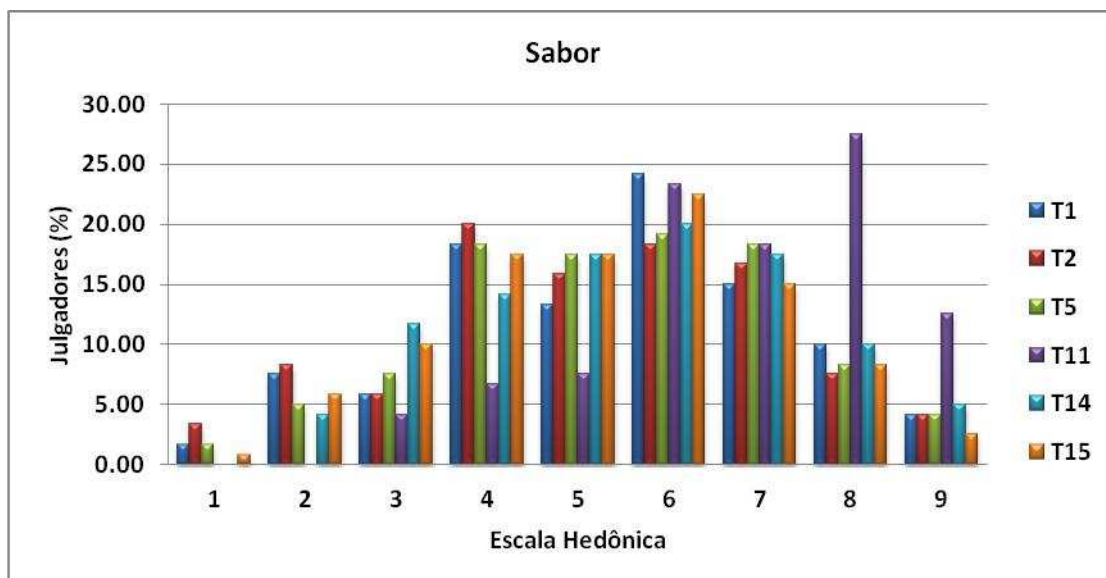
**Figura 18.** Mapa de Preferência Interno do atributo sabor para snacks expandidos a base de quinoa.

Quanto à dispersão das amostras pode-se observar a formação de quatro grupos, um correspondente ao tratamento T11 (60% de teor de quinoa, 13% de umidade e temperatura de 140°C). Outro dos tratamentos T5 (36% de teor de quinoa, 14% de umidade e temperatura de 152°C) e T1 (36% de teor de quinoa, 14% de umidade e temperatura de 128°C); enquanto as amostras dos tratamentos T14 (60% de teor de quinoa, 15% de umidade e temperatura de 160°C) e T15 (60% de teor de quinoa, 15% de umidade e temperatura de 140°C) formaram um terceiro grupo. Já a amostra do tratamento T2 (84% de teor de quinoa, 14% de umidade e temperatura de 128°C) apresenta-se isoladamente no lado esquerdo do gráfico formando o último grupo em função ao atributo sabor.

Na Figura 18, cada ponto em azul representa as correlações entre os dados de aceitação de um consumidor e os dois primeiros componentes principais. Dessa forma, cada um deles está associado a um julgador. Neste tipo de gráfico os julgadores ficam localizados próximos à região das amostras que eles preferiram. Nesse caso observou-se claramente que a maioria dos julgadores ficou voltada para a região da amostra correspondente ao tratamento T11, evidenciando a preferência dos julgadores por aqueles “snacks”.

Na Figura 19 é apresentada a distribuição das notas para sabor. As amostras do tratamento T11 obtiveram melhor aceitação, com média geral 6,43 localizando-se na escala hedônica entre as categorias positivas “gostei moderadamente” e “gostei ligeiramente”. A amostra de menor aceitação foi a do tratamento T2, localizada do lado contrário à amostra T11. Enquanto as amostras T1, T5, T14 e T15 obtiveram aceitação intermediária. Resultado similar ao obtido por De Castro et al (2007) em diferentes preparações destinadas a pacientes celíacos onde a média da aceitação para a amostra de bolo de farinha de milho e quinoa se situou entre “gostei muito” e “gostei moderadamente”, enquanto o bolo de mandioca com farinha de quinoa se situou entre “gostei moderadamente” e “gostei ligeiramente”. Já o bolo de banana com farinha de quinoa ficou entre “gostei ligeiramente” e “indiferente”. Demonstrando assim que as amostras foram bem aceitas sensorialmente pelos avaliadores.

Os consumidores mais próximos do centro do gráfico (Figura 18) não estão correlacionados com nenhum dos dois componentes principais e contribuem pouco para a discriminação das amostras, ou seja, são consumidores que consideram as amostras com aceitação semelhante.

