



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
DEPARTAMENTO DE TECNOLOGIA DE ALIMENTOS  
PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

**MARCOS VENÂNCES DE SOUZA LEÃO**

COMPARAÇÃO DE TRÊS MÉTODOS PARA OBTENÇÃO DA PIPOCA DE ARROZ (*Oriza sativa*)

**FORTALEZA**

**2015**

MARCOS VENÂNCES DE SOUZA LEÃO

COMPARAÇÃO DE TRÊS MÉTODOS PARA OBTENÇÃO DA PIPOCA DE ARROZ (*Oriza sativa*)

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, do Departamento de Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal do Ceará Para obtenção do Título de Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos. Área de Concentração: Ciência e Tecnologia de Produtos de Origem Vegetal

Orientador: Prof. Dr. Claudio Ernani Mendes da Silva

**FORTALEZA**

**2015**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Biblioteca de Ciências e Tecnologia

- 
- S716c Souza Leão, Marcos Venânces de.  
Comparação de três métodos para obtenção da pipoca de arroz (*Oriza sativa*) / Marcos Venânces de Souza Leão. – 2015.  
66 f. : il., color.
- Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Tecnologia de Alimentos, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Fortaleza, 2015.  
Área de Concentração: Ciência e Tecnologia de Alimentos de Origem Vegetal.  
Orientação: Prof. Dr. Cláudio Ernani Mendes da Silva.
1. Alimentos - Avaliação sensorial. 2. Arroz - Beneficiamento. 3. *Oryza sativa*. 1. Título.

---

CDD 664

MARCOS VENÂNCES DE SOUZA LEÃO

COMPARAÇÃO DE TRÊS MÉTODOS DE OBTENÇÃO DA PIPOCA DE ARROZ

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, do Departamento de Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal do Ceará Para obtenção do Título de Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos.

Aprovada em: 28/09/2015

**BANCA EXAMINADORA**



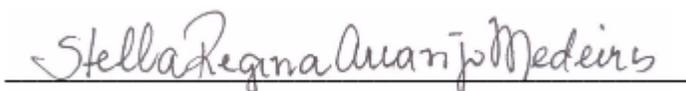
Prof. Dr. Claudio Ernani Mendes da Silva (Orientador)

Universidade Federal do Ceará



Profa. Dra. Andréa Cardoso Aquino

Universidade Federal do Ceará



Profa. Dra. Stella Regina Arcanjo Medeiros

Universidade Federal do Piauí

## RESUMO

A pipoca é um alimento obtido a partir da expansão de grãos de cereais, sendo elaborada tradicionalmente do milho. Entretanto, este produto também pode ser obtido a partir de outros cereais, desde que sejam submetidos a determinadas condições de processamento. Os objetivos deste trabalho foram: avaliar o tipo e a classe de arroz que apresenta maior índice de expansão, quando comparados três métodos de processamento (cocção tradicional, cocção em forno de microondas e cocção em canhão de expansão), determinar a aceitação das pipocas através de análise sensorial dos seguintes atributos: cor, sabor, aroma, aparência e impressão global e avaliar a intenção de compra. Para otimizar as condições do processamento em forno de microondas, foi aplicado o Delineamento do Composto Central Rotacional (DCCR) e a metodologia de superfície de resposta. As pipocas elaboradas pelo método *puff gun* apresentaram maiores índices de expansão. Os grãos expandidos a partir do arroz curto polido e polido longo fino, apresentaram valores de 16,00 e 15,25 respectivamente. Para as pipocas obtidas a partir das amostras de arroz parboilizado longo fino polido foram obtidos índices de expansão de 15,13 enquanto que para as pipocas processadas a partir do arroz parboilizado longo fino integral o índice de expansão foi de 14,38. A partir das amostras de arroz curto integral e longo fino integral, foram elaboradas pipocas que apresentaram índices de expansão de 14,50 e 12,13, respectivamente. As pipocas elaboradas pelo método *puff gun* foram submetidas à análise sensorial, cujos resultados revelaram que o índice de aceitabilidade para a maioria dos atributos avaliados permaneceu fora da faixa de rejeição, caracterizando boa aceitação pelos potenciais consumidores. Concluiu-se que o processamento pelo método *puff gun* foi mais eficiente para a produção de pipocas viáveis à comercialização, por gerar maior expansão nos grãos de arroz em comparação com os outros dois métodos utilizados e que todas as amostras processadas se mostraram potencialmente viáveis para produção e comercialização das pipocas, haja vista, que os índices de aceitabilidade obtidos foram superiores a 70 % para a maioria dos quesitos analisados.

**Palavras-chave:** Análise sensorial, pipoca de arroz, índice de expansão.

## ABSTRACT

The popcorn is a food obtained from the expansion of cereal grains, being prepared traditionally corn. However, this product can also be obtained from other cereals, since they are subjected to certain processing conditions. The objectives of this study were to evaluate the type and class of rice that has a higher expansion ratio compared three processing methods (traditional cooking, cooking in a microwave oven and cooking in cannon expansion), determine the acceptance of popcorn through sensory analysis of the following attributes: color, taste, aroma, appearance and overall impression and evaluate the intention of buying. To optimize the conditions of processing in a microwave oven, we applied the Central Composed Delineation of Rotational (CCRD) and response surface methodology. Popcorn prepared by puff gun method showed higher growth rates. The grain expanded from rice polished short and long thin polished, gave values of 16.00 and 15.25 respectively. For popcorn obtained from polished thin long parboiled rice samples were obtained 15.13 expansion indices while for popcorn processed from the full long thin parboiled rice the expansion ratio was 14.38. From the samples of whole rice and whole short fine long, they were prepared popcorn which increased rates of 14.50 and 12.13, respectively. Popcorn prepared by puff gun method were submitted to sensory analysis, the results showed that the acceptability index for most of the evaluated attributes remained outside the rejection band, featuring well received by potential customers. It was concluded that processing the puff gun method was most efficient for production of viable popcorn marketing, for generating further expansion in rice grains compared to the other two methods used and that all samples processed proved potentially viable for production and sale of popcorn, given that the acceptability indices obtained was above 70% for most of the analyzed questions.

**Keywords:** Sensory analysis, rice popcorn, expansion ratio .

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 01</b>	Esquema representativo do grão de arroz.....	15
<b>Figura 02</b>	Fluxograma das etapas do beneficiamento do arroz polido.....	18
<b>Figura 03</b>	Fluxograma das etapas de beneficiamento do arroz parboilizado polido.....	19
<b>Figura 04</b>	Equipamentos utilizados para o processamento e análise das amostras.....	26
<b>Figura 05</b>	Amostras de arroz após a metalização com ouro em pó.....	31
<b>Figura 06</b>	Gráfico dos valores das pressões aplicadas para obtenção das pipocas pelo método <i>puff gun</i> .....	34
<b>Figura 07</b>	Micrografia eletrônica de varredura mostrando a estrutura do pericarpo de um grão de arroz longo fino integral (2760x).....	35
<b>Figura 08</b>	Aspecto adquirido pelas pipocas de arroz obtidas pelo método <i>puff gun</i> .....	36
<b>Figura 09</b>	Gráfico do efeito da variação do tempo e potência de microondas na expansão dos grãos de arroz parboilizado longo fino integral.....	39
<b>Figura 10</b>	Gráfico do efeito da variação do tempo e potência de microondas na relação de expansão do parboilizado longo fino polido.....	40
<b>Figura 11</b>	Gráfico do efeito da variação do tempo e potência de microondas na relação de expansão do arroz longo fino integral.....	43
<b>Figura 12</b>	Gráfico do efeito da variação do tempo e potência de microondas na relação de expansão do arroz longo fino polido.....	44
<b>Figura 13</b>	Gráfico do efeito da variação do tempo e potência na expansão do arroz curto polido.....	47
<b>Figura 14</b>	Gráfico do efeito da variação do tempo e potência na expansão do arroz curto integral.....	48
<b>Figura 15</b>	Micrografia eletrônica de varredura mostrando as alterações no endosperma de um grão de arroz submetido à parboilização.....	51
<b>Figura 16</b>	Micrografia eletrônica de varredura mostrando o aspecto adquirido por um grão de arroz longo fino integral ao ser expandido pelo método <i>puff gun</i> .....	51
<b>Figura 17</b>	Representação gráfica do índice de aceitabilidade dos atributos sensoriais avaliados da intenção de compra, para as pipocas de arroz produzidas pelo método <i>puff gun</i> .....	57

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 01</b>	Composição centesimal média de arroz integral, branco polido e parboilizado polido (% de matéria seca).....	16
<b>Tabela 02</b>	Variáveis e níveis do planejamento experimental 2 <sup>2</sup> .....	29
<b>Tabela 03</b>	Matriz do delineamento experimental com valores codificados e reais (tempo e potência).....	29
<b>Tabela 04</b>	Valores das pressões utilizadas para expansão dos grãos de arroz pelo método <i>puff gun</i> .....	33
<b>Tabela 05</b>	Análise de variância (ANOVA) para a variável resposta relação de expansão, referentes às variáveis tempo e potência para as pipocas obtidas pela expansão dos grãos de arroz parboilizado longo fino integral em forno de microondas.....	37
<b>Tabela 06</b>	Análise de variância (ANOVA) para a variável resposta relação de expansão, referentes às variáveis tempo e potência para as pipocas obtidas pela expansão dos grãos de arroz parboilizado longo fino polido em forno de microondas.....	37
<b>Tabela 07</b>	Análise de variância (ANOVA) para a variável resposta relação de expansão, referentes às variáveis tempo e potência para as pipocas obtidas pela expansão dos grãos de arroz longo fino integral em forno de microondas.....	41
<b>Tabela 08</b>	Análise de variância (ANOVA) para a variável resposta relação de expansão, referentes às variáveis tempo e potência para as pipocas obtidas pela expansão dos grãos de arroz polido longo fino em forno de microondas.....	41
<b>Tabela 09</b>	Análise de variância (ANOVA) para a variável resposta relação de expansão, referentes às variáveis tempo e potência para as pipocas obtidas pela expansão dos grãos de arroz curto polido em forno de microondas.....	45
<b>Tabela 10</b>	Análise de variância (ANOVA) para a variável resposta relação de expansão, referentes às variáveis tempo e potência para as pipocas obtidas pela expansão dos grãos de arroz curto integral em forno de microondas.....	45
<b>Tabela 11</b>	Índice de expansão obtido para as amostras de arroz submetidas aos três diferentes processamentos.....	49
<b>Tabela 12</b>	Composição centesimal média das pipocas elaboradas pelo método <i>puff gun</i> (base seca).....	54
<b>Tabela 13</b>	Médias dos teores de umidade das pipocas produzidas a partir dos diferentes tipos de arroz utilizados.....	54
<b>Tabela 14</b>	Percentual de lipídios das pipocas obtidas a partir do processamento em forno de microondas e em fogão a gás.....	55
<b>Tabela 15</b>	Resultado das análises microbiológicas para as amostras produzidas pelo método <i>puff gun</i> .....	55
<b>Tabela 16</b>	Teste de Tukey para os valores percentuais do índice de aceitabilidade dos atributos sensoriais e intenção de compra para as diferentes amostras da pipoca de arroz.....	56

## SUMÁRIO

<b>RESUMO.....</b>	<b>5</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>6</b>
<b>LISTA DE FIGURAS .....</b>	<b>7</b>
<b>LISTA DE TABELAS.....</b>	<b>8</b>
<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>12</b>
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>14</b>
2.1 O arroz: descrição, estrutura e aspectos nutricionais.....	14
2.2 Aspectos tecnológicos: beneficiamento do arroz.....	17
2.2.1 <i>Obtenção do arroz integral.....</i>	17
2.2.2 <i>Obtenção do arroz Polido.....</i>	17
2.2.3 <i>Obtenção do arroz Parboilizado .....</i>	18
2.3 Métodos utilizados para obtenção de arroz expandido.....	19
2.3.1 <i>Expansão pelo método puff gun.....</i>	20
2.3.2 <i>Expansão em forno de microondas .....</i>	20
2.3.3 <i>Expansão por aquecimento em areia.....</i>	21
2.3.4 <i>Expansão por cocção em fogão a gás .....</i>	21
2.4 Fatores que interferem na expansão dos grãos.....	21
2.4.1 <i>Estrutura dos grãos.....</i>	22
2.4.2 <i>Teor de umidade.....</i>	22
2.4.3 <i>Influência da parboilização.....</i>	23
2.4.4 <i>Relação do conteúdo de amilose e amilopectina.....</i>	24

<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>25</b>
3.1 Matérias – primas.....	25
3.2 Equipamentos.....	25
3.3 Preparação das amostras.....	27
3.4 Processamento das amostras.....	27
a) <i>Processamento convencional</i> .....	27
b) <i>Processamento em forno de microondas</i> .....	28
c) <i>Processamento em canhão de expansão</i> .....	28
3.5 Determinação do índice de expansão.....	28
3.6 Elaboração do delineamento experimental.....	29
3.7 Análises microbiológicas.....	30
3.8 Microscopia eletrônica de varredura (MEV).....	30
3.9 Determinação da composição centesimal.....	31
3.10 Análise sensorial.....	31
3.11 Análise estatística .....	32
3.12 Submissão ao Comitê de Ética em Pesquisa.....	32
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>33</b>
4.1 Processamento pelo método <i>puff gun</i> .....	33
4.2 Processamento em forno de microondas.....	36
4.2.1 <i>Arroz parboilizado longo fino integral e parboilizado longo fino polido....</i>	36
4.2.2 <i>Arroz longo fino integral e longo fino polido.....</i>	41
4.2.3 <i>Arroz curto polido e curto integral.....</i>	44

4.3 Comparação dos métodos utilizados para obtenção do arroz expandido.....	48
4.3.1 Arroz <i>parboilizados longo fino polido e longo fino integral</i> .....	49
4.3.2 Arroz <i>longo fino polido e curto polido</i> .....	51
4.3.3 Arroz <i>longo fino integral e curto integral</i> .....	53
4.4 Determinação da composição centesimal.....	54
4.5 Análises microbiológicas.....	55
4.6 Análise sensorial.....	56
<b>5 CONCLUSÕES.....</b>	<b>58</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>59</b>
<b>APÊNDICES.....</b>	<b>64</b>

## 1 INTRODUÇÃO

De acordo com a resolução RDC nº 263/05 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), recebem a denominação de cereais processados os produtos obtidos a partir de cereais laminados, cilindrados, rolados, inflados, flocados, extrudados e pré-cozidos, ou outros processos tecnológicos considerados seguros para produção de alimentos. Estes produtos podem conter outros ingredientes, desde que não os descaracterizem, podendo também apresentar cobertura, formato e textura diversos (BRASIL, 2005).

Cereais inflados ou expandidos recebem popularmente a denominação de pipoca, sendo este termo mais empregado para descrever o produto obtido a partir da expansão dos grãos de milho (*Zea mays* Everta). Todavia, os grãos de arroz (*Oriza sativa*) também apresentam a capacidade de expandir-se quando submetidos às condições de processamento semelhantes àquelas aplicadas para a produção da pipoca do milho.

Embora existam poucas informações na literatura científica a respeito do consumo da pipoca de arroz, alguns autores relatam que o produto é bastante apreciado em diversos países do Continente Asiático e em alguns países da América Latina, notadamente, Peru e Equador (MESA, 2003; TONELLI,1995).

Apesar do Brasil ser classificado como o nono maior produtor de arroz do mundo (USDA, 2015), a pipoca de arroz é pouco conhecida em várias regiões do país, sendo seu consumo praticamente restrito às regiões Sul e Sudeste. Alguns fatores que podem explicar esse fato são: o reduzido tamanho do grão de arroz, que gera pouca expansão quando processado por meios convencionais, a ausência de estudos para determinar os tipos de grãos mais adequados para a produção da pipoca e verificar sua aceitação sensorial, a comercialização restrita às regiões citadas, além do alto custo de comercialização deste produto, que restringe sua aquisição por grande parcela da população.

