**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Características físico-químicas e sensoriais do arroz
(*Oryza sativa* L.) irradiado e o efeito no desenvolvimento de *Sitophilus
oryzae* L.**

Cíntia Fernanda Pedroso Zanão

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestre em Ciências. Área de concentração: Ciência e
Tecnologia de Alimentos

**Piracicaba
2007**

Cíntia Fernanda Pedroso Zanão
Nutricionista

**Características físico-químicas e sensoriais do arroz
(*Oryza sativa* L.) irradiado e o efeito no desenvolvimento de *Sitophilus oryzae* L.**

Orientadora:

Prof^a. Dra. **SOLANGE GUIDOLIN CANNIATTI BRAZACA**

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestre em Ciências. Área de concentração: Ciência e
Tecnologia de Alimentos

**Piracicaba
2007**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - ESALQ/USP

Zanão, Cíntia Fernanda Pedroso

Características físico-químicas e sensoriais do arroz (*Oryza sativa* L.) irradiado e o efeito no desenvolvimento de *Sitophilus oryzae* L. / Cíntia Fernanda Pedroso Zanão. - - Piracicaba, 2007.
79 p. : il.

Dissertação (Mestrado) - - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2007.
Bibliografia.

1. Amido 2. Análise sensorial 3. Arroz 4. Gorgulhos 5. Irradiação de alimentos
6. Propriedades físico-químicas I. Título

CDD 664.725

“Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor”

**Ao meu amado filho Pedro,
Ao meu marido Márcio, pelo companheirismo e carinho
e a minha família, especialmente a minha mãe, que está sempre ao meu lado.**

DEDICO

AGRADECIMENTOS

À Prof^a. Dr^a Solange Guidolin Canniatti Brazaca, pela oportunidade, ensinamentos, incentivo e confiança na realização deste trabalho.

À Prof^a. Dr^a Silene Sarmento pelos ensinamentos, colaboração nas análises e auxílio na interpretação dos resultados.

Ao Prof^o Dr. Valter Arthur pela colaboração na realização das análises.

Às técnicas de laboratório Débora Niero Mansi, Carlota Borralli dos Anjos e Clarice Maitra pela grande colaboração nas análises laboratoriais, pela amizade e atenção.

Aos professores do curso de Pós-graduação da área de concentração em Ciências e Tecnologia de Alimentos pelos ensinamentos transmitidos.

Às amigas do curso de pós-graduação Aline Cristine Garcia de Oliveira, Geórgia Rocha Vilela, Milena Watanuki e Érika Vidal Sartori pelo apoio, amizade e incentivo.

À bibliotecária Beatriz Helena Giongo pelo auxílio na revisão bibliográfica.

À equipe da Empresa Marbel pelo fornecimento do arroz, em especial ao Cláudio Piva, José Alberto Mackey e Tatiane Marchesin.

Ao técnico de laboratório Paulo Cassieri Neto do Centro de Energia Nuclear na Agricultura pela possibilidade da irradiação das amostras.

2.3.2.3.1 Composição Centesimal.....	38
2.3.2.3.2 Ácido Fítico.....	39
2.3.2.4 Conteúdo Amilose Aparente.....	39
2.3.2.5 Propriedades de pasta dos amidos.....	40
2.3.2.6 Análise Sensorial.....	41
2.3.2.7 Análise Instrumental da Cor.....	42
2.3.2.8 Análise Estatística.....	42
2.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	43
2.4.1 Análise porcentagem de quebra do grão de arroz durante o beneficiamento.....	43
2.4.2 Análise da longevidade e reprodução de gorgulhos de arroz (<i>Sitophilus oryzae</i> L.).....	44
2.4.3 Composição centesimal.....	47
2.4.4 Acido Fítico.....	49
2.4.5 Conteúdo de Amilose Aparente nos amidos de arroz.....	49
2.4.6 Propriedades de Pasta dos Amidos.....	51
2.4.7 Análise Sensorial.....	54
2.4.8 Cor instrumental.....	64
3 CONCLUSÕES.....	69
REFERÊNCIAS.....	70

RESUMO

Características físico-químicas e sensoriais do arroz (*Oryza sativa* L.) irradiado e o efeito no desenvolvimento de *Sitophilus oryzae* L.

O arroz sofre danos principalmente pelo ataque de insetos, causando grandes perdas qualitativas e quantitativas, devido a isso, a presente pesquisa teve como objetivo verificar a viabilidade da radiação gama como método de conservação do arroz (*Oryza sativa* L.), sua eficiência no controle de uma importante praga de grão armazenado *Sitophilus oryzae* L. e os efeitos que a irradiação pode apresentar nos grãos irradiados considerando o aspecto sensorial e alteração no amido. As amostras foram constituídas de arroz polido e as doses de radiação gama utilizadas foram 0,5; 1,0; 3,0; e 5,0 kGy, sendo mantidas em temperatura ambiente. Foram realizadas análises da porcentagem de quebra do grão durante o beneficiamento e análise da longevidade e reprodução do gorgulho arroz. Foram realizadas também, as análises da composição centesimal, ácido fítico, conteúdo de amilose aparente e propriedades de pasta dos amidos além das análises para cor (instrumental) em arroz e a aceitabilidade (teste hedônico) visando à determinação da qualidade sensorial do arroz cru e cozido. Verificou-se que a irradiação não alterou de maneira significativa a quebra dos grãos durante o beneficiamento e causou efeito negativo no desenvolvimento dos insetos. A irradiação não alterou de maneira significativa a composição centesimal. Não foi encontrado valor significativo de ácido fítico, devido ao arroz ter sofrido o beneficiamento, retirando a parte externa (farelo) onde contém 85 – 92% de fitatos totais. Foram encontrados valores de 17,33 a 18,44% para conteúdo de amilose aparente, sendo que a irradiação não afetou significativamente o conteúdo de amilose do amido do arroz. Os resultados da propriedade de pasta foram significativamente alterados, ocorrendo à redução da temperatura de pasta, diminuição do tempo para ocorrência do pico viscosidade, redução nos valores de viscosidade máxima e viscosidade final e a tendência de retrogradação se tornou menos acentuada nos amidos com doses crescente de radiação gama. Foram detectadas diferenças

estatísticas ($p < 0,05$) no aspecto sensorial entre as amostras irradiadas e não irradiadas, sendo que a amostra irradiada com a dose de 1,0 kGy obteve maiores médias para os atributos sensoriais. Para os resultados encontrados na cor instrumental observou a diferença estatística nos valores b^* indicando que o arroz sofreu mudanças de branco para amarelada com o aumento da dose de radiação gama. Conclui-se que o uso da radiação gama, especialmente a dose de 1,0 kGy, mesmo apresentando diferença significativa ($p < 0,05$) nas propriedades de pasta, proporcionou maior aceitação pelos provadores, não afetou as análises físico-químicas, assegurando maior vida-útil contra o ataque de insetos, desde que não haja reinfestação, sendo portanto a dose recomendável para a conservação do arroz polido.

Palavras-chave: Arroz, Irradiação, Sensorial, Amido, *Sitophilus oryzae* L.

Abstract

Physico-chemical and sensorial characteristics of rice (*Oryza sativa* L.) irradiated and the effect in *Sitophilus oryzae* L. development

Rice is exposed to injuries especially due to the attack of insects, which represent great qualitative and quantitative losses. The aim of the present research was to verify the viability of the gamma irradiation as rice (*Oryza sativa* L.) conservation method; its efficiency in the control of an important pest for stored grains *Sitophilus oryzae* L. and the effects that irradiation may present in irradiated grains in relation to the sensory aspect and starch alterations. Samples were composed of polished rice and the gamma irradiation dosages used were 0.5; 1.0; 3.0; and 5.0 kGy, and kept at room temperature. Analyses of the grain breakage percentages during processing and the longevity and reproduction of the rice weevil were performed. Analyses of the centesimal composition, phytic acid, apparent amylose content and starch paste properties were also conducted, as well as analyses of the rice color (instrumental) and acceptability (hedonic test), aimed at the determination of the raw and cooked rice sensory quality. It was verified that the gamma irradiation did not change the grain breakage percentage significantly and caused a negative effect on the insect development. Irradiation did not change the centesimal composition significantly. No significant values of phytic acid were found because during rice processing, the outer part (bran) containing 85-92% of total phytates was removed. Values from 17.33 to 18.44% for the apparent amylose content were found, and irradiation did not affect the rice starch amylose content significantly. The paste properties results were significantly changed, where reduction on the paste temperature, decrease on the time for the occurrence of the peak viscosity, reduction on the final viscosity values were observed. The retrogradation tendency became less intense in starches with increasing irradiation dosages. Statistical differences ($p < 0.05$) were detected in the sensory aspect between irradiated and non-irradiated samples, and the sample irradiated with 1.0 kGy obtained the highest means for the sensory attributes. For results obtained for instrumental color, a statistical difference was observed in b^* values, indicating that the rice color changed from white to yellowish with increased irradiation dosages. One concluded that the use of the gamma irradiation

especially at dosage of 1.0 kGy, even presenting significant difference ($p < 0.05$) in the paste properties, obtained higher acceptance; this irradiation level did not affect the rice physical-chemical analyses and provided longer shelf-life against the attack of insects, being therefore, the recommended dosage for the conservation of the polished rice.

Keywords: Rice, Irradiation, Sensorial, Starch, *Sitophilus oryzae* L.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Efeito da radiação gama na estrutura do amido do arroz (endosperma interior).....	33
Figura 2 - Propriedades de pasta do amido de arroz irradiado com diferentes doses....	34
Figura 3 - Provador para arroz Zaccaria PAZ 1-DT.....	37
Figura 4 – Parâmetros do Rapid Visco Analyser (RVA) utilizados para determinação das propriedades das pastas dos amidos.....	40
Figura 5 – Curva típica Rapid Visco Analyser (RVA).....	41
Figura 6 – Arroz (substrato) controle e irradiados onde emergiram os insetos.....	45
Figura 7 – <i>Sitophilus oryzae</i> L. que se desenvolveu no substrato.....	41
Figura 8 – Arroz (<i>Oryza sativa</i> L.) cru irradiado e controle.....	67
Figura 9 – Arroz (<i>Oryza sativa</i> L.) cozido irradiado e controle.....	68

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Perfis viscoamilográficos do amido extraído do arroz irradiado com doses de 0,5; 1,0; 3,0 e 5 kGy e não irradiado.....	51
Gráfico 2 – Distribuição dos provadores de acordo com a faixa etária.....	54
Gráfico 3 – Distribuição dos provadores de acordo com o gênero.....	55
Gráfico 4 – Distribuição dos provadores de acordo com a frequência de consumo.....	55
Gráfico 5 - Distribuição dos provadores de acordo com a preferência do aspecto do arroz cozido.....	56
Gráfico 6 – Aparência e cor do arroz cru (<i>Oryzae sativa</i> L.) não irradiado e irradiado...	57
Gráfico 7 – Aparência, Sabor, Cor, Textura e Aroma do arroz cozido (<i>Oryzae sativa</i> L.) não irradiado e irradiado.....	59

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Composição química do arroz polido cru.....	21
Tabela 2 – Média da porcentagem de grãos de arroz inteiros não irradiado e irradiado com doses de 0,5 kGy e 1,0 kGy após o beneficiamento.....	43
Tabela 3 – Média de insetos vivos <i>Sitophilus oryzae</i> L, que foram colocados no substrato (arroz) após a irradiação e controle.....	44
Tabela 4 – Média de insetos que emergiram <i>Sitophilus oryzae</i> L, no substrato (arroz) após a irradiação e controle.....	45
Tabela 5 – Médias obtidas pelos tratamentos (controle e irradiados com doses e teste de Tukey para a composição centesimal do arroz cru e cozido (Base fresca).....	47
Tabela 6 – Médias obtidas pelos tratamentos (controle e irradiadas com doses 0,5; 1,0; 3,0 e 5,0 kGy) e teste de Tukey para teor de amilose aparente do amido arroz.....	50
Tabela 7 - Propriedades de pasta das amostras de farinha de arroz não irradiadas e irradiadas com doses de 0,5; 1,0; 3,0 e 5 kGy.....	52
Tabela 8 - Média das notas conferidas aos atributos avaliados nos grãos de arroz cru tratados por Irradiação e controle.....	56
Tabela 9 - Média das notas conferidas aos atributos avaliados nos grãos de arroz cozido tratados por irradiação e controle.....	58
Tabela 10 - Aceitabilidade (%) para aparência do arroz branco (<i>Oryza sativa</i> L.) irradiado e não irradiado.....	60
Tabela 11 - Aceitabilidade (%) para aroma do arroz branco (<i>Oryza sativa</i> L.) irradiado e não irradiado.....	61
Tabela 12 - Aceitabilidade (%) para textura do arroz branco (<i>Oryza sativa</i> L.) irradiado e não irradiado.....	62
Tabela 13 - Aceitabilidade (%) para cor do arroz branco (<i>Oryza sativa</i> L.) irradiado e não irradiado.....	63