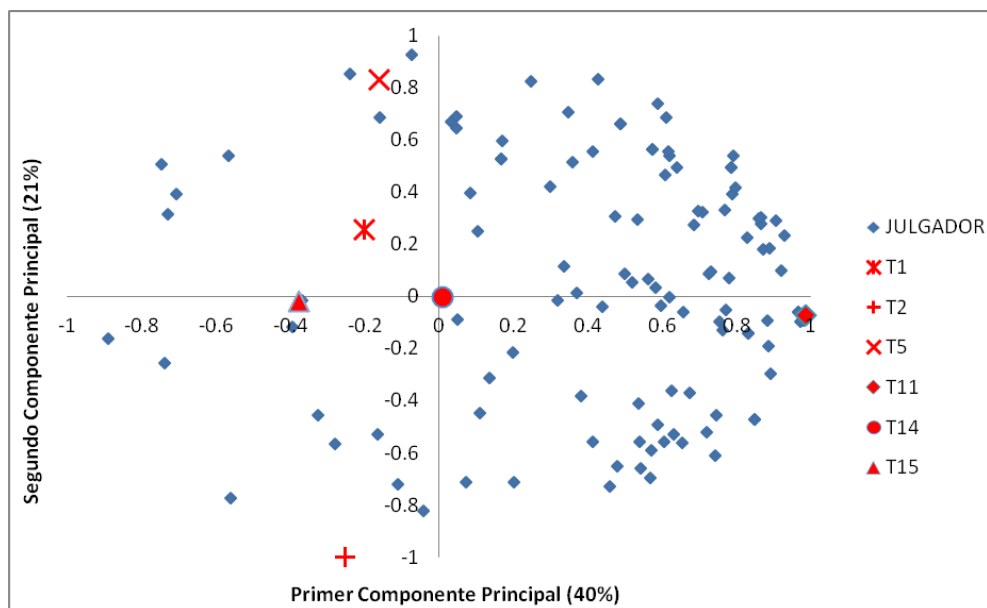


**Figura 19.** Distribuição das notas de aceitação sensorial para o atributo sabor.

### 3.6.2. Resultados do teste de aceitação sensorial para textura

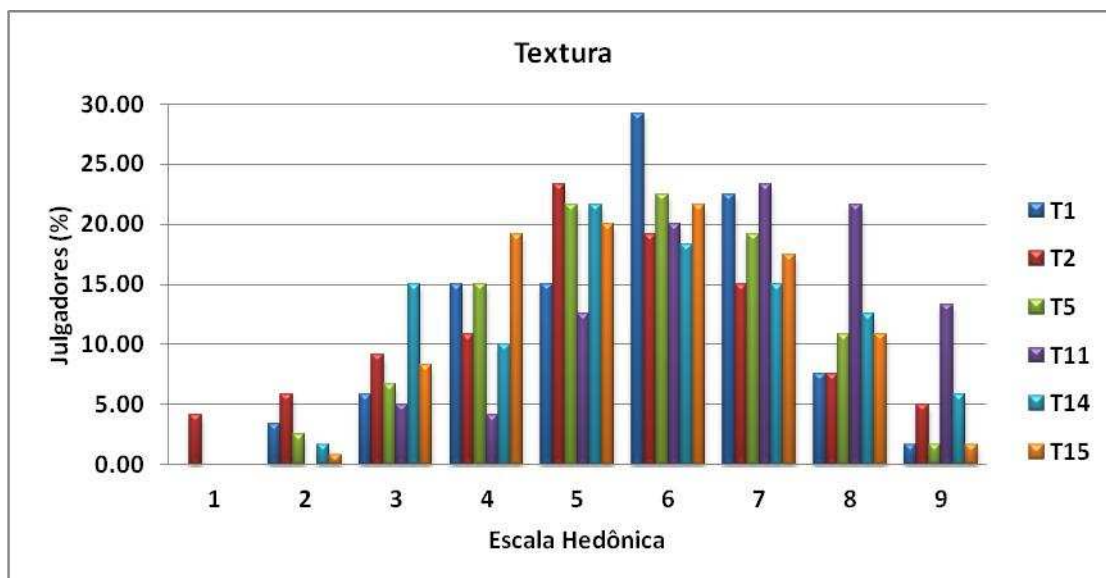
Para o atributo textura o primeiro componente principal (CP1) explicou 40% e o segundo (CP2) 21%, totalizando 61% da variância entre as amostras quanto à sua aceitação.

A separação espacial das amostras de expandidos de quinoa sugere a existência de três grupos de acordo com a aceitação em função da textura (Figura 20), sendo um grupo formado pela amostra correspondente ao tratamento T11 (60% de teor de quinoa, 13% de umidade e temperatura de 140°C), outro grupo correspondente ao tratamento T2 (84% de teor de quinoa, 14% de umidade e temperatura de 128°C), e um terceiro grupo formado pela amostra do tratamento T5 (36% de teor de quinoa, 14% de umidade e temperatura de 152°C), T1 (36% de teor de quinoa, 14% de umidade e temperatura de 128°C), T14 (60% de teor de quinoa, 15% de umidade e 160°C) e T15 (60% de teor de quinoa, 15% de umidade e 140°C).



**Figura 20.** Mapa de Preferência Interno do atributo textura para expandidos a base de quinoa.

Na Figura 20, cada ponto representa as correlações entre os dados de aceitação de um consumidor e os dois primeiros componentes principais. Os consumidores mais próximos do centro do gráfico não estão correlacionados com nenhum dos dois componentes principais e contribuem pouco para a discriminação das amostras, ou seja, são consumidores que consideram as amostras com aceitação semelhante, este grupo é formado por um número pequeno de consumidores. Por outro lado, consumidores correlacionados com pelo menos um dos componentes, consideram diferença na aceitação das amostras. A maioria dos consumidores atribuiu notas mais elevadas para as amostras do tratamento T11 que obteve nota média 6,78 localizando-se na escala hedônica entre as categorias positivas “gostei moderadamente” e “gostei ligeiramente”. Na Figura 21 é apresentada a distribuição das notas para textura.