Para obtenção da pipoca de arroz podem ser utilizados dentre outros, os arrozes beneficiados dos subgrupos integral, polido, parboilizado integral e parboilizado polido, pertencentes às classes longo fino e curto que são classificados de acordo com a Instrução Normativa nº 6/09 do Ministério da Agricultura, Pecuária e abastecimento (BRASIL, 2009). Dentre os métodos empregados para o processamento dos grãos, podem ser citados a cocção

em óleo, utilizando-se fogão a gás liquefeito de petróleo, cocção em forno de microondas e cocção em canhão de expansão sob alta pressão (método *puff gun*).

Os principais objetivos deste trabalho foram: avaliar o tipo e a classe de arroz que apresenta maior índice de expansão quando comparados os três métodos acima citados, determinar a aceitação das pipocas através de análise sensorial dos seguintes atributos: cor, sabor, aroma, aparência e impressão global, além de avaliar a intenção de compra para este produto.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

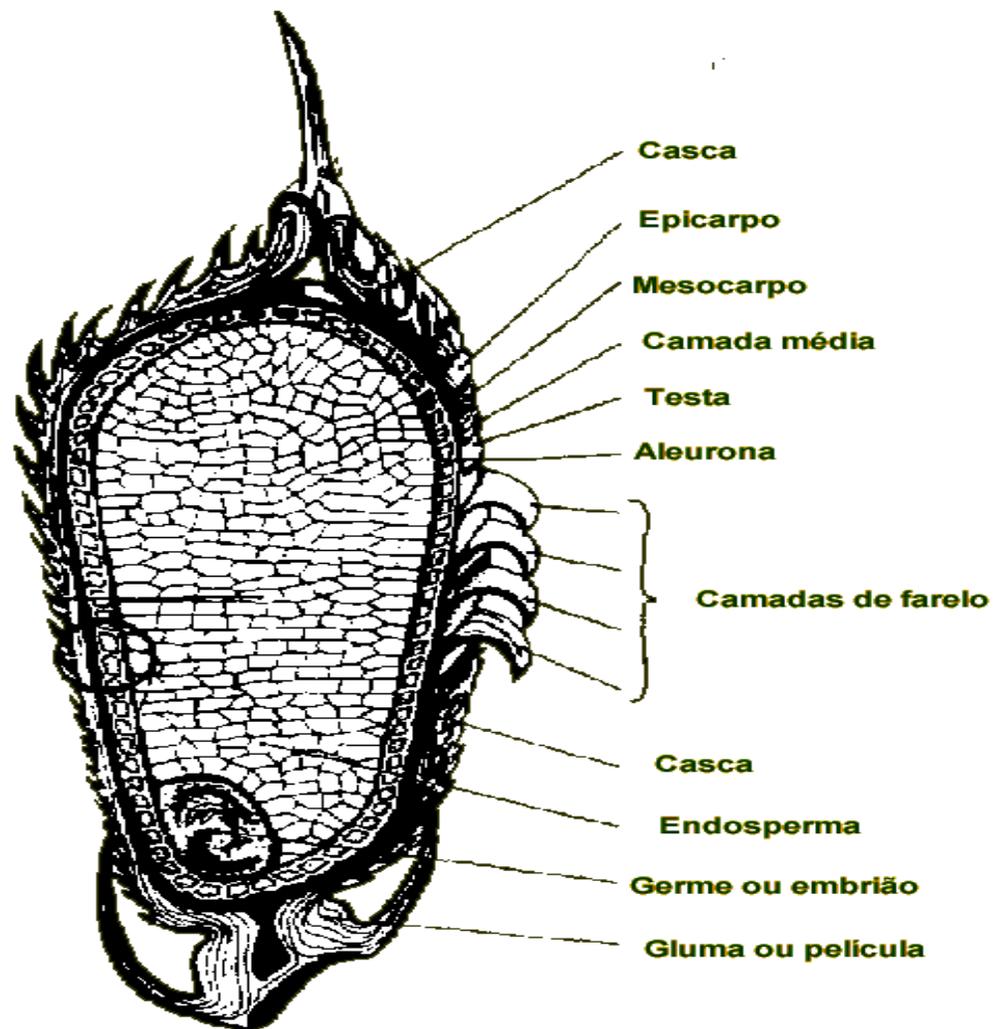
### 2.1 O arroz: descrição, estrutura e aspectos nutricionais

De acordo com Guimarães *et al* (2002), o arroz é uma gramínea adaptada a solos alagados, mas que também apresenta boa capacidade de desenvolvimento em áreas onde há pouca disponibilidade de água. A planta pode atingir cerca de um metro de altura, possui raízes fibrosas ramificadas e caule cilíndrico. Apresenta folhas estreitas, pontiagudas e ásperas, devido à presença de células silicificadas na epiderme. Ademais, possui flores pequenas dispostas em inflorescências secundárias do tipo espiga.

Diversos trabalhos relatam que o arroz é originário do Sudoeste da Ásia, de onde foi difundido para o restante do continente (ADAIR, 1972; SILVA, 1980). A domesticação da espécie ocorreu na região que, atualmente corresponde ao Nordeste da Índia, Norte de Bangladesh, além de uma extensa área que, atualmente compreende os territórios da Birmânia, Tailândia, Laos, Myanmar e Sul da China (CHANG, 1976). Segundo Morishima (1986), as evidências mais antigas se baseiam em sítios arqueológicos descobertos na Índia, Tailândia e China, apresentando indícios que o arroz é cultivado nestas regiões desde 5.500 anos a.C.

O grão de arroz, cuja estrutura é mostrada esquematicamente na figura 1, é constituído externamente pela casca e internamente pelo fruto, que recebe a denominação de cariopse. A casca, que representa cerca de 20 % do peso total do grão, é formada por duas camadas (pálea e lema) enquanto a cariopse é composta por diversas estruturas. Na sua porção mais externa localiza-se o pericarpo e, mais internamente, a camada de aleurona, o endosperma e o gérmen. Com exceção do endosperma, as demais estruturas citadas compõem o farelo, um subproduto obtido após o polimento do arroz que representa cerca de 5-8 % em peso do grão integral. O pericarpo é composto predominantemente, por fibras e nele diferencia-se uma camada mais externa (epicarpo) e uma camada interna (mesocarpo). Abaixo do pericarpo, circundando o endosperma, encontra-se a camada de aleurona, que é constituída, principalmente, de corpos protéicos e lipídicos. O endosperma apresenta grande concentração de carboidratos (89-94 % do peso do grão de arroz integral). O gérmen ou embrião é a estrutura mais interna e representa cerca de 2-3 % do peso total do grão de arroz integral, possuindo em sua composição elevados teores de lipídios e proteínas (JULIANO *et al.*, 1985).

**Figura 1.** Esquema representativo do grão de arroz.



Fonte: Nitzke (2004).

O grão de arroz apresenta os carboidratos como constituintes majoritários, dos quais o amido é encontrado em maior quantidade perfazendo cerca de 90 % do endosperma (HERZOG,1977). Em menores concentrações, são encontradas as proteínas e, ainda, pequenas quantidades de lipídios, minerais e vitaminas conforme mostrado na tabela 1.

A proporção de cada componente pode variar dependendo de fatores como uso de fertilizantes, composição do solo e, principalmente, do tipo de beneficiamento aplicado ao grão. Dessa forma, o arroz integral, submetido apenas à retirada da casca, apresenta maior concentração dos componentes minoritários supracitados e menor concentração, em termos

proporcionais, de amido quando comparado com os grãos que foram submetidos ao polimento (SINGH *et al.*, 1999; ZHOU *et al.*, 2002).

**Tabela 1.** Composição centesimal média do arroz integral, arroz branco polido e arroz parboilizado polido (% de matéria seca).

Constituinte	Arroz integral	Arroz branco polido	Arroz parboilizado polido
Amido total	74,12	87,58	85,08
Proteínas (N x 5,95)	10,46	8,94	9,44
Lipídios	2,52	0,36	0,69
Cinzas	1,15	0,30	0,67
Fibra total	11,76	2,87	4,15
Fibra insolúvel	8,93	1,05	1,63
Fibra solúvel	2,82	1,82	2,52

**Fonte:** Adaptado de Storck (2004).

Dentre os carboidratos presentes no arroz, o amido é encontrado em maior quantidade tanto nos grãos integrais quanto naqueles que foram submetidos a algum processo de beneficiamento. Porém, os carboidratos disponíveis à digestão são encontrados, proporcionalmente, em maior quantidade no arroz branco polido devido à retirada das camadas mais externas, ricas em outros constituintes, haja vista, que o polimento reduz o teor de proteínas, além de ocasionar perda de fibras e outros constituintes como lipídios, minerais e vitaminas, ocasionando considerável redução de seu valor nutricional (JULIANO, 1993).

O teor de proteínas no arroz pode apresentar grandes variações, oscilando entre 4,0 - 18,5 %, mas são encontrados valores médios de 9 % nos grãos integrais e cerca de 6,0 % a 8,0% nos grãos submetidos a algum tipo de beneficiamento. Nos grãos integrais encontram-se também consideráveis concentrações dos aminoácidos essenciais glutamina e ácido aspártico (WALTER, 2008 *apud* JULIANO, 1993).

Os lipídios são encontrados principalmente na camada de aleurona, no embrião e aparecem também associados a grânulos de amido no endosperma. Segundo Taira *et al.*, (1988) o arroz contém proporção significativa de ácidos graxos insaturados, que possuem papel importante em vários processos fisiológicos e devem ser obtidos a partir dos alimentos, uma vez que não podem ser sintetizados pelo organismo humano.

O grão de arroz pode apresentar grande variação em relação aos micronutrientes como minerais e vitaminas, pois conforme citado anteriormente, o processo de polimento ocasiona a perda de suas camadas mais externas, reduzindo suas concentrações. Nos grãos submetidos ao polimento, ocorre grande redução dos teores de cálcio, fósforo, manganês e ferro quando comparados com os valores encontrados nos grãos integrais (COFFMAN *et al.*, 1987; BAJAJ *et al.*, 1989). Quanto ao teor de vitaminas presente neste cereal, KENNEDY *et al.* (2002), observaram quantidades significativas de vitaminas do complexo B, predominando a tiamina (vitamina B1), riboflavina (vitamina B2) e niacina (vitamina B3).

## **2.2 Aspectos tecnológicos: beneficiamento do arroz**

A Instrução Normativa nº 6/09, editada pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, define como arroz beneficiado, o grão maduro submetido a algum processo industrial de beneficiamento, sendo desprovido, no mínimo, da sua casca (BRASIL, 2009). A seguir são descritos de forma sucinta os principais processos de beneficiamento deste cereal na agroindústria.

### ***2.2.1 Obtenção do arroz integral***

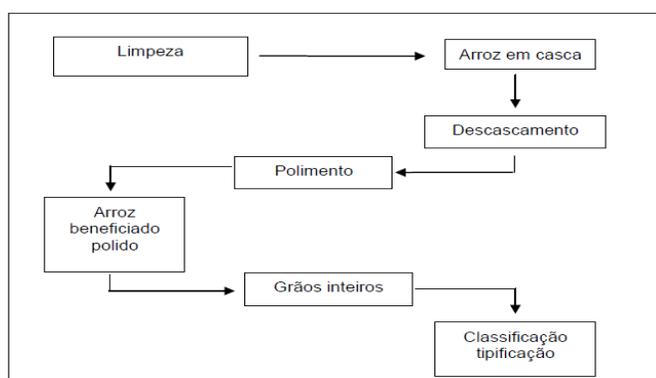
O arroz descascado ou integral é o produto do qual somente sua casca foi removida, sem passar por nenhuma outra etapa de beneficiamento (BRASIL, 2009). De acordo com esta definição entende-se que o arroz integral mantém as suas características estruturais e nutricionais, uma vez que o grão é comercializado sem passar pelos demais processos de beneficiamento que provocam a perda ou a migração de constituintes de importância nutricional.

### ***2.2.2 Obtenção do Arroz Polido***

No polimento, os grãos são submetidos à retirada da casca, seguida da remoção das camadas mais externas e do embrião. Os grãos inteiros são coletados, sendo classificados,

tipificados e embalados. É durante o polimento que são gerados dois subprodutos: o farelo, rico em nutrientes, sendo por este motivo utilizado como matéria-prima para a produção de ração animal, óleo de arroz e na indústria farmacêutica e de cosméticos. O outro subproduto gerado é a quirera, que consiste nos grãos quebrados que podem ser comercializados como arroz de menor qualidade. O fluxograma mostrado na figura 2 ilustra de forma sucinta as etapas do processo de beneficiamento para obtenção do arroz polido (ROCHA, 2010).

**Figura 2.** Fluxograma das etapas do beneficiamento do arroz polido.



**Fonte:** Rocha (2010).

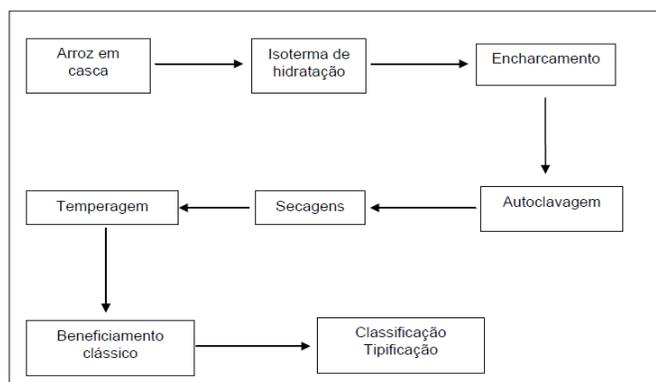
### 2.2.3 Obtenção do Arroz Parboilizado

No Brasil, a tecnologia de parboilização do arroz foi implantada na década de 1950. Segundo a Associação Brasileira das Indústrias de Arroz Parboilizado, a indústria nacional detém a tecnologia mais avançada do mundo para este tipo de processamento (ABIAP, 2009). O processo de parboilização consiste na imersão do arroz com casca em água potável a uma temperatura que varia de 58 °C a 79 °C, provocando a gelatinização do amido. Posteriormente, os grãos são submetidos à secagem, reduzindo a umidade a níveis aceitáveis para o polimento (SESAY *et al.*, 1986; AMATO *et al.*, 2002).

Durante a maceração do arroz em casca, a água penetra, por capilaridade, para o interior do grão, levando consigo compostos hidrossolúveis, além de propiciar um meio ideal para a gelatinização do amido, que ocorrerá durante a aplicação do tratamento térmico. Com a posterior secagem, o grão do arroz torna-se mais resistente às tensões provocadas durante o

beneficiamento, reduzindo a quebra de grãos e aumentando o rendimento em grãos inteiros (GUTKOSKI *et al.*, 1994; AMATO *et al.*, 2005). As etapas do beneficiamento do arroz parboilizado são mostradas, resumidamente, no fluxograma apresentado na figura 3.

**Figura 3.** Fluxograma das etapas de beneficiamento do arroz parboilizado polido.



Fonte: Rocha ,(2010).