Tabela 14 - Aceitabilidade (%) para sabor do arroz branco (<i>Oryza sativa</i> L.) irradiado e não irradiado.....	64
Tabela 15 – Cor instrumental em arroz cru irradiado e não irradiado.....	64

LISTA DE SIGLAS

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

MAA – Ministério da Agricultura e Abastecimento

AOAC – Association of Official Analytical Chemists

FAO – Food and Agriculture Organization

ICMSF – International Commission on Microbiological Standard for Foods

OMS – Organización Mundial de la Salud

FDA – Food and Drug Administration

AIEA – Agência Interna de Energia Atômica

1 INTRODUÇÃO

O arroz está entre os mais importantes cereais cultivados e apresenta grande importância social (PEREIRA, 1996). Está presente nos países em desenvolvimento, sendo considerado um dos alimentos com melhor balanceamento nutricional, que fornece 20% da energia e 15% da proteína “per capita” necessárias ao homem. O arroz é uma cultura extremamente versátil, que se adapta a diferentes condições de solo e clima, e é considerado a espécie de maior potencial de aumento de produção no combate à fome do mundo (GOMES et al., 2004).

A Ásia ocupa a primeira posição em consumo e produção mundiais enquanto a América do Sul é a segunda em produção e a terceira em consumo (GOMES et al., 2004).

A produção no Brasil, segundo os dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2007), foi de 11.504.564 toneladas no ano de 2006 e as estimativas para 2007 são de 11.102.635 toneladas, e o rendimento médio na safra de 2006 foi de 3.875 Kg/ha.

Os maiores estados produtores são Rio Grande do Sul e Mato Grosso, apresentando respectivamente, produções de 5,9 milhões de toneladas e 817 mil toneladas (IBGE, 2007).

Quando o arroz é armazenado sofre danos pelas mais diversas causas tais como temperatura, umidade, ataque de roedores, microrganismos e insetos, sendo os insetos os principais causadores de grandes perdas qualitativas e quantitativas (MANCO, 1987).

Sendo assim, todos os esforços concentrados no aumento da produção de grãos podem não dar resultados, se não houver conseqüente melhoria das condições de armazenamento e controle de pragas desses produtos (MOINO, 1998).

A utilização contínua de defensivos químicos para o controle dessas pragas vem causando problemas como o surgimento de resistência a esses produtos (SARTORI et al., 1990). Além disso, outros inconvenientes do uso de defensivos químicos, como contaminação do ambiente, intoxicação de animais domésticos e do homem e

ocorrência de resíduos tóxicos nos grãos, levam à necessidade de pesquisas com outros métodos de controle dessas pragas, dentro dos quais se destaca a irradiação.

O processo de irradiação de grãos é uma alternativa efetiva ao uso dos fumigantes químicos para o controle de insetos e outras pragas sujeitas às barreiras fitossanitárias (TAIPINA et al., 2003).

A aplicação da radiação ionizante, com o propósito de preservar e desinfestar grãos, surge como prática promissora, utilizada para estender a vida útil e reduzir as perdas das safras durante a armazenagem do produto. Os custos estimados dos benefícios da irradiação comercial, como tratamento, mostram ser competitivos com os métodos de fumigação e outros tratamentos físicos e térmicos (NASCIMENTO, 1992).

A presente pesquisa teve o intuito de colaborar com o desenvolvimento de técnicas para o controle de pragas de grãos armazenados, empregando a irradiação de alimentos, visando diminuir perdas sem alterar as características do produto.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 OBJETIVOS

O presente trabalho teve como objetivo verificar a viabilidade da utilização da radiação gama como método de conservação do arroz e sua eficiência no controle de uma importante praga de grão armazenado (*Sitophilus oryzae* L.), e verificar possíveis alterações nas propriedades físico-químicas e sensoriais destes grãos irradiados.

2.2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.2.1 Produção e Consumo do Arroz

Segundo Pereira (1996) a espécie de arroz *Oryza sativa* L. apresenta três subespécies: Índica, Japônica e Javânica. A subespécie cultivada nas regiões tropicais como o Brasil é a Índica ou também chamada de “continental”.

O arroz é uma das mais importantes culturas anuais produzidas no Brasil, significando cerca de 15% a 20% do total de grãos colhidos no país (GOMES et al., 2004).

Difundido largamente no país, o arroz é cultivado praticamente em todos os estados e consumido por todas as classes sociais, principalmente pelas de mais baixa renda. O arroz ocupa posição de destaque do ponto de vista econômico e social, sendo responsável por suprir a população brasileira com um considerável aporte de calorias e proteínas na sua dieta básica (GOMES et al., 2004).

Conforme Kaimoto (2000), o arroz está presente no cardápio diário do trabalhador brasileiro em uma quantia média de 350 gramas em cada refeição.

A produção deste grão encontra-se dispersa em todo o território nacional. Existem dois tipos principais de sistemas básicos de produção, o arroz de “terras altas” e o irrigado, distribuídos em três pólos produtivos. O primeiro é na região Sul que produz arroz irrigado com alta tecnologia, com destaque para os estados do Rio Grande

do Sul e Santa Catarina. O segundo abrange as regiões Sudeste e o terceiro a Centro-Oeste, envolvendo São Paulo, Minas Gerais, Goiás e Mato Grosso (EMBRAPA, 2004).

Em termos regionais, a região Centro-Oeste é a que apresenta maior consumo médio “per capita” em casca (97,18 Kg/hab/ano), seguida pelas regiões Sudeste (90,47 Kg/hab/ano), Sul (68,12 Kg/hab/ano) e Nordeste (49,64 Kg/hab/ano). Os estados de Tocantins e Goiás são os que apresentam maior consumo médio per capita (101,57 Kg/hab /ano), enquanto Pernambuco e Bahia apresentam os índices mais baixos: 33,9 Kg/hab/ano e 34,22 Kg/hab/ano, respectivamente (GOMES et al., 2004). O consumo de arroz do Mercosul está centrado no Brasil, sendo que a demanda brasileira é cerca de 63 kg em casca por hab/ano, enquanto no Uruguai é de 20 kg/hab/ano e na Argentina, de 12 kg/hab/ano (GOMES et al.,2004).

De acordo com a Portaria do Ministério da Agricultura e Abastecimento - MAA no. 269/88 o arroz é classificado em grupos, subgrupos, classes e tipos. Segundo a sua forma de apresentação o arroz é classificado em dois grupos: arroz em casca e arroz beneficiado. O arroz em casca é o produto fisiologicamente desenvolvido, maduro, que não passa por qualquer preparo industrial ou processo tecnológico. Arroz beneficiado é o produto maduro que se encontra desprovido da casca (BRASIL, 2006a).

Dependendo das etapas do beneficiamento a que foi submetido, o arroz é ordenado em subgrupos: integral, parboilizado, parboilizado integral e polido. Segundo suas dimensões o arroz beneficiado é distribuído em 05 (cinco) classes, independentes do sistema de cultivo: longo-fino, longo, médio, curto e misturado. Na classificação do arroz são considerados os grãos inteiros, quebrados e a quirera. O limite máximo de defeito por tipo - Arroz Beneficiado Polido, segundo a Portaria do MAA no. 269/98 é de 10% para o tipo 1, 20% para o tipo 2, 30% para o tipo 3, 40% para o tipo 4 e 50% para o tipo 5 (BRASIL, 2006a).

A pesquisa busca desenvolver cultivares com aparência e características de grão orientadas para a preferência do mercado, que privilegia grãos longo-finos (popularmente conhecido como agulhinha), translúcidos, com alto rendimento de inteiros, que ao cozinhar apresentem-se macios e soltos (EMBRAPA, 2004).

2.2.2 Composição do arroz

O arroz é considerado o alimento mais importante do globo, devido ao grande número de pessoas que dele faz uso. No Brasil, juntamente com o milho e o feijão, constitui base da alimentação de grande parte da população. É um alimento principalmente energético por apresentar alto teor de carboidratos, porém apresenta baixo teor de proteínas, gorduras e sais minerais (PEREIRA, 1996).

Quando o arroz é apenas descascado é muito nutritivo, embora apresente problemas de conservação e de aceitação pelo consumidor que está habituado com arroz branco, além de ser sujeito a perdas nutricionais nas operações de lavagem e cozimento (PEREIRA, 1996).

Representando 89 a 93% da cariopse, o endosperma é o principal componente do arroz branco polido, sendo formado por amido, proteínas e outros constituintes (SALUNKHE et al., 1985).

O conteúdo médio de proteínas do arroz descascado encontra-se na faixa de 8 a 9%, havendo redução neste teor à medida que são retiradas as camadas superficiais dos grãos, porque o teor de proteínas diminui progressivamente da periferia para o interior da cariopse (GOMES et al., 2004).

O amido, principal carboidrato do arroz, constitui cerca de 90% do produto branco polido, sendo composta por dois polissacarídeos, a amilose e a amilopectina. A amilopectina representa de 63 a 92% de todo o amido, e a amilose, de 8 a 37% (BOBBIO e BOBBIO, 1984). Com aumento da relação amilopectina/amilose, há aumento do rendimento dos grãos inteiros.

A variação nos teores de amilose e amilopectina não afeta o valor nutritivo do arroz, mas influi grandemente nas qualidades culinárias, de tal forma que quanto maior for o teor de amilose, tanto mais secos e mais separados ficarão os grãos depois de cozidos (ELIAS et al., 2003).

Carboidratos, proteínas e gorduras são constituintes orgânicos encontrados em maior quantidade nos grãos. Mesmo possuindo pequenos teores de vitaminas A, C e D,

os grãos de arroz podem ser importantes fontes de tiamina, niacina, pirodoxina, biotina, riboflavina e vitamina E (GOMES et al., 2004).

Segundo Vieira (1992), o arroz é deficiente em lisina e relativamente rico em aminoácidos sulfurados, já o feijão é deficiente em aminoácidos sulfurados e ricos em lisina, sendo considerados complementares. Devido a esse fato, é importante o papel desempenhado pela mistura de cereais e grãos de leguminosas nos séculos de evolução da humanidade. No Brasil, o arroz e o feijão são a base alimentar da população, melhorando o valor biológico das proteínas. Os fitatos, conhecidos também como ácido fítico, são compostos químicos utilizados pelas plantas para armazenar o mineral fósforo no interior de suas células. São considerados fatores antinutricionais, pois reduzem a biodisponibilidade de minerais divalentes como: cálcio, ferro, magnésio, manganês, cobre e zinco, principalmente (EMBRAPA, 2004).

Numerosos estudos científicos internacionais a partir da década de 90 têm mostrado que os fitatos também atuam como potentes agentes anti-oxidantes (prevenindo a oxidação ou envelhecimento das células) cumprindo assim função importante na redução dos riscos de inúmeras doenças crônicas e degenerativas, como alguns tipos de câncer e artrite. É por isso, que hoje os fitatos são considerados compostos funcionais e sua ingestão é de grande importância para a redução dos riscos dessas doenças (EMBRAPA, 2004).

Comparando com os outros grãos, o teor de fitatos na composição é da ordem de 4,5% no arroz, da soja é de 1,5%, no feijão de 2,5% e nos farelos de trigo também da ordem de 4,5% (EMBRAPA, 2004).