**Figura 21.** Distribuição das notas de aceitação sensorial para o atributo textura.

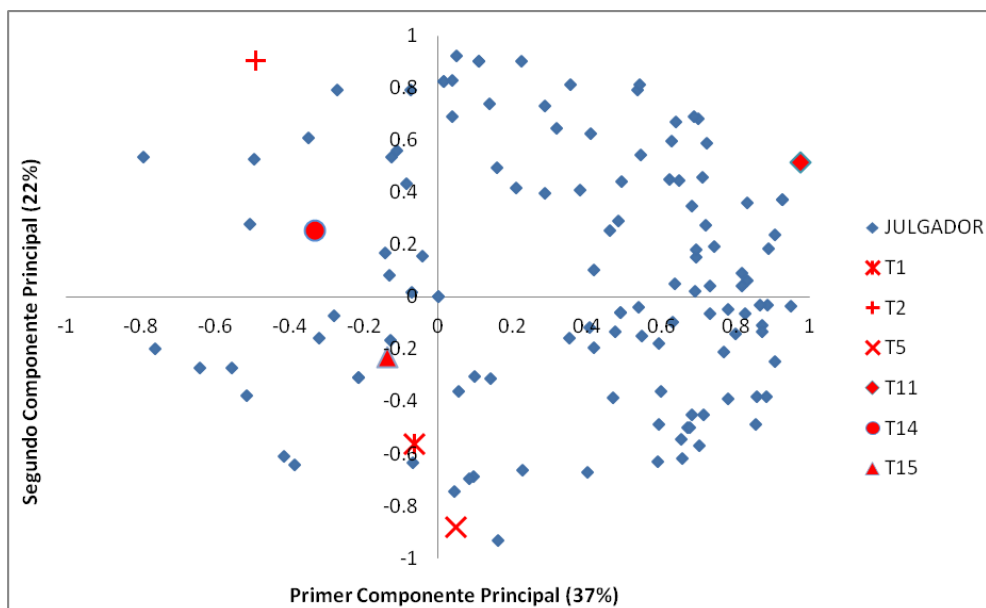
Resultados similares foram obtidos por De Castro et al (2007) em diferentes preparações destinadas a pacientes celíacos adicionando quinoa em flocos, onde o biscoito de queijo com flocos de quinoa situou-se entre “gostei muito” e “gostei moderadamente”, enquanto o bolo de farinha de milho com flocos de quinoa entre “gostei moderadamente” e “gostei ligeiramente”. Observando-se que não houve diferenças significativas entre a aceitação das preparações, as quais foram consideradas boas opções.

### 3.6.3. Resultados do teste de aceitação sensorial para impressão global

Para a análise da impressão global, o primeiro componente principal (CP1) explicou 37% e o segundo componente (CP2) 22%, totalizando, portanto, 59% da variação entre as amostras quanto a sua aceitação.

A dispersão das amostras de “snacks” sugere a existência de quatro grupos de acordo com a aceitação das mesmas (Figura 22), sendo um grupo formado pela amostra correspondente ao tratamento T11 (60% de teor de quinoa, 13% de umidade e temperatura de 140°C na 3ª zona de extrusão), o segundo grupo pela amostra do tratamento T5 (36% de teor de quinoa, 14% de umidade e temperatura de 152°C na 3ª zona de extrusão). Os tratamentos T1 (36% de teor

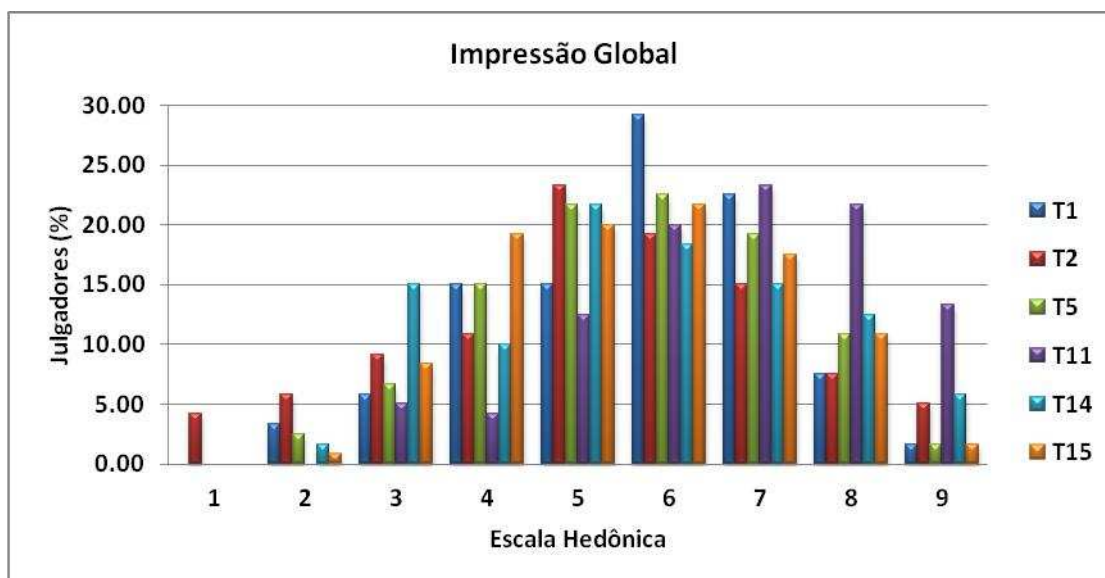
de quinoa, 14% de umidade e temperatura de 128°C na 3ª zona de extrusão) e T15 (60% de teor de quinoa, 15% de umidade e temperatura de 140°C na 3ª zona de extrusão) se encontram formando um terceiro grupo; e finalmente as amostras dos tratamentos T2 (84% de teor de quinoa, 14% de umidade e temperatura de 128°C na 3ª zona de extrusão) e T14 (60% de teor de quinoa, 15% de umidade e temperatura de 160°C na 3ª zona de extrusão).



**Figura 22.** Mapa de Preferência Interno do atributo impressão global para snacks expandidos a base de quinoa.

Na Figura 22, cada ponto representa as correlações entre os dados de aceitação de um julgador e os dois primeiros componentes principais. Dessa forma, cada um deles está associado a um julgador. No gráfico os julgadores ficam localizados próximos à região das amostras que eles preferiram. Nesse caso observou-se claramente que as maiorias dos julgadores ficaram próximos ao tratamento T11, evidenciando a preferência dos provedores por aqueles “snacks”. Na Figura 23 é apresentada a distribuição das notas para textura. As amostras do tratamento T11 obtiveram a maior aceitação, com valor médio de 6,71 localizando-se na escala hedônica entre as categorias positivas “gostei moderadamente” e “gostei ligeiramente”. Já as amostra de menor aceitação para impressão global corresponde aos tratamentos T2 e T14 que obtiveram valores

médios de 5,28 e 5,64 localizando-se na escala hedônica entre as categorias “gostei ligeiramente” e “indiferente”.