### 2.3 Métodos utilizados para obtenção de arroz expandido

Tonelli (1985) citando Clark (1986), informa que a expansão de alimentos é utilizada, basicamente, para elaboração de produtos a partir de cereais, tubérculos e outras matérias-primas com elevado teor de amido em sua composição. Quando estes alimentos são processados sob elevadas condições de temperatura e pressão ocorre a gelatinização do amido e a fuga do vapor de água formado em seu interior, originando um produto com maior volume e boa aceitação entre os consumidores em virtude de suas interessantes propriedades organolépticas e nutricionais. De acordo com Houston *et al.* (1970) produtos a base de arroz expandido fornecem cerca de 89 % de carboidratos, uma quantidade de proteínas superior a 5%, além de outros constituintes considerados benéficos à saúde humana, como fibra dietética (no caso de expandidos obtidos a partir de grãos integrais), vitaminas, minerais e alguns compostos fitoquímicos.

O arroz expandido pode ser obtido por diferentes formas de processamento, sendo mais utilizados: processamento em canhão de expansão (método *puff gun*), uso de areia aquecida como meio de propagação do calor e cocção em óleo comestível (MAISONT *et al.*, 2009).

### **2.3.1 Expansão pelo método puff gun**

O processo de expansão, denominado *puff gun*, é levado a termo quando os grãos são submetidos à elevação gradual de temperatura e pressão em um equipamento que consiste de um cilindro metálico aquecido por uma fonte externa de calor. De acordo com Tonelli (1995), este cilindro se constitui de uma câmara rotativa conectado a um manômetro para aferição da pressão interna. No interior da câmara é depositado o material a ser expandido, que é agitado quando o equipamento é girado por um mecanismo manual ou automatizado (em equipamentos de maior porte, utilizados para produção em escala industrial).

Sullivan *et al.* (1981) observaram que, neste processo, para obtenção de alimentos expandidos, o aumento da pressão no interior do equipamento ocorre em decorrência da elevação da temperatura. De acordo com estes autores, o aumento da temperatura provoca a elevação da pressão de vapor nos alimentos. Assim, quando a pressão cujo valor foi previamente determinado é atingida, a câmara é rapidamente aberta por meio de um dispositivo, para liberação instantânea da pressão em seu interior, fazendo com que a água contida no interior dos alimentos evapore rompendo suas estruturas internas. Ao final do processo serão obtidos produtos expandidos com volumes maiores quando comparados com o produto original e que apresentam consistência macia e porosa, além de manter sua forma semelhante àquela do produto que lhe deu origem.

### **2.3.2 Expansão em forno de microondas**

A ação das microondas para cocção de alimentos ocorre através do aquecimento das moléculas de água neles presentes. As ondas emitidas pelo equipamento provocam o aumento da energia cinética das moléculas de água, promovendo o aquecimento e, conseqüentemente a formação de vapor de água em seu interior, até um ponto em que a elevação da pressão interna provoca a ruptura do grão causando sua expansão.

O uso de microondas é um processo simples e barato, que pode ser realizado tanto em ambiente doméstico, fazendo-se uso de pequenas quantidades das matérias-primas a serem processadas, quanto em escala industrial, mantendo-se condições adequadas de higiene, baixo consumo energético, economia de tempo e controle da potência utilizada, permitindo a

elaboração de produtos com boa qualidade nutricional. A aplicação de microondas para obtenção de arroz expandido é uma forma de processamento conveniente para os consumidores e que vem despertando interesse dos pesquisadores, sobretudo, para a elucidação dos mecanismos de expansão e desenvolvimento de produtos que consigam manter as propriedades nutricionais dos alimentos elaborados por este meio (NIRAV *et. al*, 2013; SUMMU, 2001).

### ***2.3.3 Expansão por aquecimento em areia***

Trata-se de uma técnica rudimentar para obtenção de grãos expandidos, utilizada na Índia desde tempos remotos. Esta forma de obtenção de arroz expandido consiste em colocar os grãos de arroz em contato com areia aquecida que servirá como meio de transmissão de calor. A expansão dos grãos ocorre quando a temperatura de aproximadamente 180 °C é atingida (MURUGESAN *et al.*, 1986).

### ***2.3.4 Expansão por cocção em fogão a gás***

Este é um procedimento simples para obtenção de grãos expandidos, utilizado principalmente, para obtenção da pipoca de milho. Adiciona-se óleo em recipiente para que seja previamente aquecido. Em temperatura de aproximadamente 180 °C, os grãos são adicionados ao recipiente, apresentando imediata expansão proporcionada pelo contato com o óleo aquecido.

## **2.4 Fatores que interferem no processo de expansão dos grãos**

Diversos estudos foram realizados, correlacionando as variáveis envolvidas no processo de elaboração de cereais expandidos e os efeitos que elas podem exercer neste processo. Para vários autores (MURUGESAN *et al.*, 1986; LIN *et al.*, 1988; PORDESINO *et. al*, 1990; DOFING *et al.*, 1990; ZHANG *et al.*, 1998) a qualidade do grão expandido está diretamente relacionada com fatores intrínsecos como a estrutura, o teor de umidade, a

parboilização e a relação existente entre o conteúdo de amilose e amilopectina existente no grão.

#### **2.4.1 Estrutura dos grãos**

Srinivas *et al.*, (1973) observaram que o endosperma opaco ou farináceo encontrado nos grãos de arroz longos e finos permite a fuga do vapor de água através dos espaços existentes entre os grânulos de amido, resultando em uma deficiente expansão. Quando ocorre a predominância deste tipo de estrutura, que contém grânulos de amido arredondados e dispersos e não se encontram delimitados por uma matriz protéica, são encontrados espaços vagos entre os grânulos, que permitem o escape do vapor de água formado durante o aquecimento, diminuindo a pressão interna.

Em contrapartida, observou-se maior expansão nos grãos curtos, também denominados cerosos devido ao seu elevado teor de amilopectina, que confere ao interior do grão um aspecto vítreo (FENNEMA, 2010). Este tipo de grão apresenta uma densa matriz, cujos corpos protéicos se encontram estruturados circulando os grânulos de amido e formando uma estrutura coesa sem maiores espaços entre os grânulos. Esta maior expansão ocorre porque a estrutura compacta do endosperma oferece maior resistência à dissipação da pressão de vapor formada no interior do grão, resultando em maior pressão interna e promovendo maior expansão (MURUGESAN *et al.*, 1986).

Foi demonstrado por Hosney *et al.* (1983) que o volume das pipocas formadas a partir de grãos de milho submetidos à retirada do pericarpo diminuiu consideravelmente quando comparados com o volume obtido para pipocas elaboradas a partir de grãos intactos. Tais resultados que comprovam a influência desta estrutura no volume das pipocas obtidas do milho, provavelmente, se aplicam também para expandidos obtidos a partir de grãos de arroz integrais, uma vez que nestes a estrutura dos grãos se encontra preservada.

#### **2.4.2 Teor de umidade**

A influência do teor de umidade no grau de expansão foi objeto de estudos para diversos autores. Chinasswamy *et al.* (1983), observaram que valores situados entre 10,50 % a

13,00 % de umidade estariam relacionados com maior expansão dos grãos. Posteriormente, Murugesan *et al.* (1986), demonstraram que níveis de umidade compreendidos entre 13,50 % a 14,50 % proporcionaram maior expansão do arroz. Isto se deve ao fato de que nessa faixa de valores, se forma maior quantidade de vapor de água no interior do grão, exercendo maior pressão. Para estes autores, um teor de umidade inferior a 9,50 % não proporciona a pressão interna necessária à expansão, havendo a tendência dos grãos carbonizarem ou romper-se durante o processo de expansão.

Em estudos anteriores realizados por vários autores, foram adotados pré-tratamentos relacionados com o ajuste do teor de umidade da matéria-prima e maceração dos grãos fazendo-se uso de água e soluções salinas, objetivando determinar a influência destas variáveis na obtenção de melhor rendimento e maior índice de expansão ao final do processo (CHINNASWAMY *et al.*, 1983; SIMSRISAKUL, 1991; GOKMEN, 2004; SUCHADA *et al.*, 2009; NIRAV *et al.*, 2013).

#### ***2.4.3 Influência da parboilização***

Para Chinnaswamy *et al.* (1986), a parboilização é uma condição imprescindível para que ocorra maior expansão, quando são utilizados processamentos em que não se aplicam elevadas pressões. Estes autores observaram experimentalmente, que os grãos integrais submetidos apenas à retirada da casca e os grãos polidos não parboilizados apresentaram pouca expansão.

A parboilização interfere positivamente na expansão dos grãos porque o calor aplicado durante este processo de beneficiamento promove a gelatinização do amido, soldando fissuras existentes nos grãos, formando uma camada pouco permeável ao seu redor. Estas alterações na estrutura dos grãos contribuem para a retenção do vapor de água, que é formado devido a aplicação de elevadas temperaturas durante o processamento, aumentando a pressão interna até um ponto em que ela fica maior que a pressão externa, resultando na explosão dos grãos e formação do produto expandido (TONELLI, 1995).

#### **2.4.4 Relação do conteúdo de amilose e amilopectina**

O amido é um polímero de moléculas de glicose que se unem formando as cadeias de amilose e/ou amilopectina, essas cadeias são encontradas em diferentes proporções variando de acordo com o tipo de grão. O amido é também o principal responsável pelas propriedades tecnológicas que caracterizam os produtos derivados de cereais, contribuindo principalmente com a textura e as propriedades organolépticas dos alimentos (SINGH *et al.*, 2003).

No processamento para obtenção do arroz expandido, Tonelli (1995), citando vários autores, relata que a relação existente entre o grau de expansão do grão e o teor de amilose e de amilopectina foi objeto de diversos estudos, cujos resultados apresentaram entre si consideráveis diferenças. Antonio *et al.* (1973) verificaram maior expansão do arroz ceroso, cujo teor de amilopectina pode chegar a 99 %, quando comparado com arroz do tipo longo. Segundo Matz (1976), é necessário que o grão contenha no mínimo 50 % de amilopectina para que a expansão seja aceitável.

Em outro estudo, Chinnaswamy *et al.* (1984) verificaram que ocorre aumento da expansão quando o teor de amilose varia de 0 a 29 %, porém Riaz (1997) afirma que os grãos contendo teores de amilose variando entre 5 – 20 % apresentam melhor textura e maior expansão. Estes estudos mostram que apesar da variação de resultados, se evidencia a existência de uma relação entre um maior teor de amilopectina com a maior expansão do grão. Contudo, segundo Villareal *et al.* (1987), os fabricantes de alimentos à base de arroz expandido têm demonstrado preferência pelo arroz longo fino que possui elevado conteúdo de amilose, provavelmente por razões econômicas.

### **3 MATERIAIS E MÉTODOS**

#### **3.1 Matérias – primas**

As matérias - primas listadas abaixo foram adquiridas no comércio de Fortaleza e processadas no Laboratório de Cereais da Universidade Federal do Ceará.

- Arroz parboilizado longo fino integral
- Arroz parboilizado longo fino polido
- Arroz curto integral
- Arroz curto polido
- Arroz longo fino integral
- Arroz longo fino polido
- Óleo de soja

#### **3.2 Equipamentos**

Os equipamentos utilizados para o processamento e análise das amostras estão listados abaixo e são apresentados na figura 4.

- Fogão a gás convencional Atlas, modelo Coliseum
- Forno de microondas Cònsul, modelo CMP 25ABHNA
- Termômetro infravermelho Incoterm, modelo ST 50
- Canhão de expansão modelo HT058P
- Microscópio eletrônico de varredura Inspect 550
- Metalizadora Emitech, modelo Q150T

**Figura 4.** Equipamentos utilizados para o processamento e análise das amostras; 4a. Fogão a gás; 4b. Forno de microondas; 4c. Canhão de expansão; 4d. Termômetro digital; 4e. Metalizadora; 4f. Microscópio eletrônico de varredura.



### 3.3 Preparação das amostras

Para cada classe de arroz foi feito o ajuste no seu teor inicial de umidade através da seguinte equação:

$$Q_{H_2O} = [ (100 - U_i) / (100 - U_f) - 1 ] \cdot m_a$$

Onde;

$Q_{H_2O}$  = Quantidade de água adicionada

$U_i$  = umidade inicial

$U_f$  = umidade final

$m_a$  = massa da amostra

- Teor de umidade final dos arrozes longo fino polido e longo fino integral: 11,00%
- Teor de umidade final dos arrozes parboilizado longo fino integral e parboilizado longo fino polido: 9,50%
- Teor de umidade final dos arrozes curto integral e curto polido: 12,00%

As amostras foram pesadas, acondicionadas em potes de plástico e borrifadas com a quantidade de água calculada para que fosse atingido o teor de umidade desejado. Os potes foram fechados e colocados em repouso por 24 horas.

### 3.4 Processamento das amostras

Após o ajuste da umidade, as amostras foram submetidas aos três distintos processamentos, descritos nos itens seguintes:

#### *a) Processamento convencional*

Amostras de 100 g foram aquecidas em 50 mL de óleo comestível a 180°C durante o tempo de 5 segundos. Em seguida, foram separadas do óleo e resfriadas para determinação do índice de expansão.

### ***b) Processamento em forno de microondas***

Após a definição dos tempos e potências de cocção, as amostras foram colocadas em frascos de vidro fechados e submetidas à cocção, para realização das análises descritas no item *a*.

### ***c) Processamento em canhão de expansão (puff gun)***

De acordo com o manual de instruções de funcionamento do equipamento, amostras de 1,0 kg foram introduzidas na câmara do canhão e liberadas quando sua pressão interna atingiu o valor determinado para o processamento de cada amostra de arroz. Os grãos expandidos (pipocas) foram recolhidos para as análises descritas no item *a* e acondicionadas em recipientes de plástico para determinação da composição centesimal, análises microbiológicas e análise sensorial após 10 dias de armazenamento.

As amostras obtidas pelos três métodos receberam as seguintes codificações:

- PLFI – parboilizado longo fino integral
- PLFP – parboilizado longo fino polido
- CI – curto integral
- CP – curto polido
- LFI – longo fino integral
- LFP – longo fino polido

## **3.5 Determinação do índice de expansão**

O índice de expansão (I.E) das amostras foi calculado aplicando-se a equação abaixo:

$$\text{I.E} = \frac{\text{volume dos grãos expandidos (mL)}}{\text{volume dos grãos crus (mL)}}$$

### 3.6 Elaboração do delineamento experimental

Para a obtenção do arroz expandido correlacionando as variáveis *tempo x potência* em forno de microondas, foi utilizado o programa Statistica<sup>®</sup> 7.0 para a elaboração do Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR), com aplicação de um planejamento fatorial 2<sup>2</sup> completo totalizando 11 ensaios, sendo, quatro fatoriais (combinações dos níveis -1 e +1), quatro axiais (- $\alpha$  e +  $\alpha$ ) e três repetições do ponto central (0) para estimativa do erro padrão. Nas tabelas 2 e 3, são apresentados as variáveis com os níveis do planejamento experimental e a matriz do planejamento, respectivamente (RODRIGUES *et. al*, 2009).

**Tabela 2.** Variáveis e níveis do planejamento experimental 2<sup>2</sup>.

		Níveis codificados e reais das variáveis independentes				
		$-\alpha = -1,41$	-1	0	+1	$+\alpha = +1,41$
Variáveis independentes						
Tempo (s) X1		35	40	50	60	65
Potência (W) X2		720	840	960	1080	1200

**Tabela 3.** Matriz do delineamento experimental com valores codificados e reais (tempo e potência).

Ensaio	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	Tempo (s)	Potência(W)
1	-1	-1	40	840
2	-1	+1	40	1080
3	+1	-1	60	840
4	+1	+1	60	1080
5	-1,41	0	35	960
6	+1,41	0	65	960
7	0	-1,41	50	720
8	0	+1,41	50	1200
9	0	0	50	960
10	0	0	50	960
11	0	0	50	960

### 3.7 Análises microbiológicas

As amostras das pipocas produzidas pelo método *puff gun*, que apresentaram os maiores índices de expansão, foram submetidas a análises microbiológicas para determinação de *Salmonella sp* e Coliformes totais, em cumprimento da Resolução RDC nº 12, de 2/2001 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (BRASIL, 2001). Os resultados para *Salmonella sp*. foram expressos em presença ou ausência do microorganismo em 25 g da amostra. Para Coliformes totais, os resultados foram expressos em NMP/g da amostra, segundo a metodologia oficial da APHA (2002).