A composição química do arroz polido cru pode ser observada na Tabela 1.

Tabela 1 – Composição química do arroz polido cru

(continua)

Componentes	Quantidade/100g ¹	Quantidade/100g ²	Quantidade/100g ³	Quantidade/100g ⁴
Valor calórico (Kcal)	364	364	358	346
Umidade (%)	12	--	13,2	12,3
Proteínas (g)	7,2	7,2	7,2	6,73
Lipídios (g)	0,6	0,6	0,3	0,89
Carboidratos (g)	79,7	79,7	78,8	79,57
Cinzas (g)	0,5	--	0,5	0,48
Cálcio (mg)	9	9	4	--
Fósforo (mg)	104	104	104	--
Ferro (mg)	1,3	0,8	0,7	--

Tabela 1 – Composição química do arroz polido cru

(continuação)

Componentes	Quantidade/100g ¹	Quantidade/100g ²	Quantidade/100g ³	Quantidade/100g ⁴
Sódio (mg)	--	--	1	--
Potássio (mg)	--	--	62	--
Cobre (mg)	--	--	0,11	--
Magnésio (mg)	...	...	30	...
Manganês (mg)	...	...	1,03	...
Tiamina(mg)	0,08	0,08	0,16	...
Riboflavina (mg)	0,03	0,04	< LQ	...
Niacina (mg)	1,6	0,77	1,12	...
Vitamina C (mg)	0	0	0	...
Retinol (mcg)	0	0	0	...

Fonte: ¹Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (1996); ²Franco (2001); ³Universidade de Campinas – UNICAMP (2006); ⁴Universidade de São Paulo – USP (2005)

< LQ: menor que o limite de quantificação do método.

Sinal convencional utilizado:

... dado numérico não disponível

2.2.3 A estrutura dos grânulos de amido

A amilose e a amilopectina não existem livres na natureza, mas como agregados semi-cristalinos organizados sob a forma de grânulos. O tamanho, a forma e a estrutura desses grânulos de amido variam substancialmente com as fontes botânicas. Os diâmetros dos grânulos geralmente variam de menos de 1µm a mais do que 100µm, e os formatos podem ser regulares (por exemplo: esférico, ovóide ou angular) ou bastante irregulares (THOMAS; ATWELL, 1999).

O grânulo de amido é birrefringente, e sob luz polarizada, apresenta a típica cruz de Malta. Entretanto, a birrefringência não implica necessariamente em uma forma cristalina e sim num alto grau de organização molecular nos grânulos (ZOBEL, 1988). De acordo com Gallant et al., (1997) os grânulos de amido são estruturas semi-cristalinas compostas de macromoléculas arranjadas na direção radial, as macromoléculas formam pontes de hidrogênio por estarem associadas paralelamente o que resulta no aparecimento de regiões cristalinas ou micelas.

São as áreas cristalinas do amido que mantêm a estrutura de grânulo, controlam o seu comportamento na presença de água e os tornam mais ou menos resistentes aos ataques químicos e enzimáticos. A fase gel ou zona amorfa dos grânulos é a região que é menos densa, mais suscetível aos ataques enzimáticos e absorve mais água em temperaturas abaixo da temperatura de gelatinização. Não existe uma demarcação forte entre as regiões cristalina e amorfa (BILIADERIS, 1991).

Os grânulos de amido intactos não são solúveis em água fria, mas podem reter pequenas quantidades de água de forma reversível, ocasionando um pequeno inchamento. Quando se aumenta a temperatura, as moléculas de amido vibram vigorosamente, rompendo as ligações intermoleculares e permitem a formação de pontes de hidrogênio com a água. A penetração de água e a separação progressiva de maiores segmentos de cadeias de amido aumentam ao acaso a estrutura geral e diminui o número de regiões cristalinas (WHISTLER; DANIEL, 1993).

O aquecimento contínuo em presença de água abundante resulta na completa perda de cristalinidade. O momento em que desaparece a birrefringência é conhecido como ponto ou temperatura de gelificação, que normalmente produz-se dentro de uma faixa de temperatura, gelificando primeiro os grânulos maiores e por último os menores. No estado nativo os grânulos não possuem membrana. Suas superfícies são formadas simplesmente por extremos de cadeias densamente empacotadas. Nas fases iniciais da gelificação aumenta-se a pressão interna no grânulo, conforme ocorre à entrada de água nas moléculas. As moléculas de amilose, lineares, são menos volumosas que as da amilopectina, ramificadas, e podem, na fase inicial do processo de gelificação, difundirem-se através da membrana superficial e passar à solução fora do grânulo (WHISTLER; DANIEL, 1993).

2.2.4 Armazenagem de grãos de arroz

A armazenagem é um passo entre a colheita e o consumo do arroz, que é estocado durante diferentes períodos e sob diversas condições, podendo ocorrer

ataque de microrganismos, insetos, roedores e outras pragas, que ocasionam grandes perdas de material, além de perda na qualidade do produto. Entretanto, a armazenagem tem outro aspecto que é o envelhecimento do arroz (BARBER, 1972).

O envelhecimento é um fenômeno natural e espontâneo, envolvendo mudanças nas características físicas e químicas do arroz, mudanças estas que causam modificação no cozimento, no processamento, nas qualidades culinárias e nutricionais e afetam o valor comercial (BARBER, 1972).

O envelhecimento, provavelmente, começa no grão, no campo antes da colheita, especialmente em ambientes muito quentes. Ele é acelerado pela aplicação de calor durante a secagem (PEREZ; JULIANO, 1982 apud PARIZZI, 1993).

As mudanças progressivas em algumas características físico-químicas dos grãos de arroz depois da colheita ocorrem especialmente, durante os primeiros três a quatro meses de estocagem, tanto em arroz em casca quanto integral ou polido, sendo que as mudanças mais profundas observadas são no arroz polido. Esse período mínimo de envelhecimento seria desejável para a qualidade no cozimento e no valor nutritivo do arroz (PARIZZI, 1993).

O arroz recém-colhido, quando cozido, torna-se grudento ou uma massa pastosa, expandindo-se pouco. Estas propriedades mudam drasticamente com o armazenamento por poucos meses. O armazenamento do arroz beneficiado altera a absorção de água, os sólidos residuais no líquido de cocção e as características de pasta. O arroz envelhecido expande-se mais facilmente, torna-se mais floculoso e menos grudento (PEREZ; JULIANO, 1982 apud PARIZZI, 1993).

2.2.5 Pragas de grãos armazenados

Os grãos armazenados são atacados por pragas que causam sérios problemas.

As perdas quantitativas médias causadas por pragas no Brasil, estimadas pela FAO e pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento brasileiro, são de aproximadamente 10% do total produzido anualmente. Isso representa cerca de 9,8

milhões por ano (LORINI, 2003). Os insetos que atacam grãos armazenados caracterizam-se por elevada capacidade reprodutiva e número elevado de gerações em curto período de tempo (LORINI, 2003).

Essas características, associadas ao uso constante de inseticidas, propiciam a seleção de populações resistentes.

Os grãos de arroz, assim como os de outros cereais e seus subprodutos, podem ser atacados por mais de 30 espécies de insetos, e os que causam maiores danos são também conhecidos como gorgulhos e traças dos cereais. (GOMES et al., 2004)

Conforme citado por Puzzi (1986) os insetos que atacam grãos armazenados pertencem às ordens Coleóptera e Lepidoptera. Os coleópteros, na sua maioria, têm a forma adulta bem resistente, devido à presença dos élitros. São de dimensões reduzidas, o que facilita sua movimentação ao longo da massa de grãos, permitindo sua ocorrência em grandes profundidades. Por outro lado, os lepidópteros são mais frágeis e de tamanho maior, permanecendo nas camadas superficiais da massa de grãos, onde concentram suas atividades, como alimentação e oviposição.

Pode se considerar que existem dois grupos principais de pragas de grãos armazenados: as pragas primárias, que são aquelas que possuem capacidade de se alimentar de grãos íntegros e sadios, e as pragas secundárias, que só conseguem se alimentar de grãos previamente danificados por insetos primários, grãos partidos ou que apresentem defeitos na casca ou infecção por microrganismos, além de infestar os subprodutos dos grãos, como farinhas, farelos e fubá (GALLO et al., 1988).

Essas pragas levam a perdas quantitativas e qualitativas nos lotes de grãos armazenados. Os danos quantitativos caracterizam-se pela perda de peso nos lotes devido a alimentação dos insetos. Os danos qualitativos são caracterizados por alterações na qualidade dos produtos, como diminuição do valor nutritivo, desvalorização comercial, poluição da massa de grãos e perda das propriedades industriais (CAMPOS; BRITAN, 1976).

As pragas de grãos armazenados se desenvolvem, de maneira geral, numa faixa ótima de temperatura entre 27 e 35° C, sendo valores acima de 35°C geralmente letais, e abaixo de 23°C, redutores do potencial biótico das mesmas. A umidade da massa de grãos entre 12 e 15% favorece o desenvolvimento da maioria das pragas, sendo que

valores abaixo de 10% inviabilizam a sua ocorrência. Teores de umidade acima de 15% também são desfavoráveis aos insetos (GALLO et al., 1988)

Segundo Ferreira (1998) as principais pragas do arroz armazenado são:

- Traças dos cereais, *Sitotroga cerealella* (Oliver, 1819) (Lepidóptera: Gelechiidae);
- Gorgulhos, *Sitophilus zeamais* Motschulky, 1855 *Sitophilus oryzae* (Lineus, 1763) (Coleóptera: Curculionidae).
- Furador pequeno dos grãos, *Rhyzopertha dominica* (Fabricius, 1792) (Coleóptera: Bostrichidae).

2.2.6 Métodos de conservação

Segundo Lorini (2003), a necessidade crescente de produtos para suprir a demanda mundial de alimentos, tendo em vista o crescimento populacional, exige que a qualidade do grão colhido na lavoura seja mantida com o mínimo de perdas até o consumo final.

Estima-se que cerca de 98 milhões de toneladas de grãos produzidos anualmente no Brasil, 20% são desperdiçados nos processos de colheita, de transporte e de armazenamento (GOMES et al. 2004).

O controle de pragas de produtos armazenados depende praticamente de inseticidas de amplo espectro de ação e de fumigantes. Combinações de métodos culturais, físicos e biológicos podem ser integradas para aumentar a eficiência do controle de pragas. Mas o controle integrado depende do entendimento do ecossistema de armazenagem, incluindo dinâmica de população de pragas e métodos mais precisos de monitoramento dos níveis populacionais destas pragas (ARBOGAST, 1998).

Métodos alternativos de controle de pragas de grãos armazenados estão sendo enfatizados para reduzir o uso de inseticidas, para diminuir o potencial de exposição humana e para reduzir a velocidade e o desenvolvimento de resistência de pragas a inseticidas. A preocupação com relação à aplicação de inseticidas e a pressão

crescente imposta por consumidores é de substituir inseticidas químicos por agentes menos tóxicos e perigosos (LORINI, 2003).

Métodos utilizados para controle de pragas segundo Lorini (2003):

Métodos físicos: eram os principais métodos de proteção de grãos, antes do extensivo uso de químicos sintéticos. Controle de temperatura, da umidade relativa e da composição da atmosfera (CO_2 , O_2 , N_2), uso de pós inertes, remoção física de pragas, radiação ionizante, luz e som podem ser empregados, isoladamente ou combinados, para se obter controle de pragas.

Métodos químicos: como já citado é o método mais empregado na atualidade. Porém vem apresentando restrições de uso à medida que surgem problemas de resistência das pragas aos inseticidas.

Métodos biológicos: é um método eficiente de controle de muitas pragas em escala de campo, mas pouco adequado ao ambiente de armazenagem.

Segundo Sirisoontaralak e Noomhorn (2006), atualmente o arroz é tratado com fumigantes químicos para prevenir danos causados por insetos, porém com a preocupação crescente do consumidor sobre saúde e segurança ambiental, fumigação tem futuro limitado.