**Figura 23.** Distribuição das notas de aceitação sensorial para o atributo impressão global.

Outros trabalhos foram realizados com o intuito de verificar a viabilidade sensorial de produtos contendo quinoa e outro pseudocereal andino denominado amaranto, obtendo bons resultados. Biscoitos tipo “cookie” foram desenvolvidos com farinha de amaranto, e avaliados com escala hedônica estruturada de 9 pontos, verificando-se que estes apresentaram elevada aceitabilidade sensorial, sendo considerados produtos com alto potencial de mercado (MARCILIO et al., 2005; CAPRILES et al., 2006). Lorenz e Coulter 2005 desenvolveram paes, bolos e biscoitos com misturas das farinhas de trigo e quinoa, sendo que a farinha de quinoa foi utilizada nas proporções de 5, 10, 20 e 30% da mistura. Utilizando-se 5 e 10% de farinha de quinoa, obteve-se produtos de alta qualidade, sendo que o sabor destes foi melhor com a adição da farinha nestas proporções. Já com a utilização de quantidades maiores verificou-se pequeno gosto residual e coloração escura nos produtos.

#### 4. CONCLUSÕES

Foi possível desenvolver um produto expandido tipo “snack” tendo como base grãos de quinoa, utilizando de 20 a 84% de teor de quinoa, umidades iniciais de mistura de 13-16% e temperaturas na 3ª zona de extrusão de 120-160 °C, com características físico-tecnológicas potenciais para uma adequada aceitação sensorial.

De forma geral verificou-se estreita relação entre a composição centesimal das matérias primas utilizada e o teor destas na formulação dos snacks avaliados sensorialmente. Os componentes proteína, extrato etéreo e cinzas, aumentaram com o incremento de quinoa na formulação, o que deve-se ao teor superior desses compostos presentes naturalmente nesta matéria prima. A caracterização do snack de maior aceitação T11 apresentou uma composição centesimal de 10,6% de umidade, 1,49% de cinzas, 1,97% de lipídios, 10,97% de proteínas e 75,51% de carboidratos.

O baixo conteúdo de umidade, considerado isoladamente ou em combinação com baixos teores de quinoa resultaram em produtos de alta expansão. Os produtos extrudados com menor densidade aparente foram obtidos com os menores teores de umidade e quinoa. Enquanto que um decréscimo no teor de quinoa e umidade inicial de mistura ocasionaram aumento da dureza.

Os valores de índice de solubilidade em água (ISA) estão inversamente relacionados com o teor de quinoa e umidade da mistura, sendo que quando níveis menores foram utilizados, maiores valores de ISA foram obtidos. Enquanto que o maior valor de índice de absorção de água (IAA) foi obtido com níveis médios para as variáveis avaliadas, correspondente ao ponto central do delineamento.

Quanto às propriedades de pasta, a variável independente de extrusão, umidade inicial de mistura e a resposta VM, tem uma relação diretamente proporcional constatando os maiores valores desta nos tratamentos processados

com maior umidade. Por outro lado os maiores valores para TR se obtiveram em condições de baixo teor de quinoa (36%), e alta umidade de mistura (16%).

É possível obter snacks expandidos a base de quinoa pelo processo de extrusão de boa aceitação sensorial, obtendo termos de aceitação de indiferente (nota 5) a gostei moderadamente (nota 7) para os atributos sabor, textura e impressão global.

As condições tecnológicas apropriadas para a obtenção do “snack” de maior aceitação pelo processo de extrusão testadas no presente estudo correspondem ao tratamento T11 processado com 60% de quinoa, 13% de umidade inicial de mistura e temperatura de 140°C na 3ª zona de extrusão.

## 5. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

As sugestões a seguir surgiram no decorrer do trabalho e na análise dos resultados.

- Realizar testes com os níveis de melhor resposta no presente estudo e com maiores diâmetros de matriz que também vão influir em uma maior expansão dos extrudados.
- 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 na superfície dos “snacks”.
- Analisar os efeitos dos parâmetros de extrusão nas propriedades nutricionais e funcionais dos produtos extrusados;
- Realizar a análise instrumental da crocância dos “snacks” expandidos.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABUGOCH JAMES, L.E. 2009. **Quinoa (*Chenopodium quinoa Willd*) composition, chemistry, nutritional, and functional properties**. Advances in Food and Nutrition Research 58 (Cap.1): 1-31.
- ALONSO, R.; AGUIRRE, A.; MARZO, F. **Effect of extrusion and traditional processing methods on antinutrients and in vitro digestibility of protein and starch in faba and kidney beans**. Food Chemistry, v. 68, p. 159-195, 2000.
- ALVAREZ-MARTINEZ, L.; KONDURY, K. P.; HARPER, J. M. **A general-model for expansion of extruded products**. Journal of Food Science, Chicago, v. 53, n. 2, p. 609-615, 1988. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2621.1988.tb07768.x>
- 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, Campinas, v.22, n.2, p.170-176, 2002.
- AOAC. Association of Official Analytical Chemists. **Official methods of analysis of the AOAC International**. 17th ed. Gaithersburg, 2005.
- ANDERSON, R. A., CONWAY, H. F., PFEIFER, V. F., and GRIFFIN, E. L., Jr. 1969. **Gelatinization of corn grits by roll and extrusion cooking**. Cereal Sci. Today 14:4-12.
- ANDO, H., CHEN, Y, TANG, H., SHIMIZU, M., WATANABE, K. e MITSUNAGA, T. 2002. **Food components in fractions of quinoa seed**. Food Science and Technology Research 8(1): 80-84.
- 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. **Interações moleculares do amido durante o processo de extrusão**. Boletim SBCTA, v. 30, n.1, jan-jun, p. 28-30, 1996.
- ASCHERI, J.A. **Extrusão termoplástica de amidos e produtos amiláceos**. Rio de Janeiro EMBRAPA-CTAA, 1997. 43 P. (EMBRAPA-CTAA, Documentos, n. 19).
- ASCHERI, J. L.; SPEHAR, C. R.; NASCIMENTO, N. E. **Caracterización química comparativa de harinas instantaneas por extrusión de quinoa (*Chenopodium quinoa Willd*), maíz y arroz**. Alimentaria, Madrid, v. 39, n.331, p. 82-89. 2002.
- ASCHERI, J. L.; SPEHAR, C. R.; NASCIMENTO, N. E. **Harina instantânea mixta de quinoa integral, (*Chenopodium quinoa Willd*), y harina de arroz**. Alimentaria, Madrid, v. 15, n.340, p. 81-87, 2003.
- ASCHERI, D. P. R.; ANDRADE, C. T.; CARVALHO, C. W. P.; ASCHERI, J. L. R. **Obtenção de farinhas mistas pré-gelatinizadas a partir de arroz e bagaço de jabuticaba: efeito das variáveis de extrusão nas propriedades de pasta**. Boletim do Centro de Pesquisas e Processamento de Alimentos, Curitiba, v. 24, n. 1, p. 115-144, 2006.