### 3.8 Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

Para observação das amostras por MEV, estas foram recobertas com uma fina camada de ouro (Figura 5). Após a metalização, as amostras de que apresentaram maiores índices de expansão foram observadas em diferentes escalas de aumento para visualização detalhada da estrutura dos grãos.

Segundo Goldstein (1992), o princípio de funcionamento do MEV baseia-se na aplicação de uma diferença de potencial cujos valores podem variar de 0,5 a 30 KV, gerando um feixe eletrônico que incide sobre a amostra a ser observada. O feixe eletrônico desloca-se através de lentes condensadoras, que reduzem seu diâmetro e por uma lente objetiva, que o focaliza sobre a amostra. Acima da lente objetiva existem dois estágios de bobinas eletromagnéticas responsáveis pela varredura do feixe sobre a amostra.

A varredura da superfície da amostra produz elétrons secundários que são captados por um sensor, gerando um sinal elétrico que será convertido em *pixels* na tela do monitor, produzindo uma imagem tridimensional da amostra observada.

**Figura 5.** Amostras de arroz após a metalização com ouro em pó.



### **3.9 Determinação da composição centesimal**

A determinação do teor de lipídios totais foi realizada em aparelho extrator de Soxhlet, segundo o método 30-20 da AACC (1983). A proteína bruta ( $N \times 5,70$ ) foi determinada pelo método Kjeldahl, de acordo com o procedimento 46-12 da AACC (1983). Os percentuais de umidade e cinzas foram determinadas segundo os métodos 44-15 A e 8-12 da AACC (1983) respectivamente. Os carboidratos totais foram estimados por diferença, diminuindo-se de 100 o somatório de lipídios proteínas, umidade e cinzas. Para cada análise foram realizadas cinco repetições.

### **3.10 Análise sensorial**

De acordo com metodologia descrita em Dutcosky (2007), nesta avaliação foram empregados os métodos afetivos com a aplicação de um questionário baseado na escala Hedônica estruturada de nove pontos, onde o valor 9 significa “gostei muitíssimo” e o valor 1

significa “desgostei muitíssimo”. A avaliação da intenção de compra foi realizada através de escala estruturada de cinco pontos, na qual o valor 5 indica que o provador “certamente compraria” o produto avaliado e o valor 1 indica “certamente não compraria”.

As amostras apresentadas foram codificadas em números de três dígitos escolhidos aleatoriamente e avaliadas por 60 provadores não treinados, que emitiram seu parecer a respeito do produto analisado com relação aos seguintes parâmetros: cor, aroma, sabor, textura, aceitação global e intenção de compra.

### **3.11 Análise estatística**

A avaliação dos resultados do planejamento experimental foi realizada através do modelo de superfície de resposta, no qual foram apresentadas as curvas de contorno, utilizando-se o software Statistica<sup>®</sup> 7.0. Os resultados das médias obtidas para os três processamentos realizados para a elaboração das pipocas foram submetidos ao teste de Tukey ao nível de 5 % de significância.

Neto *et. al.*, (2010), informam que o método ANOVA é o mais indicado para avaliar numericamente a qualidade do ajuste de um modelo estatístico. De acordo com estes autores, quando o valor de F da regressão ( $F_{\text{calculado}}$ ) é maior que o valor obtido para  $F_{\text{tabelado}}$ , existe uma relação linear entre as variáveis utilizadas no experimento. Assim, a razão obtida entre os valores de  $F_{\text{calculado}}/ F_{\text{tabelado}}$  será menor que 1, caracterizando um modelo estatisticamente significativo e justificando sua aplicação no experimento.

A análise de variância (ANOVA) e os resultados da análise sensorial e da intenção de compra foram analisados utilizando-se os programas Assistat 7.7 Beta, Statistica<sup>®</sup> 7.0 e Microsoft Excel<sup>™</sup>.

### **3.12 Submissão ao Comitê de Ética em Pesquisa**

Em cumprimento da Resolução N° 466, de 12 de dezembro de 2012 do Conselho Nacional de Saúde, o presente trabalho foi submetido ao Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal do Ceara e aprovado com o número CAE 32517014.0.0000.5054.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Processamento pelo método *puff gun*

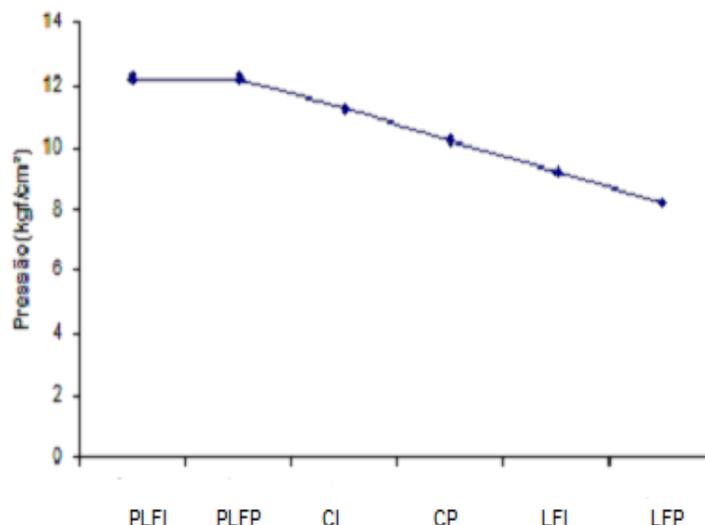
Os valores das pressões aplicadas foram pré-determinados experimentalmente e suas variações, decorrem em função do aumento da pressão do vapor de água que foi liberado pelos grãos durante o aquecimento, elevando a pressão no interior do equipamento. Com exceção das amostras dos arrozes parboilizado longo fino integral e parboilizado longo fino polido em que se aplicou a mesma pressão durante o processamento, as demais amostras foram submetidas a diferentes pressões, cujos valores apresentaram diferenças estatisticamente significativas entre si quando aplicado o teste de Tukey, conforme pode ser observado na tabela 4 e melhor visualizado no gráfico apresentado na figura 6.

**Tabela 4.** Valores das pressões utilizadas para expansão dos grãos de arroz pelo método *puff gun*.

Amostras	Pressão (kgf/cm <sup>2</sup> )
PLFI	12,24 <sup>a</sup>
PLFP	12,24 <sup>a</sup>
CI	11,22 <sup>b</sup>
CP	10,20 <sup>c</sup>
LFI	9,18 <sup>d</sup>
LFP	8,18 <sup>e</sup>

Letras diferentes significam que ocorreu diferença estatisticamente significativa ao nível de 5 %.

**Figura 6.** Gráfico dos valores das pressões aplicadas para obtenção das pipocas pelo método *puff gun*.



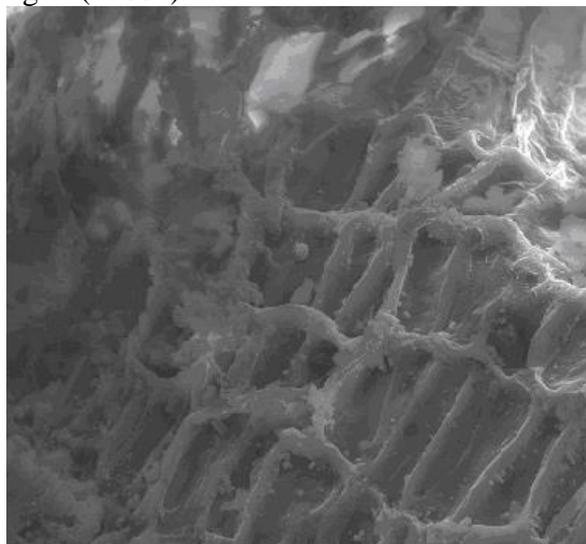
Os diferentes valores das pressões aplicadas para a obtenção dos expandidos por este método, podem ser explicados a partir das diferenças apresentadas pelos diversos tipos de grãos utilizados. Estas diferenças se devem principalmente ao processo de beneficiamento a que os grãos foram submetidos, ou podem ser relacionadas aos teores de amilose e/ou amilopectina que eles apresentam, uma vez que o amido é o principal responsável pelas propriedades tecnológicas que caracterizam os produtos obtidos a partir de cereais (DENARDIN *et. al*, 2009).

A análise do gráfico acima revela que, as amostras de arroz parboilizado necessitaram da aplicação de maiores pressões para se obter maior expansão do que as demais amostras. Isto ocorreu porque o processo de parboilização dos grãos promove a formação de uma camada de amido gelatinizado envolvendo o endosperma (CHINNASWAMY *et.al.*, 1986).

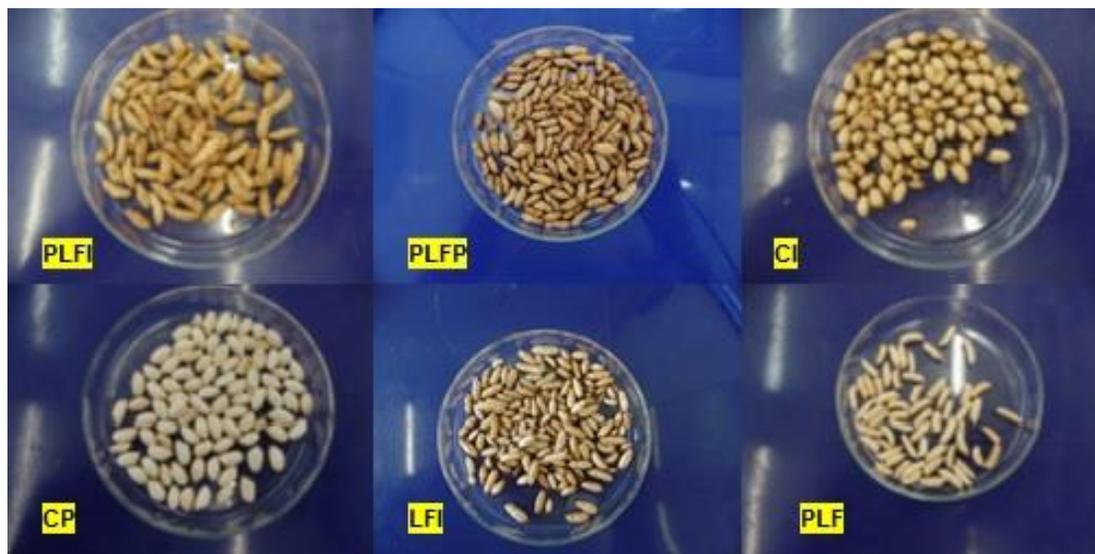
Esta camada apresenta baixa permeabilidade e oferece maior resistência ao escape do vapor de água formado durante o aquecimento, justificando a aplicação de maiores pressões para provocar sua ruptura. Observou-se que as amostras de arroz curto integral e curto polido, também necessitaram da aplicação de maiores valores de pressão para provocar sua expansão em relação às amostras de arroz longo fino integral e longo fino polido. Isto pode ser explicado a partir das diferenças estruturais existentes entre o endosperma dos grãos curtos e dos grãos longos finos.

Os grãos curtos com elevado teor de amilopectina, caracterizam-se pela presença de grânulos de amido coesos que se encontram unidos por uma matriz protéica, enquanto os grãos longos finos que possuem elevado teor de amilose, apresentam um endosperma de aspecto farináceo, com seus grânulos de amido organizados de maneira mais dispersa permitindo que o vapor de água formado em seu interior, durante o processamento, se dissipe com mais facilidade. Além disso, observou-se que, para as duas amostras de arroz integral, tanto o curto quanto o longo fino, também foram aplicadas maiores pressões para provocar a expansão. Isto se deve ao fato de que nos grãos integrais, o pericarpo encontra-se preservado, necessitando de maiores pressões para provocar sua ruptura. Na figura 7, está apresentada a estrutura do pericarpo que envolve um grão de arroz longo fino integral que não foi submetido a nenhum tipo de processamento, enquanto a figura 8 revela o aspecto das pipocas elaboradas no canhão de alta pressão.

**Figura 7.** Micrografia eletrônica de varredura mostrando a estrutura do pericarpo de um grão de arroz longo fino integral (2760x).



**Figura 8.** Aspecto adquirido pelas pipocas de arroz obtidas pelo método *puff gun*.



## 4.2 Processamento em forno de microondas

### 4.2.1 Arroz parboilizado longo fino integral e parboilizado longo fino polido

As tabelas 5 e 6 apresentam os valores das análises de variância (ANOVA) para as amostras de arroz parboilizado longo fino integral e longo fino polido respectivamente ao nível de confiança de 95 %. A partir dos dados apresentados, observa-se que o valor de  $F_{calculado}$  é maior que o valor de  $F_{tabelado}$ . Estes resultados revelam que o modelo estatístico aplicado no experimento foi significativo

**Tabela 5.** Análise de variância (ANOVA) para a variável resposta relação de expansão, referentes às variáveis tempo e potência para as pipocas obtidas pela expansão dos grãos de arroz parboilizado longo fino integral em forno de microondas.

		G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
Relação de expansão	Regressão	6	1,01428 <sup>7</sup>	1,69046 <sup>6</sup>	50,4168	2,80625 <sup>4</sup>
	Resíduo	5	167648,34704	33529,6694		
	Total não corrigido	11	1,03104 <sup>7</sup>			
	Total corrigido	10	172800			

**Tabela 6.** Análise de variância (ANOVA) para a variável resposta relação de expansão, referentes às variáveis tempo e potência para as pipocas obtidas pela expansão dos grãos de arroz parboilizado longo fino polido em forno de microondas.

		G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
Relação de expansão	Regressão	6	61,08819	10,18136	569,97837	6,9604 <sup>7</sup>
	Resíduo	5	0,08931	0,01786		
	Total não corrigido	11	61,1775			
	Total corrigido	10	1,36636			

Os gráficos de superfície de resposta revelaram que, o arroz parboilizado longo fino integral quando submetido à aplicação de elevadas potências em curtos períodos de tempo, originou pipocas com pouca expansão. O mesmo aconteceu para a situação inversa, quando as amostras foram processadas em intervalos de tempo maiores e submetidas a potências mais baixas. A análise dos gráficos permite concluir que, a expansão dos grãos aumentou gradualmente com a elevação do binômio *tempo x potência*, atingido melhores resultados para tempos superiores aos 50 segundos e potências superiores a 900 W.