Irradiação pode ser uma tecnologia alternativa e efetiva por causa de sua habilidade em matar e esterilizar insetos em grãos de arroz infestados. Doses de 0,1 a 5 kGy podem causar matanças completas dentro de algumas horas a semanas (SIRISOONTARALAK; NOOMHORN, 2006).

2.2.7 Irradiação de alimentos

Segundo Verruma-Bernardi et al. (2002) a irradiação de alimentos é uma técnica utilizada no combate das perdas de alimento assim como para combater contaminações microbiológicas, assegurando, dessa forma, maior tempo de vida útil dos alimentos industrializados.

Com a necessidade de uma melhor conservação com tecnologia moderna e avançada de alta eficiência, baixo custo e ausência de efeitos colaterais a irradiação tornou-se uma solução óbvia. Consiste em desinfestar os grãos com uma determinada dose de radiação inibindo a reprodução dos insetos, causando a morte das populações infestantes (ARTHUR, 1997).

As pesquisas em irradiação de alimentos se iniciaram no começo do século, quando se pretendia conhecer o efeito dos raios X, como bactericidas, em alimentos. Contudo, foi só após a segunda Guerra Mundial, sob o patrocínio do exército dos Estados Unidos, que se iniciaram pesquisas sobre a utilização da irradiação gama em alimentos para consumo humano em larga escala. Em 1980, um comitê formado pela Organização das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação (FAO), Organização Mundial de Saúde (OMS) e a Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA) concluíram que a irradiação de qualquer alimento, com uma dose total médio de até 10 kGy, não apresenta riscos toxicológicos e não requer testes toxicológicos adicionais. Essas mesmas entidades, agora no final do século, após rigorosos estudos, liberaram o uso incondicional da irradiação de alimentos, sem limite de dose (FNP, 2001).

O tratamento dos alimentos com radiações ionizantes apresentam ampla gama de efeitos benéficos, em particular o aumento do tempo de conservação, a destruição dos insetos, parasitos, bactérias patogênicas, fungos e leveduras; retardo da maturação e deteriorização de frutas; e a inibição de germinação de tubérculos e bulbos após a colheita (OMS, 1995; SATIN, 1997).

Os alimentos são irradiados através da exposição de forma cuidadosa e controlada a uma fonte de radiação ionizante conhecida. São utilizados o Cobalto-60, o Césio-137 (emissores de raios gama) e os geradores de elétrons e raios X. Pode-se reunir em três grupos os principais processos de irradiação de alimentos: radurização, radicidação e radapertização (OMS, 1995).

Radurização: usa doses baixas (em média de 50 a 1000 Gy) com a finalidade de inibir brotamentos; retardar o período de maturação em frutas; inibir deterioração fúngica de frutas e hortaliças; e controle de infestação por insetos em cereais, farinhas, frutas e outros alimentos.

Radicação ou radiopasteurização: usa doses intermediárias (de 1 a 10 kGy) com o fim de pasteurizar sucos, retardar a deterioração de carnes frescas, controlar *Salmonella* em produtos avícolas.

Radapertização ou esterilização comercial: usa doses elevadas (10 a 70 kGy) na esterilização de carnes, dietas e outros produtos processados.

A irradiação é um processo muito eficiente no controle de insetos. É eficaz, rápida e relativamente barata, em função da baixa dose de aplicação (ARTHUR, 1997).

A qualidade inicial do produto a ser irradiado deve ser a melhor possível. A irradiação não pode transformar alimento deteriorado em alimento de alta qualidade. Como também não é adequada para todos os tipos de alimentos, mas podem resolver problemas específicos importantes e complementar outras tecnologias. Representa grande promessa no controle de doenças originárias de alimentos e aumenta o tempo de vida de prateleira do produto. Também é efetiva na desinfestação, particularmente em climas quentes, em que os insetos consomem grande porcentagem da safra (RADIOLOGIA NUCLEAR, 2004).

Senge et al. (1971) admitem que a irradiação de insetos tem influência sobre a reprodução, ocorrendo efeitos deletérios, e ainda a existência de efeitos correlacionados com a dose de radiação empregada, havendo a inibição da reprodução em doses elevadas.

Sob o ponto de vista alimentar, a irradiação visa destruir os microrganismos e insetos que provocam deterioração nos alimentos (ARRUDA, 1999). Pode ser empregada, isoladamente ou em combinação com outros métodos de preservação de alimentos, como refrigeração, atmosfera controlada, cura, aditivos químicos e sacos de polietileno.

A opinião dos consumidores a respeito da irradiação de alimentos ainda mostra resistência e desconhecimento do processo (COMCIÊNCIA, 2004).

Segundo Taipina et al. (2003), a demanda dos consumidores por alimentos nutritivos e higienicamente está crescendo mundialmente.

O uso da tecnologia da irradiação vem aumentando nos comércios de exportação, inclusive em cereais, carnes e frutos do mar por descontaminar e estender

a vida de prateleira. Os alimentos irradiados foram confirmados serem saudáveis e nutricionalmente adequados e seguros para o consumo humano até com doses acima de 10 kGy (YU; WANG, 2007).

Os macronutrientes (carboidratos, proteínas e lipídeos) são relativamente estáveis quando submetidos à irradiação. Os micronutrientes, especialmente as vitaminas, podem ser sensíveis a qualquer método de tratamento de conservação inclusive a irradiação (TAIPINA et al., 2003).

O efeito da radiação gama na vitamina B₆, tiamina e riboflavina em duas variedades de feijão brasileiro, foi estudado por Villavicencio et al. (2000). Observaram mudanças leves nos teores de tiamina e riboflavina e uma diminuição significativa na pirodoxina somente quando utilizaram doses mais altas (5 e 10 kGy).

2.2.8 Análise sensorial alimentos irradiados

A avaliação sensorial é utilizada para medir, analisar e interpretar as reações das características dos alimentos e materiais que são percebidas pelos sentidos da visão, olfato, gosto, tato e audição (STONE; SIDEL, 1985).

Na indústria de alimentos, o uso de técnicas modernas de Análise Sensorial tem sido um meio seguro para caracterizar diferenças e similaridades entre produtos que disputam um mesmo mercado consumidor para otimizar atributos sensoriais de aparência, aroma, sabor e textura de alimentos em função de expectativas do mercado consumidor e avaliar alterações sensoriais que ocorrem em função do tempo, condições de armazenamento, tipos de embalagem (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICA - ABNT, 1993).

Através da análise sensorial pode-se determinar a aceitabilidade e a qualidade dos alimentos, com auxílio dos sentidos humanos como paladar e olfato. Para avaliar a qualidade deve-se levar em conta as propriedades sensoriais aceitáveis, como essenciais no momento da venda e consumo do produto (ANZALDUA-MORALES, 1994).

A avaliação sensorial deve ser efetuada de maneira científica, através de métodos sensoriais, que são utilizados para medir a qualidade dos alimentos, através dos sentidos humanos de uma equipe de avaliação especialmente treinadas para analisar os diferentes atributos (DUTCCOSKY, 1996).

A irradiação, devido às mudanças químicas que ocorrem podem causar efeitos na cor e aroma dos alimentos. A extensão desses efeitos depende principalmente do tipo de alimento irradiado, da dose de irradiação utilizada e de outros fatores como a temperatura e a duração do processo (OMS, 1988).

Conforme Roy et al. (1991) doses entre 3 e 5 kGy endurecem o grão após esfriar, mas não alteram o aroma. Acima de 5 kGy ocorre alteração da cor e do sabor do arroz. Recomenda-se, portanto, que a dose limite para a irradiação de grãos desse cereal seja de 3 kGy.

2.2.9 Efeito da irradiação sobre o amido

Em cereais não são apenas as características sensoriais, como sabor e a cor, as afetadas pelo processo de irradiação, mas também as propriedades funcionais podem ser alteradas (URBAIN, 1986).

Como ingrediente principal de muitos alimentos o amido confere estrutura, textura e consistência para os mesmos. O efeito da radiação gama sobre a composição química dos produtos amiláceos tem recebido muita atenção. A irradiação é considerada um dos métodos de modificação física do amido, pois a energia ionizante penetra pelo grânulo de amido rapidamente, podendo causar maior dano à sua estrutura (BAO et al., 2005).

A radiação gama pode ser considerada uma técnica de modificação do amido. Ela pode gerar radicais livres nas macromoléculas de amido e estes radicais livres são capazes de hidrolisar ligações químicas e com isto, quebrar grandes moléculas em pequenos fragmentos de dextrina. Estas mudanças podem afetar as propriedades físicas e reológicas de cereais como o arroz, trigo e o milho (YU; WANG, 2007). Estes

autores observaram pelo microscópio eletrônico que a radiação gama causou alterações na microestrutura do amido, mais no endosperma interior do grão de arroz que no endosperma mais externo.

Dentre as alterações geradas pela irradiação de arroz os pesquisadores citam a redução do teor de amilose (WU et al., 2002; YU; WANG, 2007), decréscimo no poder de expansão dos grânulos (YU; WANG, 2007), decréscimo nos valores de viscosidade de pasta (SIRISOONTARALAK; NOOMHORM, 2006; YU; WANG, 2007; BAO et al., 2005).

Sirisoontaralak e Noomhorm (2006) observaram que a irradiação de arroz aromático causou decréscimo em algumas propriedades de pasta, aumento na absorção de água e do teor de sólidos na água de cocção. Além destes, houve intensificação na coloração amarela e decréscimo na dureza do arroz cozido. Na análise sensorial, entretanto, os avaliadores perceberam menos, tais alterações.

Com relação ao teor de amilose aparente, Wu et al. (2002) estudaram o efeito da irradiação em três cultivares de arroz -Indica, Japônica e Híbrida, observando que a redução de amilose ocorreu no arroz com teores iniciais baixo e intermediário de amilose aparente. No produto com alto teor de amilose aparente não foi observada alteração.

Yu e Wang (2007) observaram alterações nos tamanhos dos grânulos de amido de arroz vistos pelo microscópio eletrônico. Verificaram que a amostra não irradiada apresentava grânulos de tamanho grande e poucos de tamanho pequeno. Após a irradiação o número de grânulos de tamanho menor foi aumentando com as doses de irradiação (Figura 1). Os autores concluíram que os grãos podem ser destruídos pela radiação gama, e as quebras aumentam com as doses aplicadas. Este tipo de quebra se manifestou pelo surgimento de grânulos de menor tamanho.

Figura 1 - Efeito da radiação gama na estrutura do amido do arroz (endosperma interior) - (a) 0 kGy; (b) 2 kGy; (c) 5 kGy; (d) 8 kGy; (e) 10 kGy

Fonte: Yu e Wang, 2007

Yu e Wang (2007) observaram a redução da viscosidade em arroz irradiado com doses de 2,0; 5,0; 8,0 e 10 kGy (Figura 2).

Figura 2- Propriedades de pasta do amido de arroz irradiado com diferentes doses

Fonte: Yu e Wang, 2007

2.2.10 Legislação

A irradiação de alimentos é permitida em quase 40 países e é endossada pela Organização Mundial de Saúde, pela Associação Médica Americana e muitas outras entidades (FAO, 2004).

O FDA (2004) aprovou a irradiação de carne e aves e permite seu uso para uma variedade de outros alimentos, como frutas e legumes frescos e condimentos. Segundo o FDA o processo de irradiação é seguro e efetivo, reduzindo ou eliminando microrganismos patogênicos, deteriorantes, insetos e parasitas, e em certas frutas e legumes, inibe o brotamento e retarda o amadurecimento.

Os países membros da União Européia através do Conselho e do Parlamento Europeu aprovam a irradiação de ervas aromáticas desidratadas, especiarias e condimentos vegetais. Alguns países, como Bélgica, França e Holanda são autorizados a tratar alimentos como peixes, crustáceos e moluscos, entre outros com radiação ionizante (PARLAMENTO EUROPEU, 2004).

Na América do Sul apenas três países (Brasil, Argentina e Chile), possuem legislação para irradiação de alimentos (OLIVEIRA, 2000).