ASCHERI, J.L.R.; CARVALHO, C. W. P. **Processo de extrusão de alimentos: aspectos tecnológicos para o desenvolvimento e produção de alimentos para consumo humano.** Rio de Janeiro, 2008, 82 p. Apostila do Curso de extrusão termoplástica de alimentos – EMBRAPA Agroindústria de Alimentos.

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

BALAGOPALAN, C. Cassava utilization in food, feed and industry. In: HILLOCKS, R.J.; THRESH, J.M.; BELLOTI, A.C. **Cassava: biology, production and utilization.** Wallingford; CAB International, 2002. p. 301-317

BECKER, A.; HILL, S.E.; MITCHELL, J.R. Milling – a further parameter affecting the rapid visco analyser (rva) profile. **Cereal Chemistry**, n.78, p.166-172, 2001.

BERRIOS, J. J. **Extrusion cooking of legumes: dry bean flours.** Enc. Agriculture e Food Biology Eng., v. 1, p. 18, 2006.

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

BOONYASIRIKOOL, P.; CHARUNUCH, C. **Development of nutritious soy fortified “snack” by extrusion Cooking.** Kasetsart J. (Nat. Sci.), v. 34, n. 3, p. 355-365, 2000.

BORBA, A. M. **Efeito de alguns parâmetros operacionais nas características físicas, físico-químicas e funcionais de extrudados da farinha de batata-doce.** 2005. 115 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade de São Paulo, Piracicaba.

BORBA, A. M.; SARMENTO, S. B. S.; LEONEL, M. **Efeito dos parâmetros de extrusão sobre as propriedades funcionais de extrudados da farinha de batata doce.** Ciência e Tecnologia de Alimentos; Campinas; v. 25, n. 4, p. 835-843, out./dez. 2005.

BORGES, J.; BONOMO, R.; DE PAULA, C.; OLIVEIRA, L.; CESÁRIO, M.; **Características físico-químicas, nutricionais e formas de consumo da quinoa (*Chenopodium quinoa willd.*).** Temas Agrarios - Vol. 15:(1) Enero - Junio 2010

BRADY, K., HO, C., ROSEN, R., SANG, S. E KARWE, M. 2007. **Effects of processing on the nutraceutical profile of quinoa.** Food Chemistry 100(3): 1209-1216.

BRINEGAR, C., SINE, B. e NWOKOCHA, L. 1996. **High-Cysteine 2S seed storage proteins from quinoa (*Chenopodium quinoa*).** Journal of Agricultural and Food Chemistry 44(7): 1621-1623.

CADENA, C.; YÁNES, S.; **Elaboración de un “snack” extruido expandido: a base de chocho y gritz de maíz.** Tesis (Ingeniera de Alimentos), Universidad San Francisco de Quito, Colegio de Agricultura, Alimentos y Nutrición; Quito, Ecuador . xix, 153 h. : il, 2010.

CAMIRE, M.E.; KING, C.C. **Protein and fiber supplementation: effects on extrudate cornmeal snack quality.** Journal of Food Science, v.56, n.3, p.760-763, 1991.

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

CAPRILES, V. D. et al. **Efeito da adição de amaranto na composição e na aceitabilidade do biscoito tipo cookie e do pão de forma.** Alim. Nutr. Araraquara, v.17, p.260- 274, 2006.

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

CARVALHO, R. V.; ASCHERI, J. L. R; CAL-VIDAL, J. **Efeito dos parâmetros de extrusão nas propriedades físicas de pellets (3G) de misturas de farinhas de trigo, arroz e banana.** Ciência e Agrotecnologia. Lavras, v.26, n. 5, p. 1006-1018, 2002.

CARVALHO, A. V.; VASCONCELOS, M. A. M.; SILVA, P. A.; ASSIS, G. T.; ASCHERI, J. L. R. **Caracterização tecnológica de extrudados de terceira geração à base de farinhas de mandioca e pupunha.** Ciência e Agrotecnologia, Lavras, v. 34 n. 4, p. 995-1003, 2010. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542010000400028>.

CHEYNE, A.; BARNES, J.; WILSON, D.I. **Extrusion behaviour of cohesive potato starch pastes: I. Rheological characterisation.** Journal of Food Engineering, v. 66, p. 1-12, 2005.

CHIMMASWAMY, R. **Basis of cereal starch expansion.** Carbohydrate Polymers, v.21, p.157-167, 1993.

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

CNPMS – **Centro Nacional de Pesquisas em Milho e Sorgo**, Embrapa, 2006. Disponível em <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br>>. Acesso em 15 de julho de 2010.

COCHRAN, W. G., and G. M. COX. 1957. **Experimental Designs.** Willey, New York.

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.

COMAI, S., BERTAZZO, A., BAILONI, L., ZANCATO, M., COSTA, C.V.L. E ALLEGRI, G. 2007. **The content of proteic and nonproteic (free and protein-bound) tryptophan in quinoa and cereal flours.** Food Chemistry 100(4): 1350-1355.