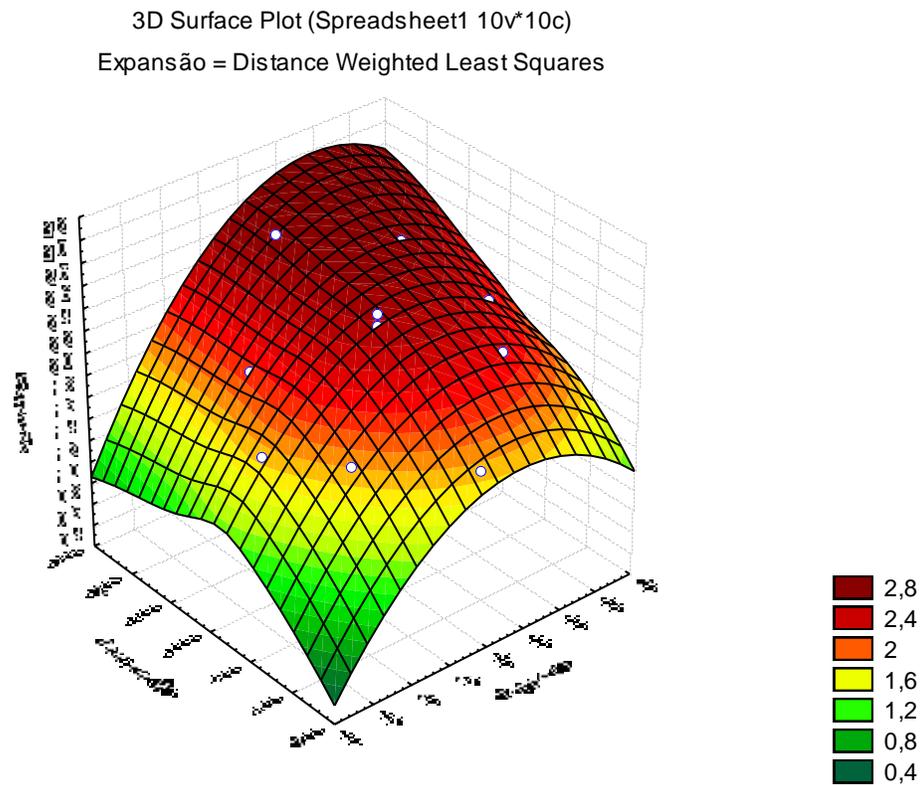
Para as amostras de arroz parboilizado longo fino polido, e parboilizado longo fino integral, obteve-se maiores expansões quando processadas em forno de microondas que as demais amostras. No entanto, por apresentarem teores de umidade relativamente baixos, a pressão de vapor formada no interior dos grãos não foi suficiente para promover maiores índices de expansão e assim permitir que fossem obtidos maiores volumes. Isto pode ser

observado no gráfico apresentado na figura 9, no qual se observa que os maiores valores de expansão projetados pelo delineamento experimental não foram atingidos. Para as amostras de arroz parboilizado longo fino polido os gráficos de superfície de resposta revelaram uma tendência de aumento da relação de expansão a partir do tempo de cocção superior a 45 segundos quando aplicadas potências superiores a 900 W. Observa-se que os índices de expansão dos grãos apresentam maiores valores quando as amostras foram processadas no intervalo de tempo compreendido entre 50 s e 60 s aplicando-se potências com valores que variaram entre 960 W a 1200 W.

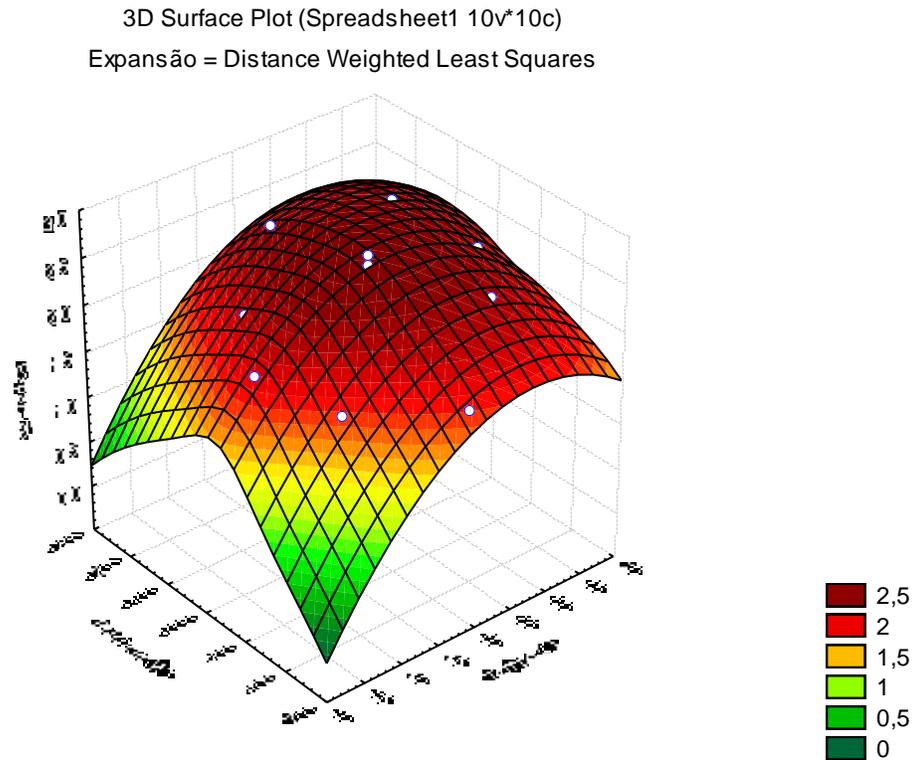
Melhores resultados para obtenção da pipoca de arroz em forno de microondas, com o conseqüente aumento nos valores para a relação de expansão, poderiam ser conseguidos através da elevação do teor de umidade controlando-se em laboratório as condições de parboilização dos grãos, haja vista, que as amostras foram processadas apresentando teores de umidade em torno de 9,50 %. Devido a este baixo teor de umidade a pressão de vapor no interior dos grãos quando estes são submetidos ao aquecimento é insuficiente para promover maiores expansões.

Os gráficos de superfície de resposta correlacionando o efeito da variação do tempo e da potência aplicados no forno de microondas na expansão dos grãos de arroz parboilizado longo fino integral e arroz parboilizado longo fino polido são apresentados nas figuras 9 e 10 respectivamente.

**Figura 9.** Gráfico do efeito da variação do tempo e potência de microondas na expansão dos grãos de arroz parboilizado longo fino integral.



**Figura 10.** Gráfico do efeito da variação do tempo e potência de microondas na relação de expansão do parboilizado longo fino polido.



#### 4.2.2 Arroz longos fino integral e longo fino polido

As tabelas 7 e 8 apresentam os valores das análises de variância (ANOVA) para as amostras de arroz longo fino integral e polido longo fino, respectivamente. Observa-se que o valor de  $F_{calculado}$  é maior que o valor de  $F_{tabelado}$ . Estes resultados permitem concluir a significância do modelo estatístico aplicado no experimento.

**Tabela 7.** Análise de variância (ANOVA) para a variável resposta relação de expansão, referentes às variáveis tempo e potência para as pipocas obtidas pela expansão dos grãos de arroz longo fino integral em forno de microondas.

		G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
Relação de expansão	Regressão	6	17,36421	2,89403	173,72921	1,33788 <sup>-5</sup>
	Resíduo	5	0,08329	0,01666		
	Total não corrigido	11	17,4475			
	Total corrigido	10	0,26			

**Tabela 8.** Análise de variância (ANOVA) para a variável resposta relação de expansão, referentes às variáveis tempo e potência para as pipocas obtidas pela expansão dos grãos de arroz polido longo fino em forno de microondas.

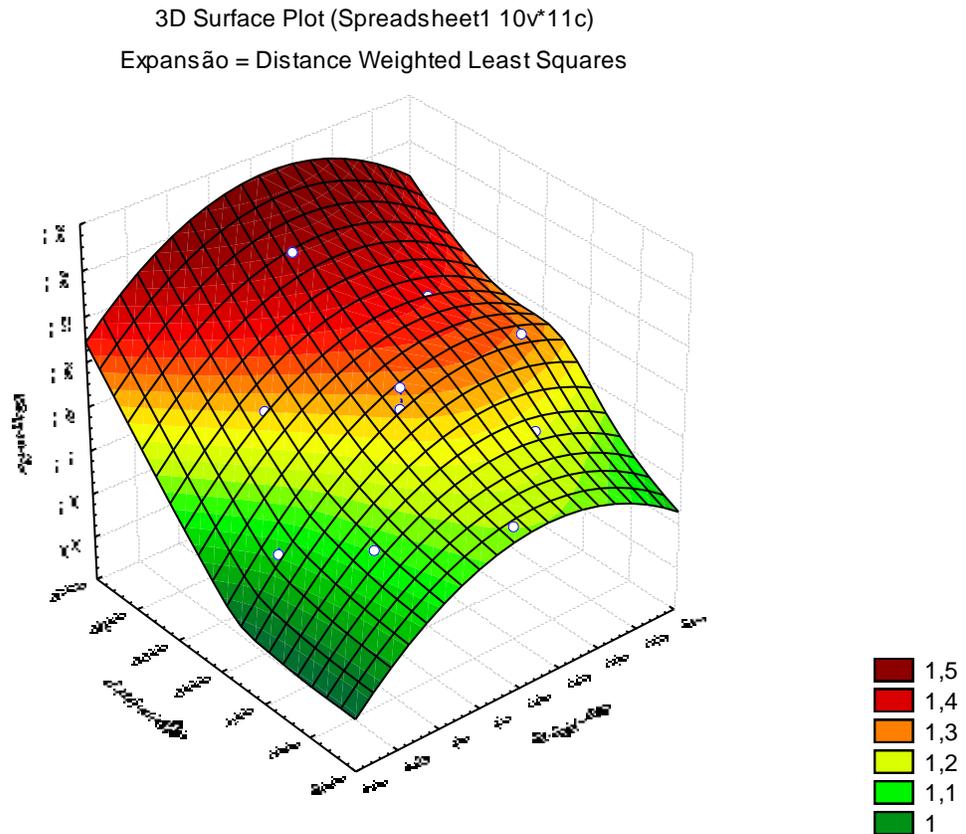
		G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
Relação de expansão	Regressão	6	17,06327	2,84388	3363,04011	8,27385 <sup>-9</sup>
	Resíduo	5	0,00423	8,45627 <sup>-4</sup>	17,36421	
	Total não corrigido	11	17,0675			
	Total corrigido	10	0,12909			

As amostras de arroz longo fino integral apresentaram pequenos aumentos de seus volumes, mostrando ainda uma tendência à carbonização dos grãos quando submetidos à cocção em períodos de tempo superiores a 60 s, resultando em grãos expandidos de pequeno volume. A partir da análise dos gráficos de superfície de resposta, pode ser notado que as

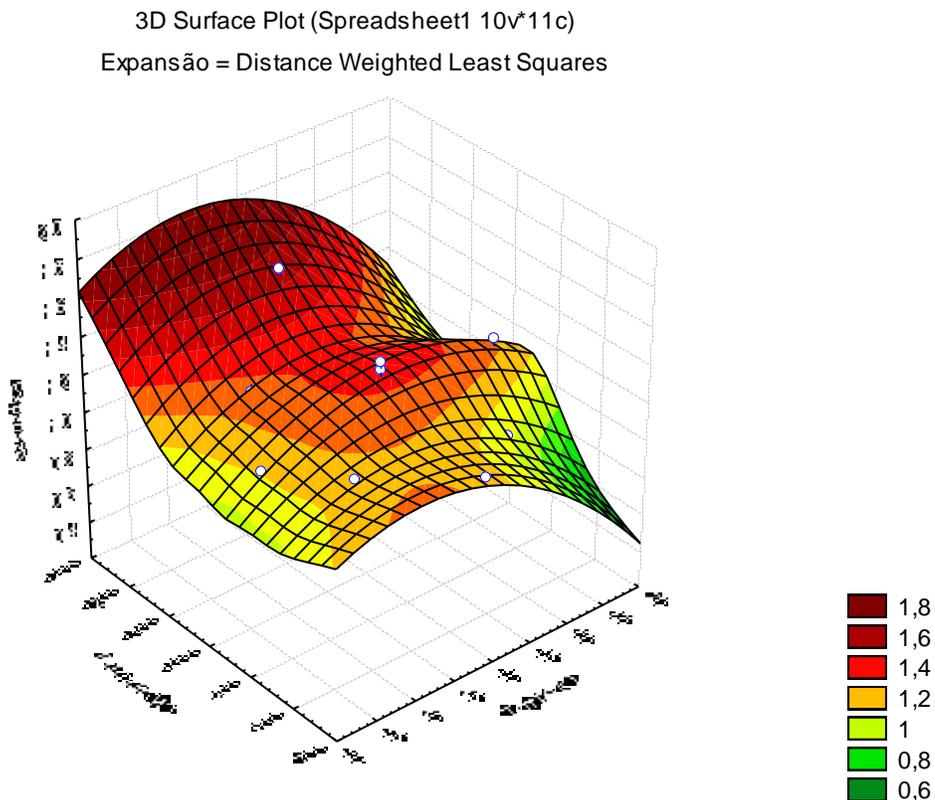
maiores expansões foram obtidas quando foram aplicadas potências maiores que 900 W em períodos de tempo compreendidos entre 45 e 60 segundos.

Para as amostras de arroz longo fino polido, houve um nítido declino na relação de expansão, quando estas foram expostas a tempos de cocção mais elevados e potências superiores a 1000 W. Em intervalos de tempo superiores aos 55 segundos combinados com elevadas potências foi observada tendência ao decréscimo da relação de expansão. Isto ocorreu porque as elevadas potências aplicadas às amostras em períodos de tempo maiores provocaram sua carbonização, interferindo de forma negativa na expansão e no volume das pipocas. Esta tendência das amostras de arroz longo fino carbonizarem antes de se expandir, está relacionada com as características estruturais do endosperma já discutidas anteriormente. Os gráficos das superfícies de respostas correlacionando o efeito da variação do tempo e da potência aplicados no forno de microondas na relação de expansão dos grãos de arroz integral longo fino e polido longo fino são apresentados nas figuras 11 e 12 respectivamente.

**Figura 11.** Gráfico do efeito da variação do tempo e potência de microondas na relação de expansão do arroz longo fino integral.



**Figura 12.** Gráfico do efeito da variação do tempo e potência de microondas na relação de expansão do arroz longo fino polido.



#### 4.2.3 Arroz *curto* polido e *curto* integral

Para as amostras de arroz *curto* polido e *curto* integral que foram utilizadas no experimento, observou-se que os valores das análises de variância (ANOVA) também apresentaram valores de  $F_{calculado}$  maiores que os valores de  $F_{tabelado}$ . As tabelas 9 e 10 apresentam os resultados da análise de variância (ANOVA) para a variável resposta relação de expansão, referentes às variáveis tempo e potência para as pipocas obtidas pela expansão dos grãos de arroz *curto* polido e *curto* integral respectivamente.

**Tabela 9.** Análise de variância (ANOVA) para a variável resposta relação de expansão, referentes às variáveis tempo e potência para as pipocas obtidas pela expansão dos grãos de arroz curto polido em forno de microondas.

		G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
Relação de expansão	Regressão	6	47,31284	7,88547	721,26749	3,86909 <sup>-7</sup>
	Resíduo	5	0,05466	0,01093		
	Total não corrigido	11	47,3675			
	Total corrigido	10	0,72909			

**Tabela 10.** Análise de variância (ANOVA) para a variável resposta relação de expansão, referentes às variáveis tempo e potência para as pipocas obtidas pela expansão dos grãos de arroz curto integral em forno de microondas.

		G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
Relação de expansão	Regressão	6	40,9928	6,83213	490,10893	1,01416 <sup>-6</sup>
	Resíduo	5	0,0697	0,01394		
	Total não corrigido	11	41,0625			
	Total corrigido	10	0,39682			

Os gráficos das superfícies de resposta obtidas para as pipocas elaboradas com arroz curto integral, demonstram que a elevação da potência de trabalho irá resultar em maior expansão à medida que o tempo é aumentado gradualmente dentro da faixa de valores pré-determinados pelo delineamento experimental. A análise destes gráficos permite inferir que os melhores resultados obtidos para o processamento destas amostras em forno de microondas, estão inseridos na região compreendida entre tempos de cocção superiores aos 45 segundos com emprego de potências superiores a 900 W até o máximo de 1200 W.