De acordo com a legislação brasileira vigente, através da resolução Agência Nacional Vigilância Sanitária - ANVISA RDC 21/01, qualquer alimento pode ser tratado por radiação ionizante desde que a dose mínima absorvida seja suficiente para alcançar a finalidade pretendida e que a dose máxima absorvida seja inferior aquela capaz de comprometer as propriedades funcionais e ou atributos sensoriais do alimento (BRASIL, 2006b).

2.3 MATERIAL E MÉTODOS

2.3.1 Matéria-prima

Foi utilizado para essa pesquisa arroz (*Oryza sativa* L.) variedade longo fino tipo 1 cultivado no Sul do país e colhido na safra de 2005, com a presença de aproximadamente 6% de arroz quebrado após o beneficiamento. Foram avaliados arroz em casca e arroz beneficiado (polido).

2.3.2 Métodos

2.3.2.1 Irradiação das amostras

Foram utilizados 900 g de arroz com casca e 7,500 g de arroz polido. As amostras de arroz polido foram empacotadas em sacos plásticos de 0,08mm de espessura com 500 g de arroz em cada embalagem, totalizando 15 sacos referentes aos tratamentos e repetições. A irradiação foi realizada no Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA/USP), localizado na cidade de Piracicaba, Estado de São Paulo, onde foram empregadas as doses de radiação controle, 0,5, 1,0, 3,0 e 5,0 kGy,

utilizando um irradiador de Cobalto 60, modelo Gammacell -220, sendo utilizada a taxa de dose de 0,807 kGy/hora. Para as amostras de arroz com casca foram empregadas as doses de radiação controle, 0,5 e 1,0 kGy, sendo as amostras empacotadas em sacos plásticos de 0,08mm com 300g de produto para cada tratamento. Foram mantidas nas condições de temperatura ambiente as amostras controle e irradiadas. O arroz foi inicialmente avaliado quanto aos parâmetros físico-químicos e sensoriais.

2.3.2.2 Análises Físicas

2.3.2.2.1 Análise porcentagem de quebra do grão de arroz durante o beneficiamento

As três amostras de arroz com casca (100g cada) controle, 0,5 kGy e 1,0 kGy foram submetidas ao processo de beneficiamento, foi utilizado o provador PAZ 1-DT marca Zaccaria, para analisar a porcentagem de grãos de arroz inteiros.

Este equipamento primeiramente retira a casca e o farelo dos grãos. Em seguida o arroz já beneficiado é classificado em inteiros e quebrados, os quais podem ser agregados no pacote e a quirera que é subproduto.

A renda-base do arroz foi obtido, através do valor de grãos inteiros e quebrados, após retirada da casca, farelo e quirera.

O valor de grãos inteiros é considerado o arroz inteiro (longo fino – 6mm de comprimento) e o arroz quebrado (> 4,5mm de comprimento).

Para a classificação do arroz tipo 1 deve apresentar no máximo 10% de defeitos.

Figura 3 – Provador para arroz Zaccaria PAZ 1-DT

2.3.2.2.2 Análise da longevidade e reprodução de gorgulhos de arroz (*Sitophilus oryzae* L.).

Os insetos utilizados para a realização desse experimento foram da espécie *Sitophilus oryzae* L. procedentes de uma criação normal mantida no laboratório da Seção de Radioentomologia do Centro de Energia Nuclear na Agricultura – CENA/USP, Piracicaba, SP.

O substrato (arroz) foi irradiado com as doses: 0 kGy, 0,5 kGy e 1,0 kGy, e colocados em embalagens próprias de arroz comercializados em supermercados, ou seja, sacos plásticos 0,08mm de espessura. Foram colocados 200g de arroz controle e irradiados e 40 insetos em cada embalagem, sendo 3 repetições por tratamento, totalizando 120 insetos por tratamento. Essas embalagens foram mantidas em temperatura ambiente por 40 dias, para verificar a reprodução dos insetos. Para a avaliação foi realizada a contagem dos insetos ao final do período.

Para a realização da segunda análise foi utilizado um substrato (arroz) que estava infestado com *Sitophilus oryzae* L. a quatro meses e antes da irradiação com doses de 0,5 kGy e 1,0 kGy foram retirados os insetos adultos, sendo feito o mesmo procedimento também no controle. Foram acondicionados em sacos plásticos próprios de arroz do comércio, com 3 repetições por tratamento e armazenados por 40 dias, para verificar os insetos que emergiram neste período. Para a avaliação foi realizada a contagem dos insetos ao final do período.

2.3.2.3 Análises Químicas

As amostras de arroz, controle e irradiadas, foram moídas em liquidificador industrial marca Skymssen e foram tamisadas em peneiras de 250 µm para a determinação de amilose aparente e propriedades de pasta dos grãos de arroz. As farinhas de arroz foram acondicionadas em vidros tampados em temperatura ambiente.

2.3.2.3.1 Composição Centesimal

As análises químicas de teor de umidade, proteína bruta, extrato etéreo e de cinza foram realizadas de acordo com a metodologia indicada pela Association of Official Analytical Chemists - AOAC (2006).

Para a determinação do teor de matéria seca foi utilizado o método gravimétrico, em que as amostras foram secas em estufa a 105°C, até peso constante.

O teor de nitrogênio total foi determinado pelo método Microkjeldahl, sendo o teor protéico determinado pela multiplicação do conteúdo de nitrogênio total pelo fator 6,25.

O extrato etéreo foi determinado utilizando-se o extrator de Soxhlet. Na extração foi utilizado como solvente o éter etílico à temperatura de 45-50°C em refluxo contínuo da amostra durante 6 horas. Recuperado o éter etílico, os tubos foram retidos e colocados em estufa por 20 minutos a 100°C, depois disso os tubos esfriaram em

dessecador e foram pesados, obtendo-se a quantidade de lipídeos por diferença de peso do tubo.

As cinzas foram determinadas através da incineração das amostras em mufla à temperatura de 550-600°C por 4 horas.

O teor de carboidratos totais foram determinados por diferença.

2.3.2.3.2 Ácido Fítico

O teor total de ácido fítico nas amostras foi determinado segundo o método descrito por Grynspan e Cheryan (1989). As amostras foram digeridas em 10ml de solução de HCl 0,65 N por 1h, com agitação casual. Posteriormente foram centrifugadas a 300rpm por 10 min. Na seqüência, 2ml do sobrenadante foram diluídos em água destilada em balão volumétrico de 25ml. Foram pipetados 10ml da solução do balão para bureta previamente preparada fazendo com que as soluções eluissem através de resina a uma velocidade de 1 gota por segundo. Posteriormente os eluídos foram descartados. Em seguida foi pipetado 15ml de solução de NaCl 0,1M para a bureta, sendo o eluído descartado também. Foram pipetados 15ml de solução de NaCl 0,7M e recolhido o eluído em becker limpo onde pipetou-se 5ml em tubos de ensaio adicionados de 1ml de reagente de Wade com agitação vigorosa. Após 15 min, foi realizada a leitura da absorbância a 500nm em espectrofotômetro Beckman modelo DU 640. O teor de ácido fítico foi obtido a partir da construção de curva padrão, sendo os resultados expressos em mg de ácido fítico/g de amostra.

2.3.2.4 Conteúdo de Amilose Aparente

O conteúdo de amilose aparente dos grãos de arroz foi determinado usando a metodologia ISO 6647 (International Organization for Standardization, 1987).

2.3.2.5 Propriedades de Pasta

As propriedades de pasta de arroz moído foram avaliadas em aparelho Rapid Visco Analyser (RVA), série 4, da Newport Scientific, na concentração de 3,0g/25ml de água. Para o cálculo desta concentração foram efetuadas correções na quantidade de amostra e na quantidade de água adicionada, de acordo com a tabela fornecida pelo fabricante (Newport Scientific, 1998), tomando como base o teor de umidade de 14%, para se obter peso seco de 3,0g. Foi utilizada a programação Std 2 (Standard Analysis 2) do software Thermocline for Windows versão 2.2, para proceder a avaliação.

A programação do equipamento no trabalho é apresentada na Figura 3 e os resultados foram interpretados a partir do gráfico plotado pelo programa (Figura 4).

TEMPO (HORA: MINUTO: SEGUNDO)	TIPO	VALOR
00:00:00	Temperatura	50°C
00:00:00	Velocidade	960 rpm
00:00:10	Velocidade	160 rpm
00:01:00	Temperatura	50° C
00:04:48	Temperatura	95° C
00:07:18	Temperatura	95° C
00:11:06	Temperatura	50° C

Figura 4 – Parâmetros do Rapid Visco Analyser (RVA) utilizados para determinação das propriedades das pastas do arroz

Figura 5 – Curva típica Rapid Visco Analyser (RVA)

Fonte: Vieira, 2004

2.3.2.6 Análise Sensorial

Foram selecionados aleatoriamente 40 provadores não treinados, consumidores de arroz, dentre uma população de adultos saudáveis (18 a 50 anos), de ambos os sexos.

Realizaram-se testes hedônicos para as características de arroz cru aparência e cor e para arroz cozido aparência, aroma, textura, cor e sabor. Os provadores avaliaram sensorialmente o produto de acordo com metodologia proposta por Dutcosky (1996), através do programa Compusense five (COMPUSENSE INC. 1986-1998). As amostras cozidas foram preparadas com água destilada, óleo de soja e 1% de NaCl. O teste foi realizado com o aval do Comitê de Ética em pesquisa com seres humanos da FOP/UNICAMP.

No laboratório de análise sensorial com cabines individuais, os provadores receberam as amostras servidas em pratos brancos. Foram apresentadas cinco amostras (uma para cada tratamento: controle sem irradiação, 0,5 kGy, 1,0 kGy, 3,0 kGy e 5,0 kGy) codificadas com números de 3 dígitos escolhidos de forma aleatória pelo programa Compusense five. Foi solicitado aos provadores que analisassem cada uma das amostras, usando uma escala feita para esse propósito, com nove pontos. Os resultados foram avaliados através de Análise de Variância (ANOVA) e teste de Tukey.

2.3.2.7 Análise Instrumental da Cor

As avaliações da cor do arroz foram realizadas utilizando-se colorímetro Minolta CR -200. Os resultados foram expressos em valor L (luminosidade), que varia do negro ($L = 0$) ao branco ($L = 100$), valor a^* , que caracteriza coloração na região do vermelho (+a) ao verde (-a) e valor b^* , que indica coloração no intervalo do amarelo (+b) ao azul (-b). O Croma, relação entre os valores de a^* e b^* , no qual se obtém a saturação da cor da amostra e o ângulo de cor, ângulo formado entre a^* e b^* , indicando a cor real do objeto, foi calculado segundo Minolta (1994).

2.3.2.8 Análise Estatística

Os dados obtidos após o processamento analítico das amostras foram submetidos à análise de variância (ANOVA). Para verificar quais tratamentos diferiram, foi aplicado o teste de Tukey (Teste T-Teste de mínima diferença estatística) para realizar comparações pareadas das médias dos tratamentos estabelecendo-se o nível mínimo de significância de 5% ($p < 0,05$). Utilizou-se software SAS Institute (SAS INSTITUTE, 1999).

2.4 Resultados e Discussão

2.4.1 Análise da porcentagem de quebra do grão de arroz e renda base durante o beneficiamento.

A Tabela 2 apresenta os resultados da porcentagem de grãos inteiros de arroz após o processo de beneficiamento.

Tabela 2 – Média da porcentagem de grãos de arroz inteiros não irradiado e irradiado com doses de 0,5 kGy e 1,0 kGy após o beneficiamento

TRATAMENTOS	GRÃOS INTEIROS (%)
0 kGy	94,1±0,1 ^{1a 2}
0,5 kGy	94,2±0,1 ^a
1,0 kGy	94,1±0,1 ^a

¹Média ± Desvio Padrão

²Médias seguidas de letras iguais, nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de significância de 5% (p<0,05)

Pela Tabela 2, verifica-se que a radiação gama não afetou a quebra do grão de arroz durante o processo de beneficiamento, uma vez que entre as doses e o controle não houve diferença significativa (p<0,05).