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, 1991.

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

DINI, I.; TENORE, G.C.; TRIMARCO, E. e DINI, A. 2006. **Two novel betaine derivatives from Kancolla seeds (Chenopodiaceae)**. Food Chemistry, 98(2): 209-213.

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

EASTMAN, J.; ORTHOEFER, F.; SOLORIO, S. **Using extrusion to create breakfast cereal products**. Cereal Food World, v. 46, n. 10, p. 468-471, 2001.

EL-DASH, A.A. **Application and control of thermoplastic extrusion of cereals for food and industrial uses**. In: **Cereals a renewable resource: theory and practice**. American Association of Cereal Chemists, St. Paul, p.165-216, 1982.

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

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.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION/WORLD HEALTH ORGANIZATION - FAO/WHO. 1985. **Necessidades de energia y de proteínas**. Ginebra: OMS. 220p. (Informe de una reunión consultiva conjunta FAO/OMS/UNU de expertos).

FAO/OMS. **Human Vitamin and Mineral Requirements**. In: Report 7ª Joint FAO/OMS Expert Consultation. Bangkok, Thailand, 2009. 286p

GEWEHR, M.; DANELLI, D.; DE MELO, L.; FLÔRES, S.; JONG, E.; **Análises químicas em flocos de quinoa: caracterização para a utilização em produtos alimentícios**. Brazilian Journal of Food Technology. Campinas, v. 15, n. 4, p. 280-287, out./dez. 2012. <http://dx.doi.org/10.1590/S1981-67232012005000023>

GÓMEZ, M.E.B. **Produção de "snacks" de segunda geração, a partir de misturas de farinhas de arroz e batata – doce, por extrusão termoplástica**. 1997. 125 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Instituto de Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, Rio de Janeiro. 1997.

GONZÁLEZ, R.J. (1988). Boletín de extrusión del ITA (UNL).

GONZÁLES, J. R.; TORRES, R.L.; DE GREEF, D.M. **Extrusión-cocción de cereales**. Boletim da SBCTA, Campinas, v. 36, n. 2, p. 104-115, 2002.

GUERREIRO, L. **Produtos Extrudados para Consumo Humano, Animal e Industrial**. Rio de Janeiro, 2007, 25 p. Dossiê Técnico – Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas - SBRT.

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.

- GUTKOSKI, L.C. Extrusão de produtos de aveia. In: GUTKOSKI, L. C.; PEDÓ, I. **Aveia: composição química, valor nutricional e processamento**. São Paulo: Varela, 2000. P. 103-169.
- GUY, R. Raw materials for extrusion cooking. In: GUY, R. **Extrusion cooking**. Boca Raton: Woodhead Publishing Limited, 2002 a. cap 2.
- HARPER, J.M. **Extrusion of Food**. Boca Raton: CRC Press, 1981. V. 2, 174p
- HASHIMOTO, J. M.; GROSSMANN, M. V. E. **Effects of extrusion conditions on quality of cassava bran/cassava starch extrudates**. International Journal of Food Science and Technology, v. 38, n. 5, p. 511-517, 2003.
- HOUGH, G. et al. **Number of consumers necessary for sensory acceptability tests**. Food Qual. Preference, v. 17, n. 6, p. 522-526, Sept. 2006.
- HSIEH, F., GRENUS, K. M., HU, L., and HUFF, H. E. 1993. **Twin-screw extrusion of rice flour with salt and sugar**. Cereal Chem. 70:493-498.
- ILO, S. et. al. **Extrusion cooking of rice flour and amaranth blends**. Lebensm Wissu - Technology, v.32, p.79-88, 1999.
- ILO, S.; LIU, Y.; BERGHOFER, E. **Extrusion cooking of rice flour and amaranth blends**. Lebensmittel Wissenschaft und Technologie, v.32, p.79-88, 1999.
- JANCUROVÁ, M., MINAROVÍČOVÁ, L. e DANDÁR, A. 2009. **Quinoa: a review**. Czech Journal of Food Sciences 27(2): 71-79.
- KONISHI, Y., HIRANO, S., Tsuboi, H. e Wada, M. 2004. **Distribution of minerals in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) seeds**. Bioscience Biotechnology Biochemistry 68(1): 231-234.
- KOZIOL, Composición química. In: WAHLI, C. **Quinoa hacia su cultivo comercial**. Quito, Equador: Latinreco, 1990. p. 137-159.
- KOZIOL, M. 1993. In.: Janick, J., Simon, J. (Eds.). **Quinoa: A Potential New Oil Crop**. New Crops. Wiley, New York, p.328-336.
- LEORO, M. G. V. **Desenvolvimento de cereal matinal extrudado 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.
- LINDEBOOM, N. 2005. **Studies on the characterization, biosynthesis and isolation of starch and protein from quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.)**. Tese de Doutorado, University of Saskatchewan, Saskatoon.
- LINKO, Y. Y. **The effects of HTST on retention of cereal alfa-amylase activity and on enzymatic hydrolysis of barley starch**. In: LINKO, P.; LARINKARI, J. Food processing engineering. London: Elsevier Applid Science, 1980. v. 2, p. 210-223.
- 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.; COULTER, L. **Quinoa flour in baked products**. Plant Foods Human Nutr., v.41, p.213-223, 2005.

LUSAS, E; RIAZ, M. **Na introduction to extruders and extrusion principles**. Extrusion Communiqué. p. 9 -34, 1994.

LUSTOSA, B. H. B.; LEONEL, M.; MISCHAN, M. M. **Parâmetros de extrusão na produção de snacks de farinha de mandioca enriquecidos com caseína**. Ciências Agrárias, Londrina, v. 31, n. 1, p. 109-126, 2010.

MADEIRA, M. S. E. **Produção de Macarrão Pré-Cozido à Base de Farinha Mista de Arroz Integral e Milho para Celíacos Utilizando o Processo de Extrusão** Tese 2007. 118 p. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Pós-graduação em Ciência y tecnologia de Alimentos, Seropédica.