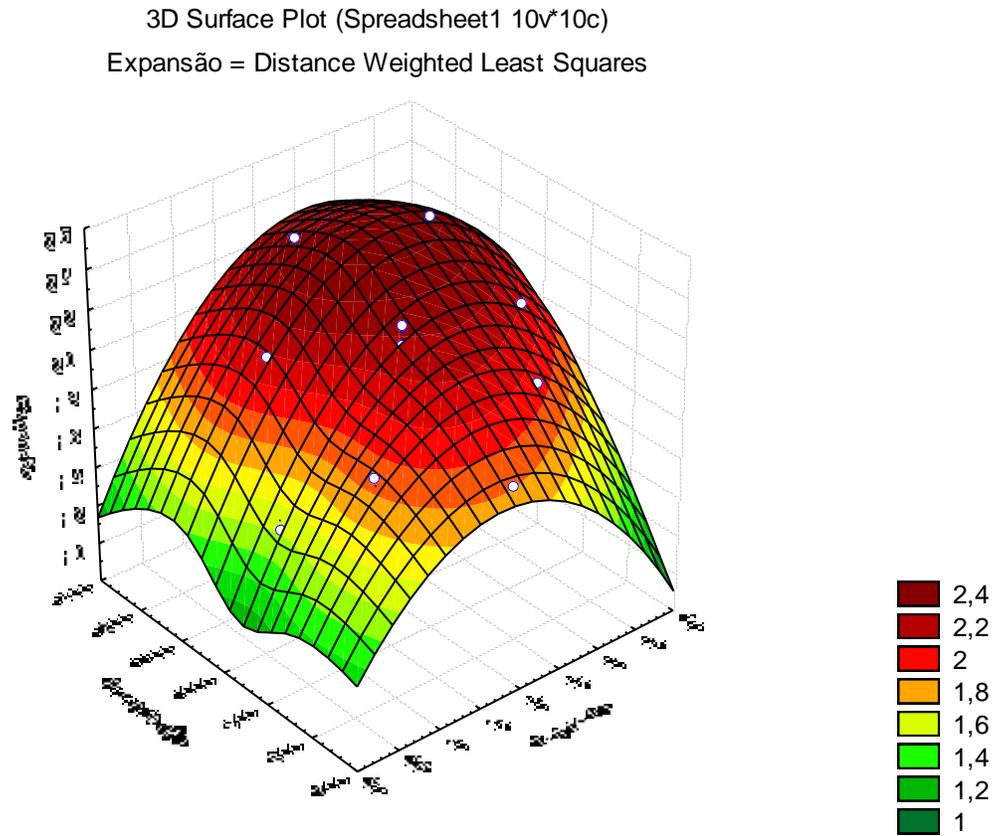
Os grãos de arroz curtos polidos apresentaram comportamentos semelhantes aos dos grãos curtos integrais, apresentando valores de expansão similares quando processados nas condições definidas a partir do delineamento experimental, obtendo-se maiores valores de

expansão à medida que se aumenta o tempo e a potência aplicada para o processamento das amostras.

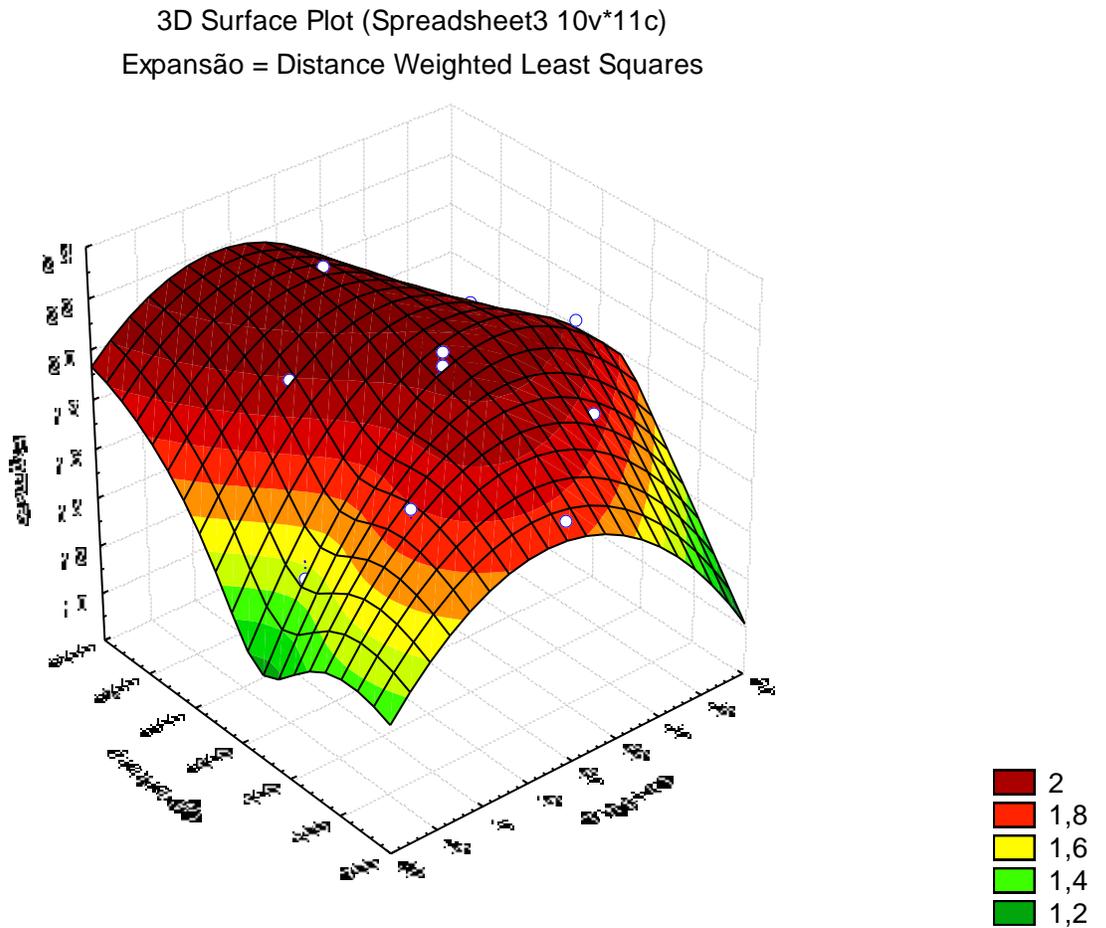
Conforme foi discutido anteriormente, a maior expansão dos grãos cerosos tanto integrais quanto polidos, se deve ao seu elevado teor de amilopectina que confere ao endosperma destes grãos uma estrutura compacta. Esta compactação dos grânulos de amido oferece resistência ao escape do vapor de água formado em seu interior durante o processo de cocção, resultando em maior pressão interna que ocasiona a ruptura mais violenta do grão levando a maiores expansões.

As figuras 13 e 14 apresentam os gráficos das superfícies de resposta da variação do tempo e da potência utilizados para processamento em forno de microondas e seu efeito na expansão dos grãos de arroz curto polido e curto integral respectivamente.

**Figura 13.** Gráfico do efeito da variação do tempo e potência na expansão do arroz curto polido.



**Figura 14.** Gráfico do efeito da variação do tempo e potência na expansão do arroz curto integral.



### 4.3 Comparação dos métodos utilizados para obtenção do arroz expandido

A tabela 11 apresenta os Índices das expansões obtidos para as amostras de arroz processadas pelos métodos *puff gun*, cocção pelo método convencional e cocção em forno de microondas.

**Tabela 11.** Índice de expansão obtido para as amostras de arroz submetidas aos três diferentes processamentos.

Amostra	Processamento		
	<i>Puff gun</i>	Fogão	Microondas
PLFI	14,38 <sup>a</sup> ± 0,18	3,31 <sup>b</sup> ± 0,23	2,65 <sup>c</sup> ± 0,29
PLFP	15,13 <sup>a</sup> ± 0,15	4,00 <sup>b</sup> ± 0,41	2,50 <sup>c</sup> ± 0,27
CP	16,00 <sup>a</sup> ± 0,21	3,60 <sup>b</sup> ± 0,29	2,45 <sup>c</sup> ± 0,33
LFP	15,25 <sup>a</sup> ± 0,15	1,50 <sup>b</sup> ± 0,13	1,45 <sup>b</sup> ± 0,13
CI	14,50 <sup>a</sup> ± 0,15	3,33 <sup>b</sup> ± 0,16	2,30 <sup>c</sup> ± 0,32
LFI	12,13 <sup>a</sup> ± 0,17	1,60 <sup>b</sup> ± 0,18	1,55 <sup>b</sup> ± 0,14

Letras distintas em uma mesma linha indicam diferenças estatisticamente significativas ao nível de 5 %.

#### 4.3.1 Arroz parboilizado longo fino polido e parboilizado longo fino integral

Os expandidos elaborados a partir de amostras de arroz longo fino integral e longo fino polido que foram submetidas a parboilização, apresentaram pouca expansão quando processadas em forno de microondas e em fogão a gás, enquanto que as amostras processadas sob alta pressão pelo método *puff gun* aumentaram consideravelmente de volume. Chinnaswamy *et al.* (1986) observaram que a gelatinização do amido decorrente do tratamento hidrotérmico aplicado no processo de parboilização do arroz, solda pequenas fissuras existentes no endosperma dos grãos, originando uma estrutura compacta que diminui a sua permeabilidade (Figura 15).

Devido às alterações produzidas pela parboilização, ocorre o aumento da capacidade de retenção do vapor de água produzido a partir da aplicação das elevadas temperaturas de processamento, levando ao aumento da pressão de vapor no interior do grão até um ponto em que esta supera a pressão externa ocasionando sua ruptura e dando origem ao produto expandido.

A relação de expansão correlaciona diretamente o aumento no volume apresentado pelos grãos durante o processamento. A partir da análise dos resultados apresentados na tabela acima, observam-se diferenças estatisticamente significativas para os três diferentes tipos de processamento utilizados. O método *puff gun* mostrou-se mais eficiente em promover maiores

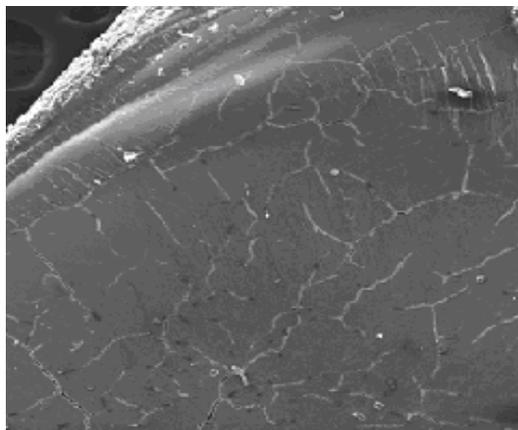
aumentos nas amostras quando comparado com o processamento em fogão a gás e em forno de microondas, além de produzir também pipocas com dimensões mais uniformes.

Este resultado era esperado, uma vez que no método *puff gun* a liberação súbita da alta pressão atingida pelo equipamento, provoca uma violenta ruptura da estrutura interna dos grãos resultando em considerável aumento de seus volumes cujo aspecto microscópico pode ser visualizado na figura 16. Para as pipocas elaboradas em fogão a gás e em forno de microondas, também foram observadas diferenças estatísticas significativas, embora tenham sido utilizados grãos do mesmo lote e com os mesmos teores de umidade.

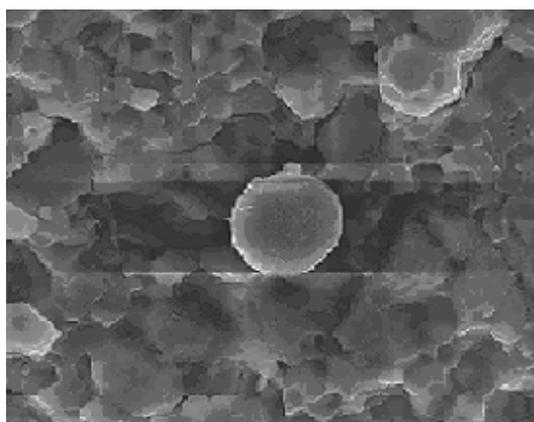
Observou-se que as pipocas produzidas no forno de microondas apresentavam menor uniformidade quando comparadas com aquelas produzidas no fogão a gás, o que contribuiu para os menores valores das relações de expansão obtidos pelo uso de microondas. Além disso, esta tendência de menores expansões nos produtos elaborados no forno de microondas se repetiu para as demais amostras de arroz utilizadas para produção das pipocas. Isto ocorre porque o calor gerado pela ação das microondas não se distribui de maneira homogênea sobre os alimentos no interior do equipamento (NIRAV, 2013), por este motivo a pressão de vapor gerada no interior dos grãos diferiu entre eles, resultando na formação de pipocas com menores volumes.

Maisont *et al.* (2009), controlando o teor de umidade dos grãos conseguiram obter maiores expansões para pipocas elaboradas em forno de microondas com aumentos de aproximadamente 6,0 vezes em relação aos grãos crus. Todavia o rigoroso controle do teor de umidade dos grãos deveu-se as condições de parboilização realizada em escala laboratorial pelos próprios autores.

**Figura 15.** Micrografia eletrônica de varredura mostrando as alterações no endosperma de um grão de arroz submetido à parboilização (200x).



**Figura 16.** Micrografia eletrônica de varredura mostrando o aspecto adquirido por um grão de arroz longo fino integral ao ser expandido pelo método *puff gun* (3355x).



#### ***4.3.2 Arrozos longo fino polido e curto polido***

As amostras dos arrozos longo fino polido e curto polido apresentaram as maiores relações de expansão quando elaboradas pelo método *puff gun* que os demais tipos de arroz. Durante o polimento dos grãos suas camadas mais externas e o gérmen são removidos, sendo preservado o endosperma que apresenta elevado teor de amido. Estas maiores expansões obtidas com os grãos polidos corroboram com os estudos realizados por Horn *et al.* (1979),

onde os autores observaram que aumentos de até 500% foram obtidos com amidos puros quando processados em elevadas condições de pressão.

Embora existam grandes divergências quanto aos teores de amilose e amilopectina que conduzem a maior expansão dos grãos entre os diversos estudos realizados, a maior expansão dos grãos curtos quando comparada com a expansão apresentada pelos grãos longos e finos, pode ser explicada pelo seu elevado teor de amilopectina que confere ao endosperma dos grãos as características descritas adiante neste tópico. Segundo Mercier *et al.* (1975) um elevado teor de amilopectina além de conduzir a maiores expansões, proporciona produtos com texturas mais suaves, enquanto maiores concentrações de amilose, levam a expandidos com texturas mais rígidas e com menores volumes.

Para os outros dois tipos de processamentos aplicados para estas amostras, observou-se que a cocção em fogão a gás mostrou-se mais eficiente em promover maior expansão dos grãos que a cocção em forno de microondas. Além disso, observou-se que os grãos curtos polidos apresentaram maiores expansões que os grãos longos finos polidos que mostraram tendência de carbonizarem durante o processamento. Vandepute *et al.* (2004), relataram que os grãos de cereais como o arroz ceroso, o milho, e a cevada, são virtualmente livres ou apresentam baixos teores de amilose. O elevado teor de amilopectina que prevalece nestes grãos confere ao endosperma um aspecto cristalino, com os grânulos de amido delimitados por uma densa matriz protéica sem espaços entre si. Esta configuração do endosperma proporciona maior resistência à saída do vapor de água formado durante o aquecimento, resultando em maior pressão em seu interior levando a maior expansão do grão.