A finalidade básica da retirada de partes do arroz no beneficiamento é permitir maior tempo de prateleira, aliada ao melhor aspecto do produto que se destina ao consumo humano, vários fatores podem alterar o resultado final do beneficiamento do arroz, como por exemplo, a irradiação.

A renda do beneficiamento, ou seja, o percentual de arroz beneficiado, é um dos mais importantes critérios da qualidade do arroz. A preferência é pelo produto com menor quantidade de grãos quebrados, pois o arroz, contendo misturas de grãos quebrados, resulta em cozimento desuniforme, aspecto pouco atrativo ao consumidor e é economicamente indesejável (PEREIRA, 1996). O fato da irradiação não alterar esse índice é de suma importância para que o emprego da mesma possa ser implementado.

Os fatores a serem considerados no julgamento da qualidade do arroz são muitos e incluem tamanho do grão, aspecto externo e incidência de danos (WEBB,

1985). Esses fatores não foram afetados no arroz irradiado beneficiado, já que não apresentou diferença estatística na quebra dos grãos de arroz, não aumentou a incidência de defeitos.

O rendimento do arroz é expresso pelos percentuais de grãos inteiros e grãos quebrados, resultantes do benefício do arroz, sendo que ao arroz em casca é atribuída uma renda-base de 68% constituída de um rendimento de 40% de inteiros mais 28% de quebrados e quirera, apurados depois do produto descascado e polido (PARIZZI, 1993).

Nas amostras de arroz deste experimento, tanto o irradiado com as doses de 0,5 kGy e 1,0 kGy e o controle, foi obtido um resultado da renda-base de 66%. Isso resultou da retirada da casca e farelo, que somaram 29g e 5g quirera, restando 66 g de arroz inteiros e quebrados. A porcentagem de grãos inteiros foi de 60%, o resultado de quebra do arroz foi de 6%, tendo 94,0g de grãos inteiros em 100g.

2.4.2 Análise da longevidade e reprodução de gorgulhos de arroz (*Sitophilus oryzae* L.).

A Tabela 3 apresenta o desenvolvimento de *Sitophilus oryzae* L., por dose e números que permaneceram vivos durante o armazenamento após a irradiação do substrato.

Tabela 3 – Número de insetos vivos *Sitophilus oryzae* L., que foram colocados no substrato (arroz) após a irradiação e controle após armazenamento

TRATAMENTOS	INSETOS VIVOS (unidades)
0 kGy	76,00
0,5 kGy	13,00
1,0 kGy	4,00

A Tabela 4 apresenta o desenvolvimento de *Sitophilus oryzae* L., por dose e números de nascimento durante o armazenamento após a irradiação do substrato.

Tabela 4 – Número de insetos que emergiram *Sitophilus oryzae* L., no substrato (arroz) após a irradiação e controle durante 40 dias

TRATAMENTOS	INSETOS EMERGIDOS (unidades)
0 kGy	137,00
0,5 kGy	3,00
1,0 kGy	0,00

Figura 6 – Arroz (substrato) controle e irradiados onde emergiram os insetos

Figura 7 – *Sitophilus oryzae* L. que se desenvolveu no substrato

Os gorgulhos de arroz utilizados neste experimento (*Sitophilus oryzae* L), conforme figura 5, possuem elevado potencial biótico, podendo infestar os produtos tanto no campo como nos depósitos (ARTHUR et al., 1990) e podem se desenvolver mesmo após a irradiação com dose de 0,5 kGy, Os resultados obtidos no presente experimento (Tabela 3) confirmam esta afirmação.

Segundo Parizzi (1993), vários fatores podem levar a perda de qualidade do arroz, muitos resultam principalmente do ataque de insetos e fungos. O inseto utilizado apresenta alta capacidade de infestação em grãos não tratados (Tabelas 3 e 4).

Dano de inseto é um problema importante durante o armazenamento de arroz. *Sitophilus oryzae* L. é a espécie mais abundante, seguida do *Tribolium castaneum* (SIRISOONTARALAK; NOOMHORN, 2005).

O arroz beneficiado é mais suscetível à infestação de insetos do que o arroz em casca, graças à grande exposição do grão, sendo a presença de grãos quebrados favorável ao aumento da infestação (PREVETT, 1971). No experimento, como a quantidade de grãos quebrados foi pequena, provavelmente não houve favorecimento do crescimento por esse fator.

Com os resultados obtidos nas avaliações, pode ser verificado que a irradiação causou efeito negativo no desenvolvimento dos insetos que foram colocados no arroz irradiado. As doses de 0,5 kGy e 1,0 kGy no final do período de 40 dias de armazenamento apenas 13 e 4 insetos permaneceram vivos, respectivamente. Já no controle havia 76 insetos se desenvolvendo no substrato.

Na Tabela 4 observou-se também que na dose controle houve infestação, conforme mostra figura 4, já no substrato irradiado não houve emergência dos gorgulhos, apenas 3 insetos foram encontrados na dose de 0,5 kGy ao final de 40 dias de armazenamento.

HU et al., 1985 apud Fontes e Arthur (1994) verificaram os efeitos da radiação gama sobre *Tribolium castaneum* (Herbst.) e observaram que, após três semanas da irradiação, não houve sobrevivência de pupas e adultos com doses de 200 - 600 Gy, e todos que receberam uma dose de 100 Gy estavam mortos. A dose de 41 Gy matou

100% de ovos e larvas, indicando que esse inseto é mesmo resistente a irradiação que o *Sitophilus oryzae* L.

Os resultados da Tabela 4 são contrários aos verificados por Wiendl et al. (1974) que constataram menor longevidade nos insetos adultos de *Sitophilus zeamais* que se alimentaram de arroz irradiado, mas a dose de 20 krad causou significativo aumento na reprodução.

Segundo Groppo (1988) devido ao poder residual nulo das radiações, pode ocorrer a reinfestação do produto. Isso não foi visto neste experimento, pois com o aumento das doses o número de insetos que foram colocados no substrato após a irradiação (reinfestação forçada) diminuiu significativamente. Pode ser concluído que algumas variações podem ter ocorrido nesta fase, como idade do ciclo evolutivo do inseto e as condições climáticas do armazenamento serem diferentes do estudo referido, que são fatores importantes que contribuem para que ocorram discrepâncias nos resultados.

2.4.3 Composição centesimal

Os resultados referentes a composição centesimal dos grãos de arroz irradiados e não irradiados, são apresentados na Tabela 4.

Tabela 5 – Médias obtidas pelos tratamentos (controle e irradiados com doses 0,5 kGy; 1,0 kGy, 3,0 kGy e 5,0 kGy) e teste de Tukey para a composição centesimal do arroz cru e cozido (Base fresca)

(continua)

TRATAMENTOS	UMIDADE (%)	CINZA (%)	EXTRATO ETereo (%)	PROTEINA (%)	CHO (%)
ARROZ CRU					
0 kGy	10,97±0,5 ^{1a 2}	0,34±0,0 ^a	0,5±0,0 ^a	8,83±0,2 ^a	79,85
0,5 kGy	10,93±0,2 ^a	0,38±0,0 ^a	0,4±0,0 ^a	7,94±1,1 ^a	80,74
1 kGy	10,33±0,3 ^a	0,35±0,1 ^a	0,12±0,0 ^a	7,50±0,3 ^a	81,8
3 kGy	10,74±0,4 ^a	0,40±0,1 ^a	0,2±0,0 ^a	7,61±0,2 ^a	81,25
5 kGy	10,68±0,5 ^a	0,45±0,0 ^a	0,6±0,0 ^a	8,72±0,2 ^a	80,14

Tabela 5 – Médias obtidas pelos tratamentos (controle e irradiados com doses 0,5 kGy; 1,0 kGy, 3,0 kGy e 5,0 kGy) e teste de Tukey para a composição centesimal do arroz cru e cozido (Base fresca)

(continuação)

TRATAMENTOS	UMIDADE (%)	CINZA (%)	EXTRATO ETereo (%)	PROTEINA (%)	CHO (%)
ARROZ COZIDO					
0 kGy	69,96±0,1 ^b	0,14±0,0 ^a	0,06±0,0 ^a	2,34±0,2 ^a	27,56
0,5 kGy	68,55±0,1 ^c	0,14±0,0 ^a	0,01±0,0 ^a	2,68±0,2 ^a	28,63
1 kGy	67,49±0,1 ^d	0,14±0,0 ^a	0,06±0,0 ^a	2,92±0,4 ^a	29,45
3 kGy	71,64±0,0 ^a	0,14±0,0 ^a	0,06±0,0 ^a	2,57±0,2 ^a	25,65
5 kGy	69,85±0,1 ^b	0,14±0,0 ^a	0,03±0,0 ^a	2,84±0,2 ^a	27,17

¹Média ± Desvio Padrão

²Médias seguidas de letras iguais, nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de significância de 5% (p<0,05)

Com base nos resultados observados na Tabela 5 pode-se concluir que a irradiação não alterou de maneira significativa a composição centesimal das amostras analisadas, com exceção do teor de umidade do arroz cozido.

Conforme pode ser visualizado na Tabela 5, os valores médios de umidade total variaram de 10,33 a 10,97% para as amostras de arroz cru e de 67,49 a 71,64% nas amostras de arroz cozidas. Os teores de umidade encontrados são próximos aos valores encontrados na literatura para o arroz cru, os quais variaram entre 12 e 13,2% e para o arroz cozido 61,6 e 73,48% (IBGE, 1996; UNICAMP, 2006; USP, 2005).

Os valores médios de cinza das amostras analisadas nesse trabalho variaram de 0,34 a 0,45% no arroz cru e 0,14% para todas as amostras de arroz cozido, sendo esses valores correspondentes aos valores observados em literatura para arroz cru e cozido, 0,5% e 0,1% e 0,3%, respectivamente. (IBGE, 1996; UNICAMP, 2006; USP, 2005). As amostras não irradiadas e irradiadas não diferiram entre si quanto ao teor de cinza, demonstrando que a irradiação não teve influência sobre o teor de cinza do arroz analisado.

Os teores de lipídeos variaram de 0,2 a 0,12% no arroz cru e 0,01 a 0,06% no arroz cozido, estando esses valores inferiores dos valores encontrados na literatura, sendo de 0,3 a 0,9% para arroz cru e 0,2 a 0,6% para arroz cozido (IBGE, 1996; UNICAMP, 2006; USP, 2005). Quanto às amostras irradiadas e não irradiadas não houve diferença entre os teores de lipídeos.

Quanto à proteína presente nas amostras analisadas, os níveis variaram entre 7,5 a 8,72% e 2,34 a 2,92% no arroz cru e cozidas. Os valores médios de proteínas observados estão semelhantes com os teores encontrados na literatura, os quais variaram de 6,73 a 7,2 % para arroz cru e 2,3 a 2,5% para arroz cozido. (IBGE, 1996; UNICAMP, 2006; USP, 2005).

Os valores médios de carboidratos encontrados nas amostras analisadas variaram de 79,85 a 81,25% para o arroz cru e 25,65 a 29,45% para o arroz cozido, onde verificamos que a irradiação não alterou o teor de carboidratos do arroz analisado, pois os valores encontrados são semelhantes aos propostos por IBGE (1996), UNICAMP (2006) e USP (2005).

Zuleta et al. (2006), estudando a composição química de arroz irradiado, também não encontraram diferença na composição do carboidratos totais.

2.4.4 Ácido Fítico

Nas análises das amostras de arroz cru e cozido, irradiado e não irradiado, não foram encontrados teores de ácido fítico, isso deve-se ao fato do arroz ter sido beneficiado, sendo retirada a camada externa do grão, que segundo Cuneo et al. (2007) 85% do ácido fítico do arroz localiza-se no pericarpo, 13% no germe e 2% no endosperma, sendo que o ácido fítico naturalmente presente no farelo de arroz representa de 85 a 92% dos fitatos totais.

2.4.5 Amilose Aparente

Na Tabela 6 podem ser observados os valores de amilose aparente nos grãos de arroz irradiado e não irradiado.