MAGALLANES, M. (2009). **Farinha Instantânea de Quinoa** (on line). Embrapa Transferência de Tecnologia. Disponível em: <http://hotsites.sct.embrapa.br/proeta/tecnologias/processos/sudeste/farinha-instantanea-de-quinoa-e-amaranto>. Acessado em 03 de dezembro 2011.

MARCÍLIO, R.; AMAYA-FARFAN, J.; SILVA, M. A. A. P. **Avaliação da farinha de amaranto na elaboração de biscoito sem glúten tipo cookie**. Braz. J. Food Technol., v.8, p.175-181, 2005.

MATHIAS, S. V., L. . **Efeito das variáveis de extrusão nas características físicas, químicas, sensorias e nutricionais da farinha instantânea de misturas de quinoa (*Chenopodium quinoa*, Wild) e arroz (*Oryza sativa*, L.)**. Tese 2002. 174 p. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Pós-graduação em Ciência y tecnologia de Alimentos Seropédica.

MENDONÇA, X. M. F. D. **A Extrusão Termoplástica no Desenvolvimento de Produtos Derivados de Amaranto e Arroz**. 2005. 182 f. Tese (Doutorado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos)-Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

MERCIER, C.; LINKO, P.; HARPER, J. M. **Extrusion cooking**. 2a ed., St. Paul: American Association of Cereal Chemists, 1998. 471p.

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

MOUQUET, A., SALVIGNOL, B., VAN HOAN, N ., MONVOIS, J., TRÈCHE, S. **Ability of a “very low-cost extruder” to produce instant infant flours at a small scale in Vietnam**. Food Chemistry, v. 82, p: 249-255, 2003.

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

MOURA, L. S. M.; ASCHERI, J. L. R. **Propriedades de pasta de farinhas mistas**. Alim. Nutr. = Braz. J. Food Nutr., Araraquara, v. 24, n. 1, p. xx-xx, jan./mar. 2013.

MUJICA, A., IZQUIERDO J., MARATHEE J.P. (2001). **Origen y descripción de la quinua**. En Quinoa (*Chenopodium quinoa* Wild.)-Ancestral cultivo andino, alimento del presente y futuro (Mujica A., Jacobsen S.-E., Izquierdo J., Marathee J., Editores). FAO, UNA-Puno, CIP, Santiago, Chile, 9-29.

Núcleo de Estudos e Pesquisas em Alimentação (NEPA-UNICAMP). **Tabela brasileira de composição de alimentos**. 2 ed. Campinas: NEPA-UNICAMP, 2011.

NG, S., ANDERSON, A., COKER, J. e ONDRUS, M. 2007. **Characterization of lipid oxidation products in quinoa (*Chenopodium quinoa*)**. Food Chemistry 101(1): 185-192.

NSIMBA, R., KIKUZAKI, H. e KONISHI, Y. 2008. **Antioxidant activity of various extracts and fractions of *Chenopodium quinoa* and *Amaranthus spp.* seeds**. Food Chemistry 106(2): 760-766.

OGUNGBENLE, H. **Nutritional evaluation and functional properties of quinoa (*Chenopodium quinoa*) flour**. International Journal of Food Sciences and Nutrition 54(2): 153-158. 2003.

OLIVEIRA, G. D. **Obtenção de Produtos Extrudados Expandidos e não Expandidos de Casca de Soja e Milho**. 2007. 106 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos)-Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.

ONWULATA, C. I.; MAULVANEY, S. J.; HSIEH, F. **Co-extrusion of dietary fiber and milk proteins in expanded corn products**. Lebensmittel-Wissenschaft Und-Technologie, Oxford, v. 34, n. 4, p. 424-429, 2001.

OZCAN, S.; JACKSON, D.S. **Functionality behavior of raw and extruded corn starch mixtures**. Cereal Chemistry, v.82, n.2, p.223-227, 2005.

PADMANABHAN, M.; BHATTACHARYA, M. **Extrudate expansion during extrusion cooking of foods**. Cereal Foods World, v.34, n.11, p.945-949, 1989.

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

PIRES, C., OLIVEIRA, M., ROSA, J. e COSTA, N. 2006. **Qualidade nutricional e escore químico de aminoácidos de diferentes fontes protéicas**. Ciência e Tecnologia de Alimentos 26(1): 179-187.

PREGO, IMELDA, S. MALDONADO and M.OTEGUI. **Seed structure and localization of reserves in *Chenopodium quinoa***. Annals of Botany 82:481-488. Article N°12. Bogota. 1998.

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, R.; ESPINOZA, C.; JACOBSEN, S.E. **Nutritional value and use of the Andean crops quinoa (*Chenopodium quinoa*) and kaniwa (*Chenopodium pallidicaule*)**. Food Reviews International, New York, v. 19, n. 1-2, p. 179-189, 2003.

RIBAS, A.I.; CÁNOVAS, G.V.B.; GARZA, S.G.; AÑO, V.G. **Métodos Experimentales en la Ingeniería de los Alimentos**. 1ª edición. Zaragoza: Acribia, 2000.292 p.

Robutti, J.L., F.S. Borrás, R.J. González, R.L. Torres and D.M. De Greef, **Endosperm properties and extrusion cooking behavior of maize cultivars**. Food Sci. Tech. 35, 663-669 (2002).

ROCHA, J. 2008.**Seleção de genótipos de quinoa com características agrônômicas e estabilidade de rendimento no planalto central**. Tese de Mestrado: Universidade de Brasília/Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Brasília.

ROONEY LW and SUHENDRO EL. 2001. **Food quality of corn**. Pages 39-71 in: Snack Foods Processing. Ed. Edmund W. Lusas and Lloyd W. Rooney. Lancaster, PA: Technomic Publishing Company, Inc.

RIAZ, M.N. **Extruders in Food Applications**. Boca Raton, FL: CRC Press, 2000. 225p.