A composição do endosperma dos grãos curtos difere da composição do endosperma dos grãos de arroz longos finos porque os últimos apresentam um endosperma amorfo também denominado farináceo que se caracteriza pela predominância de grânulos de amido dispersos no endosperma sem uma matriz protéica que os delimitem e que apresentam espaços vazios entre si (SRINIVAS *et al.*, 1973). Estas características são responsáveis pelos baixos valores na relação de expansão dos grãos longos finos polidos quando processados em fogão a gás e em forno de microondas, haja vista, que durante o aquecimento o vapor de água formado no interior dos grãos escapa pelos espaços vagos existentes entre os grânulos reduzindo a pressão interna resultando em menor expansão dos grãos levando a perda de umidade. Por este motivo,

existe uma tendência dos grãos longos finos de carbonizarem quando processados em forno de microondas ou em fogão a gás.

#### ***4.3.3 Arroz longos finos integral e curto integral***

As amostras de arroz longo fino integral e curto integral seguiram a mesma tendência que as demais amostras processadas pelos três diferentes métodos, apresentando maiores expansões quando processadas em elevadas condições de pressão pelo método *puff gun*, através do qual foram obtidos consideráveis aumentos de seus volumes. Assim como nos ensaios anteriores, os grãos de arroz cerosos apresentaram maiores relações de expansão pelo método *puff gun* quando comparados com os grãos integrais longos finos.

Foi discutido anteriormente que, a constituição do endosperma dos grãos cerosos, predominantemente formado por amilopectina, induz a maiores pressões de vapor no interior do grão por conta de suas características estruturais, proporcionando maiores expansões, enquanto que para os grãos longos finos que apresentam endosperma farináceo composto principalmente por amilose, o vapor de água formado durante o aquecimento escapa pelos espaços existentes entre os grânulos de amido induzindo a menores expansões. Essa perda súbita de umidade contribui também para provocar a carbonização dos grãos longos finos quando processados, tanto em forno de microondas, quanto em fogão a gás.

Além das diferenças estruturais expostas acima, resultados dos estudos de Horn *et al.* (1979) mostraram que o aumento sofrido por grãos integrais quando submetidos a processamento em alta pressão, tende a ser menor que aqueles aumentos apresentados pelos grãos polidos com elevado teor de amido. De acordo com Moraru *et al.* (2003), estes menores volumes atingidos pelos grãos integrais se justificam porque os demais componentes presentes em menores quantidades neles, sobretudo proteínas e lipídios, atuam como diluentes ao reduzirem a proporção de amido nestes grãos resultando em menores expansões.

#### 4.4 Determinação da composição centesimal

Os valores percentuais em base seca, obtidos para as pipocas elaboradas pelo método *puff gun* são apresentados na tabela 12. De acordo com Juliano *et al.* (1985) e Patterson *et al.* (1985) a expansão dos grãos utilizando-se elevadas pressões não produz alterações consideráveis no valor nutricional dos produtos expandidos, mantendo assim as características nutricionais próximas as das matérias-primas que lhes deram origem.

Com relação ao teor de umidade das pipocas processadas em alta pressão, foram obtidos valores iguais ou menores que 3 % conforme mostrado na tabela 13. Luh (1980) afirma que teores de umidade compreendidos nesta faixa de valores conferem textura agradável ao produto colaborando para boa aceitação por parte dos consumidores, além de dificultar o crescimento de microorganismos.

**Tabela 12.** Composição centesimal média das pipocas elaboradas pelo método *puff gun* (base seca).

Constituinte	PLFI	PLFP	CI	CP	LFI	LFP
Carboidratos	88,86 <sup>d</sup> ±3,29	91,04 <sup>c</sup> ±4,08	85,89 <sup>f</sup> ±2,08	92,95 <sup>b</sup> ±5,12	86,56 <sup>e</sup> ±5,06	93,50 <sup>a</sup> ±4,82
Proteínas (N x 5,70)	8,22 <sup>b</sup> ± 0,25	7,85 <sup>c</sup> ± 0,15	9,32 <sup>a</sup> ± 0,28	5,90 <sup>d</sup> ±0,181	8,65 <sup>e</sup> ±0,028	5,85 <sup>d</sup> ± 0,13
Lipídios	2,05 <sup>c</sup> ± 0,06	0,63 <sup>e</sup> ±0,013	3,44 <sup>b</sup> ± 0,11	0,92 <sup>d</sup> ±0,037	3,53 <sup>a</sup> ± 0,43	0,37 <sup>f</sup> ±0,006
Cinzas	0,87 <sup>c</sup> ± 0,02	0,48 <sup>d</sup> ±0,009	1,35 <sup>a</sup> ± 0,05	0,23 <sup>e</sup> ±0,006	1,26 <sup>b</sup> ± 0,03	0,28 <sup>e</sup> ±0,005

Letras distintas em uma mesma linha indicam diferenças estatisticamente significativas ao nível de 5%.

**Tabela 13.** Médias dos teores de umidade das pipocas produzidas a partir dos diferentes tipos de arroz utilizados.

Amostra	Umidade (%)
PLFI	1,48 <sup>e</sup> ± 0,026
PLFP	1,95 <sup>d</sup> ± 0,018
CI	2,66 <sup>b</sup> ± 0,036
CP	2,15 <sup>c</sup> ± 0,016
LFI	3,00 <sup>a</sup> ± 0,077
LFP	2,05 <sup>cd</sup> ± 0,041

Letras distintas em uma mesma coluna indicam diferenças estatisticamente significativas ao nível de 5%.

Para as pipocas obtidas através do processamento em fogão a gás e em forno de microondas, a cocção foi realizada utilizando-se óleo comestível como meio de propagação do calor, o que confere às pipocas considerável incremento no percentual do teor de lipídios. Na

tabela 14 são apresentados os resultados apenas para os grãos que apresentaram expansão por este método, uma vez para os grãos do tipo longo fino integral e longo fino polido não se obteve expansão considerável além destes apresentarem a tendência de carbonizarem durante o processamento.

**Tabela 14.** Percentual de lipídios das pipocas obtidas a partir do processamento em forno de microondas e em fogão a gás.

Tipo de grão	Teor de lipídios (%)	
	Forno de microondas	Fogão a gás
PLFI	24,71 ± 1,32 <sup>a</sup>	22,29 ± 1,12 <sup>b</sup>
PLFP	21,85 ± 1,42 <sup>a</sup>	20,26 ± 0,55 <sup>b</sup>
CI	12,55 ± 1,09 <sup>a</sup>	11,36 ± 1,21 <sup>b</sup>
CP	13,05 ± 0,96 <sup>a</sup>	12,27 ± 0,78 <sup>b</sup>

Letras distintas em uma mesma linha indicam diferenças estatisticamente significativas ao nível de 5 %.

#### 4.5 Análises microbiológicas

Para as pipocas elaboradas pelo método *puff gun* que foram submetidas à pesquisa de *Salmonella sp./ 25g*, foi observada a ausência do microorganismo. As análises pra Coliformes revelaram Número mais provável (NMP /g) <3,0, conforme pode ser observado nos resultados expressos na tabela 15.

**Tabela 15.** Resultado das análises microbiológicas para as amostras produzidas pelo método *puff gun*.

Amostra	<i>Salmonella sp./25g</i>	Coliformes a 45 °C (NMP/g)
PLFI	Ausência	< 3,0*
PLFP	Ausência	< 3,0*
CI	Ausência	< 3,0*
CP	Ausência	< 3,0*
LFI	Ausência	< 3,0*
LFP	Ausência	< 3,0*

\* Não ocorreu crescimento de NMP/g na menor diluição utilizada.

#### 4.6 Análise sensorial

Apenas as pipocas produzidas pelo método *puff gun* foram submetidas à análise sensorial por apresentarem maiores índices de expansão em relação aos outros dois tipos de processamento. Participaram do estudo 60 voluntários dos quais 83 % eram do sexo feminino e 17 % do sexo masculino. Com relação à faixa etária, os participantes tinham idades compreendidas entre 18 e 35 anos de idade.

De acordo com os resultados obtidos, observou-se que todas as amostras submetidas aos provadores obtiveram boa aceitação para a maioria dos atributos sensoriais analisados. Entretanto, pode-se observar menor índice de aceitabilidade para o atributo cor, onde apenas uma das cinco amostras submetidas aos provadores apresentou índice de aceitabilidade acima de 70 % (Tabela 16). Para Dutcosky (2007) um índice de aceitabilidade igual ou superior a 70% caracteriza produtos com boa repercussão entre os potenciais consumidores.

**Tabela 16.** Teste de Tukey para os valores percentuais do índice de aceitabilidade dos atributos sensoriais e intenção de compra para as diferentes amostras da pipoca de arroz.

Amostra	Cor	Aroma	Sabor	Textura	Impressão Global	Intenção de Compra
PLFI	66,70 <sup>c</sup>	83,30 <sup>c</sup>	70,70 <sup>c</sup>	88,90 <sup>a</sup>	77,80 <sup>c</sup>	70,40 <sup>c</sup>
PLFP	68,50 <sup>b</sup>	79,60 <sup>d</sup>	70,40 <sup>e</sup>	79,60 <sup>b</sup>	77,80 <sup>c</sup>	74,10 <sup>b</sup>
CI	70,40 <sup>a</sup>	88,90 <sup>b</sup>	79,60 <sup>a</sup>	77,80 <sup>c</sup>	70,40 <sup>d</sup>	79,60 <sup>a</sup>
CP	66,70 <sup>c</sup>	90,55 <sup>a</sup>	70,50 <sup>d</sup>	70,10 <sup>e</sup>	83,30 <sup>a</sup>	70,10 <sup>c</sup>
LFI	57,40 <sup>d</sup>	77,80 <sup>e</sup>	72,20 <sup>b</sup>	72,20 <sup>d</sup>	79,63 <sup>b</sup>	70,20 <sup>c</sup>

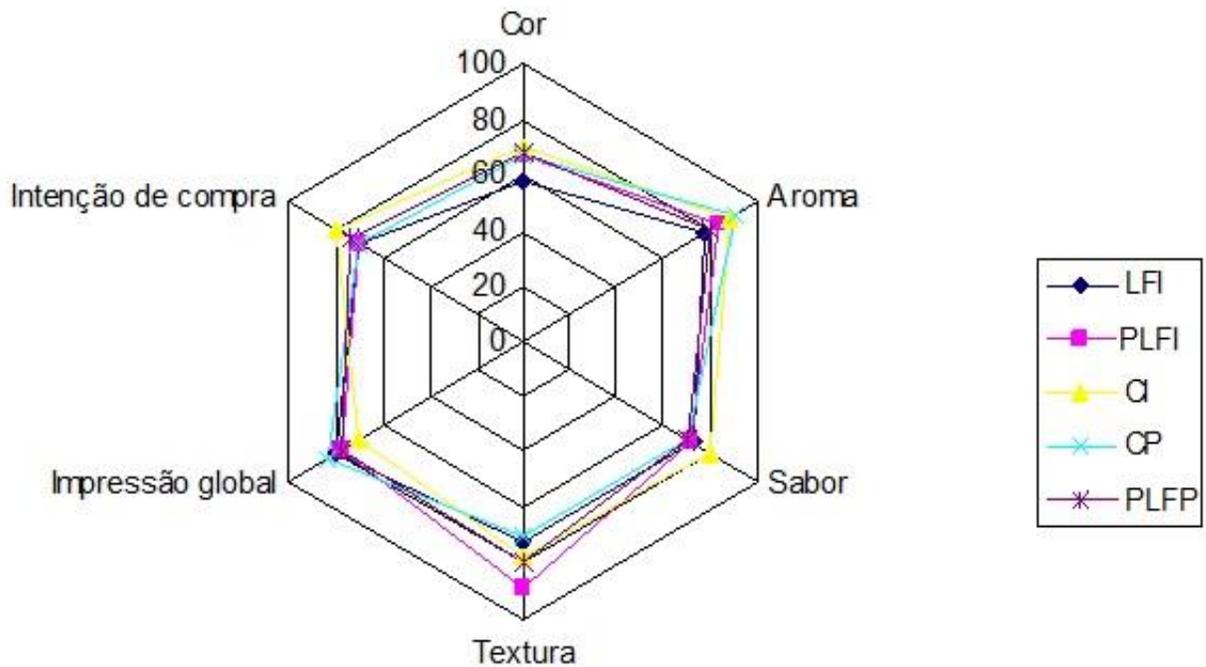
Letras distintas em uma mesma coluna indicam diferenças estatisticamente significativas ao nível de 5% .

A análise dos dados acima expressos permite verificar que, as pipocas produzidas a partir do arroz curto, obtiveram maiores médias para a maioria dos atributos sensoriais avaliados. Com relação à aceitação global, todas as amostras submetidas aos provadores apresentaram boa repercussão em seu índice de aceitabilidade, destacando-se a pipoca produzida com o arroz curto polido que obteve maiores notas neste quesito.

O gráfico apresentado na figura 17 mostra de forma mais clara os resultados obtidos para intenção de compra e para os atributos sensoriais avaliados. A partir da interpretação destes resultados, observou-se que a pipoca do arroz curto integral alcançou maior aceitação nos atributos cor e sabor, além da intenção de compra. Quanto à impressão global e aroma, a

pipoca do arroz curto polido obteve maior aceitação. Para a textura observou-se que a pipoca do arroz parboilizado longo fino integral foi a mais aceita pelos provadores.

**Figura 17.** Representação gráfica do índice de aceitabilidade dos atributos sensoriais avaliados da intenção de compra, para as pipocas de arroz produzidas pelo método *puff gun*.



## 5. CONCLUSÕES

O método *puff gun* se mostrou mais eficiente dentre os três métodos estudados, considerando-se que foram obtidas por este método, pipocas com maiores índices de expansão.

Os maiores índices de expansão pelo método *puff gun*, foram obtidos para as pipocas produzidas a partir do arroz curto polido.

Quanto aos demais tipos de grãos utilizados para elaboração das pipocas pelo método *puff gun*, todos apresentaram elevado índice de expansão, mostrando-se viáveis para a produção de arroz expandido.

Para o processamento em fogão a gás, foram obtidos maiores índices de expansão para as pipocas elaboradas a partir do arroz parboilizado longo fino polido.

Para o processamento em forno de microondas, os maiores índices de expansão foram obtidos para as pipocas elaboradas a partir do arroz parboilizado longo fino integral.

As pipocas elaboradas a partir do processamento em fogão a gás, apresentaram maiores índices de expansão, quando comparadas com as pipocas produzidas em forno de microondas.

O controle mais eficiente dos teores de umidade dos grãos, através da parboilização em escala laboratorial, pode contribuir para a obtenção de melhores resultados para o processamento em forno de microondas e em fogão a gás.

Com base nos resultados obtidos para os atributos sensoriais e para a intenção de compra, conclui-se que todas as amostras avaliadas se mostraram potencialmente viáveis para produção e comercialização das pipocas pelo método *puff gun*, considerando-se que apresentaram índices de aceitabilidade superiores a 70 % para a maioria dos quesitos analisados.

## REFERÊNCIAS

AACC- American Association of Cereal Chemists. **Approved Methods**. 8 ed. Saint Paul, 1983.

ABIAP. **Associação Brasileira das Indústrias de Arroz Parboilizado**. Disponível em <<http://www.abiap.com.br>> .Acesso em 03 jan. 2015.

ADAIR, C.R. Production and utilization of rice. In: HOUSTON, D.F (ed.) **Rice Chemistry and Tecnology**. St. Paul: AACC, 1972. Cap.1, p.1-15.

ALI, S. Z *et al.*. Starch retrogradation and damage in parboiled rice and flaked rice. **Die Stark**, v.28, n.7, p. 233 – 240.

AMATO, G. W *et al.* **Arroz parboilizado: tecnologia limpa, produto nobre**. Porto Alegre: Ricardo Lenz, 2002. 236p.

AMATO, G.W *et al.* **A Parboilização do Arroz**. 1. ed. Porto Alegre: Ricardo Lenz Editor, 2005. v.1, 160p.