Tabela 6 – Médias obtidas pelos tratamentos (controle e irradiadas com doses 0,5; 1,0; 3,0 e 5,0 kGy) e teste de Tukey para teor de amilose aparente do amido arroz

TRATAMENTOS	AMILOSE (%)
ARROZ CRU	
0 kGy	18,4±0,1 ^{1a2}
0,5 kGy	18,9±0,4 ^a
1 kGy	18,9±0,2 ^a
3 kGy	18,2±0,4 ^a
5 kGy	17,3±0,04 ^a

¹Média ± Desvio Padrão

²Médias seguidas de letras iguais, nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de significância de 5% (p<0,05)

Não houve diferença significativa entre as amostras estudadas, embora pareça haver tendência a redução com as doses mais elevadas, pois foi verificado que com 3 kGy e 5 kGy, os conteúdos de amilose, reduziram em 1% e 6%, respectivamente. Nas análises realizadas por Yu e Wang (2007), para as mesmas doses, houve uma redução de 2,9% e 6,6% nos teores de amilose do arroz irradiado, sendo tal diminuição explicada pela quebra ou divisão das cadeias longas de amilopectina causadas pela irradiação. Na irradiação com 10 kGy chegou a 12,2%.

Bao et al. (2005) reportaram a fragmentação da amilopectina com a irradiação de arroz e decréscimo do peso molecular. A quebra da cadeia de amilopectina ocorreu nas regiões amorfas, tendo pouco efeito nas regiões cristalinas dos grânulos de amido, especialmente em baixa dose de irradiação.

O grau de polimerização da amilopectina é mais alto que o da amilose, tendo maior probabilidade de ser quebrada durante a irradiação (YU; WANG, 2007).

A probabilidade das moléculas de amilose sofrerem danos com a irradiação gama foi considerado menor que da amilopectina, porque o conteúdo de amilose em arroz é menor que a de amilopectina (BAO et al. 2005).

Segundo Gonzalez et al., (2007) o arroz com maior teor de amilose e com amilopectina de cadeia mais longa, tende a apresentar propriedades de cozimento com textura mais dura. O arroz com conteúdo mais baixo de amilose e com amilopectina de cadeia mais curta tende a apresentar uma textura mais macia após o cozimento.

2.4.6 Propriedades de Pasta

Os grãos de arroz tratado e não tratados por irradiação avaliados pelo Rapid Visco Analyser (RVA) apresentaram e os perfis mostrados no Gráfico 1.

Gráfico 1 - Perfis viscoamilográficos de amostras moídas de arroz irradiado e não irradiado avaliados pelo Rapid Visco Analyser (3g/25ml)

A irradiação provocou intensas modificações nos amidos, alterando significativamente o perfil viscoamilográfico obtido para o amido controle. As curvas de viscosidade apresentaram redução com o aumento da dose de irradiação. Foi observado também uma redução proporcionalmente mais acentuada entre as doses 1,0 e 3,0 kGy. Redução da viscosidade pelo efeito da irradiação também foi observado por outros autores (YU; WANG, 2006; BAO et al., 2005).

Os pontos críticos de viscosidade extraídos dos perfis de viscosidade do arroz tratado e não tratado por irradiação são apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 - Propriedades de pasta das amostras de farinha de arroz não irradiada e irradiadas

Doses (kGy)	Temperatura de Pasta (°C)	Pico (RVU)	Quebra (RVU)	Viscosidade Final (RVU)	Tendência a Retrogradação (RVU)	Tempo de Pico (min.)
0	91±1,84 ^{1 a 2}	201±0 ^a	22±1,5 ^c	370±0 ^a	168±0,5 ^a	5,9±0 ^a
0,5	91±1,66 ^a	175±0,3 ^b	31±3,7 ^b	293±4,9 ^b	122±1,1 ^b	5,7±0,03 ^b
1,0	90±0,07 ^{ab}	150±1,1 ^c	44±4,7 ^a	224±0,9 ^c	72±1,6 ^c	5,5±0 ^c
3,0	89±0,02 ^b	96±1,7 ^d	39±1,0 ^a	107±1,2 ^d	11±0,5 ^d	5,4±0,04 ^d
5,0	88±1,28 ^b	61±0,3 ^e	31±0 ^b	58±0,9 ^e	1±5,21 ^e	5,2±0 ^e

¹ Média ± Desvio Padrão

² Médias seguidas de letras iguais nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey, em nível de significância de 5% (p<0,05)

A irradiação alterou significativamente todas as características de pasta do amido de arroz. Este resultado evidencia quebra nas cadeias de amido. A irradiação muda a estrutura do amido e suas funcionalidades.

A temperatura de pasta indica a temperatura mínima necessária para o cozimento de uma determinada amostra, o que pode ter implicações na estabilidade de outros componentes presentes em uma formulação e também indica a energia a ser consumida neste processo (NEWPORT, 1995). Assim, variações nesse parâmetro podem alterar a qualidade dos alimentos bem como os custos com a energia gasta nos processos. No presente estudo pode-se observar tendência à redução da temperatura de pasta nas maiores doses de irradiação. Foi verificado que não houve diferença estatística entre o controle e as doses 0,5 e 1,0 kGy, mas as doses de 3,0 e 5,0 kGy foram estatisticamente diferentes das demais amostras.

O aumento das doses de irradiação promoveu diminuição gradual (de 5,9 minutos para 5,2 minutos) no tempo para ocorrência do pico. Isto pode ser explicado pela redução da temperatura de pasta.

Houve redução dos valores de viscosidade máxima com a irradiação em até dois terços do valor obtido para o amido natural. Os valores de viscosidade final das pastas de amido acompanharam a tendência de redução gradual com a elevação das doses de irradiação do produto.

Sung (2005), estudando o efeito da irradiação nas propriedades de pasta do arroz, observou que a dose de 1,0 kGy modificou a microestrutura do amido e gerou a redução da viscosidade da pasta. Segundo esse autor a redução de viscosidade do

arroz como observada durante seu armazenamento, é interessante do ponto de vista culinário. Isso passa ser a razão que a indústria tenha preferência em usar arroz mais velho para fazer produtos de derivados de arroz. O arroz velho que foi armazenado (um ano) será menos pegajoso no cozimento.

De acordo com Yu e Wang (2007) o amido com teor de amilose menor apresenta valores mais altos de viscosidade máxima pelo fato de ocorrer maior inchamento dos grânulos, diminuindo conseqüentemente, a água livre da suspensão amido: água. Pode-se inferir disto que o pico de viscosidade está positivamente correlacionado com poder de inchamento dos grânulos.

Grânulos inchados prontamente fraturam resultando em uma diminuição de viscosidade. A quebra indica a facilidade com que os grânulos inchados se desintegram durante o cozimento (SIRISOONTARALAK; NOOMHORN, 2006).

Os grãos de arroz irradiados apresentaram grânulos de amido mais susceptíveis à ruptura que os não irradiados (quebra de viscosidade), quando submetidos à agitação em temperaturas elevadas. Isto quer dizer que os grânulos de amido dos grãos tornam-se menos estáveis ao cisalhamento.

Segundo Lii et al.(1996), o conteúdo de amilose pode aumentar a rigidez da estrutura do grânulo de amido. Analisando amido de arroz com baixo conteúdo de amilose, observaram que a estrutura cristalina foi destruída facilmente.

Zuleta et al. (2006) estudando três diferentes cultivares de arroz com conteúdo de 25, 19 e 5% de amilose observaram que a viscosidade do gel diminuiu significativamente com as doses de 1,5 e 3,0 kGy, nos cultivares com 19 e 5%.

Embora essa correlação exista na literatura, no presente trabalho não foi observada que o teor de amilose influenciou na viscosidade máxima, pois a irradiação não alterou significativamente o conteúdo de amilose aparente do amido de arroz.

A tendência a retrogradação do amido dos grãos tratados se tornou menos acentuada se comparada com a do amido de grãos de arroz não tratados. Isto é um fator positivo para arroz cozido e armazenado sob temperaturas mais baixas (refrigeração ou congelamento), pois quanto menos intensa a retrogradação, menos problemas com a textura do produto. A retrogradação pode conduzir ao aumento de dureza dos grãos devido à recristalização das macromoléculas do amido.

Segundo Wu et al. (2002) o parâmetro retrogradação é freqüentemente usado como indicador da firmeza de arroz cozido. Valores mais altos indicam textura mais firme. Como houve redução da tendência de retrogradação com o aumento da dose de irradiação infere-se que este processamento abranda a textura do arroz cozido.

A retrogradação acontece mais rapidamente em amido de arroz com alto conteúdo de amilose e durante o armazenamento a baixa temperatura (ZULETA et al., 2006).

Estudo realizado por Sirisoontarak e Noomhorn (2006) apresenta resultados das propriedades de pasta, onde todos os parâmetros diminuíram depois da irradiação. Observando o pico de viscosidade e viscosidade final pode ser notada a diminuição, a tendência de retrogradação também diminuiu significativamente ($p < 0,05$), estando de acordo com os resultados encontrados neste trabalho.

2.4.7 Análise Sensorial

Os dados obtidos na análise sensorial são apresentados nos Gráficos 2 a 7 e nas Tabelas 8 e 9.

No Gráfico 2 pode-se observar que a faixa etária predominante entre os provadores foi de 18 a 27 anos (92,5%), seguida pelas faixas etárias de 48 anos ou mais (5%) e de 28 a 37 anos (2,5%).

Gráfico 2 – Distribuição dos provadores de acordo com a faixa etária

Do total de provadores 65% são do sexo feminino e 35 % do sexo masculino (Gráfico 3). Quanto à frequência de consumo 95 % declaram consumir arroz diariamente e 5% consumir semanalmente (Gráfico 4). Quando questionados quanto a preferência do arroz cozido 77,5 % dos entrevistados declaram preferir arroz solto, 12,5 % arroz empapado e 10% não tem preferência quanto ao aspecto do arroz após o cozimento (Gráfico 5).

Gráfico 3 – Distribuição dos provadores de acordo com o gênero

Gráfico 4 – Distribuição dos provadores de acordo com a frequência de consumo

Gráfico 5 - Distribuição dos provadores de acordo com a preferência do aspecto do arroz cozido

Na Tabela 8, podem ser observadas as médias da avaliação dos atributos sensoriais (aparência e cor), nos grãos de arroz cru tratado e não tratado por irradiação.

Tabela 8 - Média das notas conferidas aos atributos avaliados nos grãos de arroz cru tratados por Irradiação e controle

ATRIBUTOS	TRATAMENTOS	MÉDIAS
APARÊNCIA	0 kGy	6,88±2,0 ^{1a 2}
	0,5 kGy	6,75±1,9 ^a
	1 kGy	6,65±1,8 ^{ab}
	3 kGy	5,95±1,9 ^b
	5 kGy	5,23±2,1 ^c
COR	0 kGy	7,03±1,8 ^a
	0,5 kGy	6,38±1,9 ^a
	1 kGy	6,50±1,8 ^a
	3 kGy	5,40±1,7 ^b
	5 kGy	4,75±1,7 ^b

¹ Média ± Desvio Padrão

² Médias seguidas de letras iguais nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey, em nível de significância de 5% (p<0,05)

Gráfico 6 – Aparência e cor do arroz cru (*Oryza sativa* L.) não irradiado e irradiado

Observa-se na Tabela 8 que o processo de irradiação influenciou nos parâmetros de aparência e cor para o arroz cru nas doses de 3,0 kGy e 5,0 kGy.

As amostras de arroz não irradiadas e com dose de 0,5 kGy e 1,0 kGy obtiveram médias acima de 6, e não apresentaram diferença significativa ao nível de $p < 0,05$, já as doses de 3,0 kGy e 5,0 kGy tiveram médias 5,95 e 5,23 respectivamente e foram estatisticamente diferentes das demais doses e o controle.

O mesmo pode ser observado com relação a cor das amostras do arroz cru, o controle e as doses de 0,5 kGy e 1,0 kGy, não apresentaram diferença estatística e a média apresentou-se entre 6,50 a 7,03. Com as doses de 3,0 kGy e 5,0 kGy houve diferença estatística e a média foi de 5,40 e 4,75, sendo que a dose de 5,0 kGy não alcançou o limite de aceitação (média 5) para o parâmetro cor da amostra crua.