SHIMELIS, E. A.; RAKSHIT, S. K. **Effect of processing on antinutrients and in vitro digestibility of kidney bean (*Phaseolus vulgaris*, L.) varieties grown in East Africa**. Food Chem., v. 103, p. 161-172, 2007.

SCHMIELE, M. **Caracterização das frações com diferentes granulometrias de milho dentado e duro e avaliação na qualidade de extrudados 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.

SHIMELIS, E. A.; RAKSHIT, S. K. **Effect of processing on antinutrients and in vitro digestibility of kidney bean (*Phaseolus vulgaris*, L.) varieties grown in East Africa**. Food Chemistry, v. 103, p. 161-172, 2007.

SILVA, V.L.M. **Efeito das variáveis de extrusão nas características físicas, químicas, sensoriais e nutricionais da farinha instantânea de misturas de quinoa (*Chenopodium quinoa*, Willd.) e arroz (*Oryza sativa*, L.)**. 2002. 175f. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Instituto de Tecnologia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, Rio de Janeiro. 2002.

SILVA, T. C. **Elaboração de massas alimentícias pré-cozidas à base de farinha mista de arroz polido e feijão preto sem casca pelo processo de extrusão termoplástica** Tese 2009. 199 p. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Pós-graduação em Ciência y tecnología de Alimentos Seropédica.

SORAIDE, D. **La quinua real em el Altiplano sur de Bolivia**. Comité Técnico Complejo Quinoa Altiplano Sur. Documento técnico para la denominación de origen. Fundación FAUTAPO. Bolívia 2011.

SPEHAR, C. R.; SOUZA, P. I. M. **Adaptação da quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) ao cultivo nos cerrados do Planalto Central: resultados preliminares**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, DF, v. 28, n. 5, p. 635-639, 1993.

SPEHAR, C. R.; LARA CABEZAS, W. A. R. **Introdução e seleção de espécies para a diversificação do sistema produtivo nos cerrados**. In: LARA CABEZAS, W. A. R.; FREITAS, P. L. (Ed.). *Plantio direto na integração lavoura pecuária*. Uberlândia, MG: UFU, 2000. P. 179-188.

SPEHAR, C. R. **Utilização da quinoa como alternativa para diversificar alimentos**. In: SIMPÓSIO SOBRE INGREDIENTES NA ALIMENTAÇÃO ANIMAL, 2., 2002, Uberlândia. Anais... Uberlândia, MG: Colégio Brasileiro de Nutrição Animal: UFU, 2002. p. 49-58.

SPEHAR, C. R.; SANTOS, R. L. B. **Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) BRS Piabiru: Alternativa para diversificar os sistemas de produção de grãos**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, DF, v. 37, n. 6, p. 889-893, 2002.

SPEHAR, C. R.; SANTOS, R. L. B.; NASSER, L. C. **Diferenças entre *Chenopodium quinoa* e a planta daninha *Chenopodium album***. Planta Daninha, Viçosa, v. 22, p. 126-130, 2003.

SPHEAR, C. R. **Adaptação da quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) para incrementar a diversidade agrícola e alimentar no Brasil**. Cad. Ciênc. Tecnol., Brasília, v. 23, n.1, p. 41-62, 2006.

TAPIA, M. **Cultivos andinos subexplorados y su aporte a la alimentación**. 2. ED. Santiago : FAO – Oficina Regional de la FAO para la América Latina y Caribe, 1997. 273 p.

TEREZAN, V.; **Desenvolvimento de “snacks” expandidos à base de farinhas de milho e quinoa pelo processo de extrusão termoplástica**. Tese de Doutorado. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia de Alimentos. Campinas, SP: [s.n], 2011.

VAN DEN EINDE, R. M.; VAN DER GOOT, A. J.; BOOM, R. M. **Understanding molecular weight reduction of starch during heating-shearing processes**. J. Food Sci., v. 68, n. 8, p. 2396-2404, 2003.

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

VERNAZA, M. G.; CHANG, Y. K.; STELL, C. J. **Efeito do teor de maracujá e da umidade e temperatura de extrusão no desenvolvimento de cereal matinal funcional orgânico**. Braz. J. Food Technol., v.12, n.2, p. 145-154, 2009.

WANG, J.; JING, Z.; YUAN, X. **Preparation of resistant starch from starch-guar gum extrudates and their properties**. Food Chemistry, London, v. 101, n. 1, p. 20-25, 2007. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.01.005>

WRIGHT, K., PIKE, O., FAIRBANKS, D. e HUBER, C. 2002. **Composition of *Atriplex hortensis*, sweet and bitter *Chenopodium quinoa* seeds**. Journal of Food Science 67(4): 1383-1385

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

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.

ZANOTTO, D.L.; BELLAVER, C. **Método de determinação da granulometria de ingredientes para uso em rações de suínos e aves.** Comunicado Técnico EMBRAPA – Suíno e Aves. CT 215. 1996. p. 1-5.

## Anexo A - Ficha da análise sensorial

### TESTE DE AVALIAÇÃO SENSORIAL

Sexo: M ( ) F ( )      Idade: \_\_\_\_ anos      Data: \_\_\_\_ / \_\_\_\_ / \_\_\_\_

Por favor, prove as 6 amostras de “snack” contendo Quinoa, da esquerda para direita, e indique, utilizando a escala abaixo, o quanto gostou ou desgostou de cada amostra.

	Nº da amostra	Nota Sabor	Nota Textura	Nota Impressão Global
9 – Gostei extremamente	_____	_____	_____	_____
8 – Gostei muito	_____	_____	_____	_____
7 – Gostei moderadamente	_____	_____	_____	_____
6 – Gostei ligeiramente	_____	_____	_____	_____
5 – Indiferente	_____	_____	_____	_____
4 – Desgostei ligeiramente	_____	_____	_____	_____
3 – Desgostei moderadamente	_____	_____	_____	_____
2 – Desgostei muito	_____	_____	_____	_____
1 – Desgostei extremamente	_____	_____	_____	_____

Comentários: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_