ANTONIO, A. A *et al.* Amylose content and puffed volume of parboiled rice . **Journal of Food Science**, Chicago, v.38, n.5, p.915 – 916, 1973.

BAJAJ, M. *et al.* Extended milling of Indian rice. II. Effect of mineral composition. **Chemie. Mikrobiologie**, Der Lebensmittel, v. 12, p. 58-60, 1989.

BRASIL. ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Resolução da Diretoria Colegiada RDC nº 263/05**. Disponível na Internet:: <http://www.anvisa.gov.br>. Acessado em 10 set 2015.

BRASIL. MAPA – Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa nº 6, de 16 de fevereiro de 2009**. Disponível na Internet: <http://www.mapa.gov.br>. Acessado em 18 nov. 2014.

CLARK, J.P. Texturization process in the cereal foods industry. **Food Technology**, Chicago, v 40, n.3, p 91-93, 1986.

CHINNASWAMY, R. *et al.* Pressure parboiled rice: A new base for expanded rice. **Journal of Food Science and Technology**, Mysore, v.23, n. 14 , p. 197 – 202 , 1986.

CHINNASWAMY, R. *et al.* Relationship between amylase content and expansion characteristics of parboiled rice. **Journal of Cereal Science**, London, v.2, p. 273 – 279, 1984.

- CHINNASWAMY, R. *et al.*. Studies on expanded rice. Optimum condition processing conditions. **Journal of Food Science**. 48: 1605-1608, 1983.
- COFFMAN, W.R. *et al.* Nutritional quality of cereal grains: Genetic and agronomic improvement. Madison: **American Society of Agronomy**, 1987. p. 101-131. cap. 5
- DENARDIN, C. C. *et al.* Estrutura dos grânulos de amido e sua relação com propriedades físico-químicas. **Ciência Rural**. Santa Maria, v.39, (3), p. 945-954, 2009.
- DOFING, S.M *et al.* Genotype x popping method interaction for expansion volume in popcorn. **Crop Science**. Madison, v.30, p.62 – 65, 1990.
- DORS, G. C *et al.* Influência das condições de parboilização na composição química do arroz. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**. Campinas, v. 29 (1), p. 219 – 224, 2009.
- DUTCOSKY, S. D. **Análise sensorial de alimentos**. Curitiba. Champagnat, 1996. 123.p.
- FENNEMA, O, R. **Química de Alimentos**. São Paulo. 4 ed. – Artmed Editora, 2010. 900 p.
- GOKMEN, S.. Effects of moisture content and popping method on popping characteristics of popcorn. **Journal of Food Engineering**. 65: 357-362, 2004.
- GOLDSTEIN, J.I., *et al* - **Scanning Electron Microscopy and X-ray Microanalysis - A Textbook for Biologist, Materials Scientists and Geologists**. 1992. Plenum Press. New York.
- GUIMARÃES, C. M. *et al.* **Como a planta de arroz se desenvolve**. Piracicaba: Potafos, 2002. (Arquivo do agrônomo, 13).
- GUTOSKI, L. C *et al.* Estudo da água de maceração de arroz a 60 °C em diferentes condições e manejo. **Instituto Rio - Grandense de Arroz – IRGA: Lavoura Arrozeira**, v. 47, n. 414, p. 6-10, 1994.
- HERZOG, A. Arroz parboilizado – seu significado e importância. **Lavoura Arrozeira**, Porto Alegre, v.30, n.302, p.10 -14, 1977.
- HORN R. E. *et al.* Economics of food extrusion processing. **Cereal Food World** 24(4):140-41, 144-45, 1979.
- HOSENEY, R.C. *et al.* Mechanism of popcorn popping. **Journal of Cereal Science**, v.1, p. 43–52 , 1983.
- HOUSTON, D. F. *et al.*. (1970). (eds) **Types of processed products and effects on processing on nutritional values. In Nutritional properties of rice**. Washington: National Academy of Sciences.

JULIANO, B.O. **Rice in human nutrition**. Rome: FAO, 1993. Capturado em 28 jan 2015. *On line*. Disponível na internet: <http://www.fao.org>.

JULIANO, B.O. *et al.*. The rice grain and its gross composition. In: JULIANO, B.O. (Ed.). **Rice: chemistry and technology**. Minnesota, USA: American Association of Cereal Chemists, 1985. Cap.2, p.17-57.

JULIANO, B.O. *et al.* Miscellaneous rice products. In: JULIANO, B.O., In: **Rice: Chemistry and Tecnology**. St Paul: AACC 1985.

JULIANO, B.O. Rice in human nutrition. Rome: FAO, 1993. Acesso em 27 nov. 2014. *On line*. Disponível na internet: <http://www.fao.org>.

KENNEDY, G. *et al.* Nutrient impact assessment of rice in major rice consuming countries. **International Rice Commission Newsletter**, v.51, p.33-42, 2002.

LIN, Y. E. *et al.* Studies in popping of popcorn in a microwave oven. **Journal of Food Science**, v. 53, p. 1746 – 1749, 1988.

LUH, B. S. *et al.* Parboiled rice. In: LUH, B.S. **Rice Production and Utilization**. Westport: AVI, 1980. p. 501-542.

MAINSOT, S. *et al.* Effects of some physicochemical properties of paddy rice varieties on puffing qualities by microwave. **Kasetsart Journal (Natural Science)**, 43, 566–575, 2009.

MERCIER C, FEILLET P. Modification of carbohydrate components by extrusion cooking of cereal products. **Cereal Chemistry Journal** 52:283, 1975

MESA, V. P. **Adequación de Una Maquina Expansora de Cereales Tipo Cañón para Prácticas de Laboratorio em la Universidad Tecnológica Equinoccial. Estudio de Caso: Arroz (*Oryza sativa L.*), Maiz (*Zea mays L.*), Quinoa (*Chenopodium quinoa Willd*) y Trigo (*Triticum vulgare L.*)**. 2003. 300 f. (Trabajo de Investigación previo a la Obtencion Del Titulo de Ingeniero en Industrialización de alimentos). Universidad Tecnológica Equinoccial, Quito.

MORARU, C.I. *et al.* Nucleation and expansion during extrusion and microwave heating of cereal foods. **Journal of Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety** 2: 120-138, 2003.

MORISHIMA, H. **Wild genitors of cultivated rice and their population dynamics**. Manila: IRRI, p. 3-14, 1986

MURUGESAN, G. *et al.* Rheological and hydration properties of popped rice. **Journal of Texture Studies**, Connecticut, v.20, n.3, p.325 – 333, 1986.

NETO, B. De B. *et al.* Como Fazer experimentos; pesquisa e desenvolvimento na ciência e na indústria. Campinas 2 ed. Editora Unicamp, 2010.

NIRAV, D. J. *et al.* Puffing characteristics of parboiled milled rice in a domestic convective – microwave oven and process optimization. **Food Bioprocess Technology**, 7, 1678 – 1688, 2013.

NITZKE, J. A. **Terra de arroz**. Rio Grande do Sul: UFRGS, 2004. Disponível em: <<http://www.ufrgs.br/icta/agronom/arroz/esqarroz.htm>>.

PATTERSON, G. *et al.* **The puffing machine for quick cooking of cereals and legumes**. Davis: Meals for Millions/Freedom for Hunger Foundation, 1985. 28p.

PAYNE, F.A. *et al.* A review of puffing process for expansion of biological products. **Journal of Food Engineering**, England, v.10, p.183-197, 1989.

PORDESIMO, L.O. *et al.* Physical properties as indicators of popping characteristics of microwave popcorn. **Journal of Food Science**, v. 55 (5). P. 1352 – 1355, 1990.

RIAZ, M. N. **Technology of producing snack foods by extrusion**. In “Technical Bulletin” Ed. G. Ranhotra. American Institute of Baking, Manhattan, KS. Vol. XIX (2):1-8, 1997.

ROCHA, J. C. **Parâmetros industriais e tecnológicos do arroz na seca-aeração e no armazenamento**. Pelotas, 2010. 79 f. Dissertação (Mestrado: Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Agroindustrial). Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

RODRIGUES, M.I. *et al.* **Planejamento de experimentos e otimização de processos**. Campinas, 2009.

SESAY, K. *et al.* Rice parboiling for developing countries. In. Le MAGUER, M. JELEN, P. (eds.). **Food Engineering and Process Applications**. New York: Elsevier Applied Science Publishers. V.1, Transport Fenomena, 1986. 642 p.

SILVA, P.D. Arroz parboilizado. **Lavoura Arrozeira**, Porto Alegre, v.33, n.319, p.40-49, 1980.

SIMSRISAKUL, M. **Important Factors Affecting Puffing Quality of Paddy and Properties of Puffed Rice Flour**. M. Sc. Thesis. Chulalongkorn University, Bangkok, 1991.

SINGH, S. *et al.*. Effect of parboiling, hand-pounding and machine-milling on chemical composition of rice. **Journal of Food Science and Technology**, v.36, p.434-435, 1999.

SINGH, N. *et al.* Morphological, thermal and rheological properties of starches from different botanical sources. **Food Chemistry**, v.81, n.219-231, 2003.

SRINIVAS, T. *et al.* **Journal of the Science the Food and Agriculture**. 24, 883-891, 1973.

STORCK, C.R. Variação na composição química em grãos de arroz submetidos a diferentes beneficiamentos. **2004. 08f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de alimentos) – Curso de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia e Alimentos, Universidade Federal de Santa Maria.**

SUCHADA, M. *et al.* Effects of some physicochemical properties of paddy rice varieties on puffing qualities by microwave. **Kasetsart Journal. (Natural Science)**, Bangkok, v.43, n.3, p. 566 – 575, 2009.

SULLIVAN, J. F. *et al.* Carrot – dehydration – optimization process studies on the explosion – puffing process. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 46, n.5, p.1537, 1981.

SUMMU, G. 2001. A review on microwave baking of foods. **International Journal of Food Sciences Technology**. v. 36, p. 117 – 127.

TAIRA, H. *et al.* Lipid content and fatty acid composition of brown rice of cultivars of the United States. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.36, p.460-462, 1988.

TONELLI, Elizabeth G, A. **Desenvolvimento de um equipamento e otimização do processo de produção do arroz expandido**. 1995. 96 f. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

USDA, 2015. **Grain: World Markets and Trade**. Acesso em: 15 jun. 2015. Online. Disponível na internet: <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/grain.pdf>.

VANDEPUTTE, G.E. *et al.* From sucrose to starch granule to starch physical behavior: a focus on rice starch. **Carbohydrate Polymers**, v.58, p.245-266, 2004.

VILLAREAL, C.P. *et al.* Varietal differences in quality characteristics of puffed rice. **Cereal Chemistry**, St. Paul, v. 64, n. 5, p. 337 – 342, 1987.

WALTER, M. *et al.* Arroz: composição e características nutricionais. **Ciência Rural**. v.38, n.4, p.1184-1192, jul, 2008.

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

ZHOU, Z. *et al.* Composition and functional properties of rice. **International Journal of Food Science and Technology**, v.37, p.849-868, 2002.

## APÊNDICE A. TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Você está sendo convidado a participar como voluntário, sem qualquer tipo de pagamento, da pesquisa intitulada “**COMPARAÇÃO ENTRE TRÊS MÉTODOS DE OBTENÇÃO DA PIPOCA DE ARROZ**”. Você não deve participar contra a sua vontade e deve ler atentamente as informações seguintes. Faça qualquer pergunta que achar necessária, para que todos os procedimentos desta pesquisa sejam esclarecidos. **Se você tiver algum problema de saúde que contra-indique sua participação no ensaio, NÃO poderá participar dos testes.**

O propósito desta pesquisa é avaliar a aceitabilidade de vários atributos sensoriais de pipocas produzidas a partir de diferentes tipos de arroz expandidos em alta pressão e a atitude de compra dos produtos. Os dados serão coletados por meio de uma ficha de avaliação sensorial através do teste de escala hedônica de 9 pontos, atitude de compra de 5 pontos e ordenação-preferência. Os participantes receberão cinco amostras e irão provar e avaliar globalmente o produto atribuindo notas de 1 a 9 para as amostras servidas, sendo 1 correspondente a “desgostei muitíssimo” e 9 correspondente a “gostei muitíssimo”. No teste de atitude de compra você informará o grau de certeza para compra do produto. No item ordenação / preferência, deverão informar o grau de preferência entre as amostras.

Aqueles que fornecerem dados espontaneamente pós-esclarecimento terão suas identidades preservadas mesmo em publicações em documentos especializados nos meios de comunicação científico ou leigo.

O abaixo-assinado, \_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_ anos, RG nº \_\_\_\_\_ declara que é de livre e espontânea vontade que está participando como voluntário da pesquisa. Eu declaro também que li cuidadosamente este **Termo de Consentimento Livre e Esclarecido** e que, após sua leitura tive oportunidade de fazer perguntas sobre o conteúdo do mesmo, como também sobre a pesquisa e recebi explicações que responderam por completo minhas dúvidas. Sei que poderei retirar meu consentimento a qualquer momento, sem nenhum prejuízo.

Sou sabedor que terei todas as dúvidas respondidas pelo pesquisador responsável **Marcos Venânces de Souza Leão**, no telefone **(85) 98879 1536** ou *e-mail* **marcosleao100@ig.com.br**.

Fortaleza, \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 2015.

\_\_\_\_\_  
Assinatura do Voluntário

\_\_\_\_\_  
Assinatura do Pesquisador

**ATENÇÃO:** Para informar qualquer questionamento durante a sua participação no estudo, dirija-se ao: **Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal do Ceará**- Rua Coronel Nunes de Melo, 1127 Rodolfo Teófilo - Telefone: **3366-834**

**APÊNDICE B. FICHA DE ANÁLISE SENSORIAL**  
**AVALIAÇÃO SENSORIAL DE ARROZ EXPANDIDO (PIPOCA DE ARROZ)**

NOME: \_\_\_\_\_ DATA: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_  
 SEXO: ( )M ( )F IDADE: ( ) < 18 ( ) 18 – 25 ( ) 26 – 35 ( ) 36 – 45 ( ) 46 – 55 ( )  
 > 5 6  
 ESCOLARIDADE: ( ) Ensino Fundamental ( ) Ensino Médio ( ) Ensino Superior ( ) Pós-Graduação

**1. Você está recebendo cinco amostras de arroz expandido (pipoca de arroz) codificadas. Prove as amostras da esquerda para a direita e avalie cada um dos atributos sensoriais de acordo com os seguintes critérios:**

**Escala hedônica de pontos**

- 9 – Gostei MUITÍSSIMO
- 8 – Gostei Muito
- 7 – Gostei Moderadamente
- 6 – Gostei Ligeiramente
- 5 – Não gostei, nem desgostei
- 4 – Desgostei Ligeiramente
- 3 – Desgostei Moderadamente
- 2 – Desgostei Muito
- 1 – Desgostei MUITÍSSIMO

**Quadro de avaliação**

<b>Amostra</b>	<b>Cor</b>	<b>Sabor</b>	<b>Aroma</b>	<b>Textura</b>	<b>Impressão Global</b>

## APÊNDICE C. FICHA DE AVALIAÇÃO DA INTENÇÃO DE COMPRA

**1. Indique na escala abaixo o grau de certeza do qual você estaria disposto a comprar este produto, caso estivesse à venda, de acordo com o seguinte critério:**

- 5 – Certamente compraria
- 4 – Provavelmente compraria
- 3 – Talvez comprasse, talvez não comprasse
- 2 – Provavelmente não compraria
- 1 – Certamente não compraria

<b>Amostra</b>					
<b>Critério</b>					

**2. Ordene as amostras de acordo com sua preferência.**

\_\_\_\_\_

+ preferida

\_\_\_\_\_

- preferida