Na Tabela 9, podem ser observadas as médias da avaliação dos atributos sensoriais (aparência, aroma, textura, cor e sabor) do arroz cozido tratado e não tratado por irradiação.

Tabela 9 - Média das notas conferidas aos atributos avaliados nos grãos de arroz cozido tratados por irradiação e controle

ATRIBUTOS	TRATAMENTOS	MÉDIAS
APARÊNCIA	0 kGy	6,20±2,0 ^{1a2}
	0,5 kGy	6,15±1,9 ^a
	1 kGy	6,90±1,3 ^a
	3 kGy	6,03±1,6 ^a
	5 kGy	5,03±1,9 ^b
AROMA	0 kGy	6,08±1,9 ^{ab}
	0,5 kGy	6,63±1,6 ^a
	1 kGy	6,60±1,5 ^a
	3 kGy	5,73±2,1 ^b
	5 kGy	4,18±2,0 ^c
TEXTURA	0 kGy	5,60±1,9 ^b
	0,5 kGy	5,83±1,8 ^b
	1 kGy	7,15±1,8 ^a
	3 kGy	6,03±2,0 ^b
	5 kGy	4,73±2,1 ^c
COR	0 kGy	5,68±2,0 ^b
	0,5 kGy	6,13±1,8 ^b
	1 kGy	7,75±1,5 ^a
	3 kGy	6,38±1,7 ^b
	5 kGy	4,78±1,8 ^c
SABOR	0 kGy	6,08±2,0 ^b
	0,5 kGy	5,90±1,5 ^b
	1 kGy	7,20±1,5 ^a
	3 kGy	5,33±1,9 ^{bc}
	5 kGy	4,48±1,9 ^c

¹ Média ± Desvio Padrão

² Médias seguidas de letras iguais nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey, em nível de significância de 5% (p<0,05)

Gráfico 7 – Aparência, Sabor, Cor, Textura e Aroma do arroz cozido (*Oryza sativa* L.) não irradiado e irradiado

Observa-se na Tabela 9 que o processo de irradiação influenciou nos parâmetros de aparência, aroma, textura, cor e sabor do arroz cozido. A textura, a cor e o sabor obtiveram médias maiores na dose de 1,0 kGy e foram estatisticamente diferentes do controle e das demais doses de irradiação (0,5; 3 e 5 kGy).

Sirisoontaralak e Noomhorn (2006), observaram que a satisfação dos provadores com a aparência, cor, odor, textura e sabor das amostras de arroz cozido foram diminuídas com o aumento das doses de irradiação. Neste trabalho verificamos que a dose de 5,0 kGy obteve as menores médias, sendo que causou menor satisfação aos provadores em todos os parâmetros analisados, mas discordando do trabalho citado, pois a média da dose de 1,0 kGy, superou a média do arroz cozido não irradiado.

- Aparência

Foi detectado diferença estatística significativa ($p < 0,05$) apenas no tratamento de 5 kGy quanto a aparência, sendo que nesse caso 67,5 %, 72,5 % e 82,5 % dos provadores declararam gostar (ligeiramente a muitíssimo) da aparência das amostras de arroz não irradiada e irradiadas com doses de 0,5 e 1,0 kGy, respectivamente (Tabela 10).

Lee (2007), reporta que embora a irradiação pode melhorar a vida de prateleira do arroz cozido, sua aplicação pode ser limitada porque os consumidores são sensíveis às mudanças das propriedades sensoriais do arroz cozido como sabor, textura e coloração depois da irradiação, isso pode ter ocorrido na dose mais alta de 5 kGy, onde neste trabalho obteve a média de 5,03.

Tabela 10 - Aceitabilidade (%) para aparência do arroz branco (*Oryza sativa* L.) irradiado e não irradiado

Escala hedônica	Tratamentos				
	NI	0,5 kGy	1 kGy	3 kGy	5 kGy
Desgostei muitíssimo	2,5	0,0	2,5	0,0	2,5
Desgostei muito	0,0	5,0	0,0	2,5	7,5
Desgostei moderadamente	5,0	10,0	0,0	2,5	5,0
Desgostei ligeiramente	20,0	2,5	5,0	12,5	30,0
Indiferente	5,0	10,0	10,0	20,0	17,5
Gostei ligeiramente	15,0	22,5	10,0	25,0	12,5
Gostei moderadamente	20,0	25,0	35,0	12,5	15,0
Gostei muito	25,0	20,0	25,0	22,5	7,5
Gostei muitíssimo	7,5	5,0	2,5	2,5	2,5

- Aroma

As amostras de arroz irradiadas com doses de 3,0 e 5,0kGy diferiram estatisticamente ($p < 0,05$) das demais doses (0,5 e 1,0kGy) e do controle, sendo que os provadores 67,5 % e 72,5% declararam gostar (ligeiramente a muitíssimo) do aroma das amostras irradiadas com 0,5 e 1,0 kGy. Nesse caso 57,5% dos provadores

declararam não gostar (ligeiramente a muitíssimo) do aroma das amostras irradiadas com dose de 5,0 kGy (Tabela 11).

A irradiação contribuiu com as mudanças da cor e aroma do arroz cozido. Dose satisfatória máxima a ser utilizada para não afetar o aroma seria de 0,5 kGy (SIRISOONTARALAK; NOOMHORN, 2006). Neste mesmo estudo, os provadores puderam descobrir mudanças no aroma do arroz claramente a baixas doses.

Os provadores declararam que as doses mais altas utilizadas neste trabalho (3,0 e 5,0 kGy) foram que mais prejudicaram o aroma do arroz cozido, sendo que a dose de 5,0 kGy não atingiu a média de aceitação (média 5), apresentando o valor de 4,18, sendo a menor média encontrada em todos os atributos avaliados.

Tabela 11 - Aceitabilidade (%) para aroma do arroz branco (*Oryza sativa* L.) irradiado e não irradiado

Escala hedônica	Tratamentos				
	NI	0,5 kGy	1 kGy	3 kGy	5 kGy
Desgostei muitíssimo	0,0	0,0	0,0	2,5	10,0
Desgostei muito	5,0	0,0	0,0	7,5	12,5
Desgostei moderadamente	2,5	2,5	2,5	7,5	17,5
Desgostei ligeiramente	15,0	5,0	5,0	7,5	17,5
Indiferente	22,5	25,0	20,0	17,5	17,5
Gostei ligeiramente	5,0	7,5	17,5	15,0	7,5
Gostei moderadamente	17,5	22,5	22,5	17,5	12,5
Gostei muito	27,5	30,0	22,5	22,5	5,0
Gostei muitíssimo	5,0	7,5	10,0	2,5	0,0

- Textura

A amostra de arroz irradiada com dose de 1 kGy, apresentou a maior média de 7,15 e apresentou diferença estatística das demais doses e do controle, sendo que 82,5% dos provadores declararam gostar (ligeiramente a muitíssimo) da textura da amostra irradiada com 1,0 kGy.

As amostras controle e as irradiadas com 0,5 e 3 kGy, obtiveram médias entre 5,60 e 6,03 não diferindo estatisticamente entre si. Entre 50% e 60% dos provadores declaram gostar (ligeiramente a muitíssimo) da textura da amostra não irradiada e

irradiadas com doses de 0,5 e 3 kGy. A amostra irradiada com a dose de 5,0 kGy, obteve a média de 4,78 não alcançando o limite de aceitação (média 5), sendo que 62,5% dos provadores declararam desgostei (ligeiramente a muitíssimo) e indiferente para a textura do arroz, não apresentando diferença estatística somente para amostra não irradiada (Tabela 12).

Sirisoontaralak e Noomhorn (2006) observaram que a textura do arroz foi significativamente mais macia com a dose acima de 0,5 kGy, isso pode ser atribuído a maior absorção de água durante o cozimento, devido a irradiação modificar os grânulos de amido, permitindo a água entrar com maior facilidade.

Tabela 12 - Aceitabilidade (%) para textura do arroz branco (*Oryza sativa* L.) irradiado e não irradiado

Escala hedônica	NI	Tratamentos			
		0,5 kGy	1 kGy	3 kGy	5 kGy
Desgostei muitíssimo	0,0	0,0	0,0	0,0	5,0
Desgostei muito	5,0	2,5	2,5	7,5	10,0
Desgostei moderadamente	7,5	12,5	5,0	5,0	20,0
Desgostei ligeiramente	22,5	7,5	2,5	10,0	10,0
Indiferente	15,0	17,5	5,0	17,5	17,5
Gostei ligeiramente	10,0	17,5	2,5	5,0	15,0
Gostei moderadamente	20,0	25,0	37,5	35,0	12,5
Gostei muito	17,5	15,0	22,5	10,0	7,5
Gostei muitíssimo	2,5	2,5	22,5	10,0	2,5

- Cor

Como para textura, a amostra de 1,0 kGy, obteve a maior média de 7,75 e apresentou diferença estatística ($p < 0,05$) das demais amostras irradiadas e não irradiada, sendo que 75% dos provadores declararam gostar (muito e muitíssimo) da cor da amostra do arroz irradiado com dose de 1,0 kGy.(Tabela 13)

As amostras controle e irradiadas com doses de 0,5 e 3,0 kGy, apresentaram médias entre 5,68 a 6,38. A dose de 5 kGy obteve a menor média de 4,78, sendo estatisticamente diferente das demais amostras.

Segundo Lee (2007), a intensidade da cor dos alimentos irradiados foi aumentando com o aumento da dose de irradiação.

Bao et al. (2005) concluíram que a irradiação de arroz para consumo humano deveria ser limitado de 2 a 4 kGy, devido ao efeito negativo na cor e aroma do arroz.

Verificamos neste experimento que para a cor do arroz cru, as doses controle, 0,5 e 1,0 kGy, não diferiram estatisticamente, concluindo que doses acima de 3,0 kGy tiveram um efeito negativo na cor do arroz irradiado. Quanto ao arroz cozido, este parâmetro foi alterado, sendo a dose de 1,0 kGy atingiu a maior média, diferindo significativamente das demais amostras, portanto para este estudo a cor da amostra irradiada com dose de 1,0 kGy obteve melhor aceitação dos provadores.

Tabela 13 - Aceitabilidade (%) para cor do arroz branco (*Oryza sativa* L.) irradiado e não irradiado

Escala hedônica	NI	Tratamentos			
		0,5 kGy	1 kGy	3 kGy	5 kGy
Desgostei muitíssimo	0,0	2,5	0,0	0,0	5,0
Desgostei muito	5,0	0,0	2,5	0,0	5,0
Desgostei moderadamente	7,5	2,5	0,0	10,0	15,0
Desgostei ligeiramente	25,0	15,0	2,5	2,5	22,5
Indiferente	10,0	17,5	5,0	15,0	10,0
Gostei ligeiramente	12,5	10,0	2,5	22,5	25,0
Gostei moderadamente	15,0	30,0	12,5	20,0	15,0
Gostei muito	20,0	17,5	42,5	22,5	0,0
Gostei muitíssimo	5,0	5,0	32,5	7,5	2,5

- Sabor

A amostra de 1,0 kGy, obteve a média de 7,20, havendo diferença estatística das demais amostras quanto ao sabor, sendo que 87,5% dos provadores declaram gostar (ligeiramente a muitíssimo) do sabor do arroz irradiado com a dose de 1,0 kGy. As amostras controle e irradiadas com 0,5 e 3 kGy não diferiram estatisticamente ($p < 0,05$), sendo que 67,5%, 70% e 55% dos provadores declaram gostar (ligeiramente a muitíssimo) do sabor do arroz não irradiado e irradiado com as doses de 0,5 e 3 kGy, respectivamente.

A amostra irradiada com a dose de 5,0 kGy, obteve a média de 4,48, sendo que 70% dos provadores declararam não gostar (ligeiramente a muitíssimo) e indiferente ao sabor do arroz irradiado com dose de 5 kGy (Tabela 14).

Segundo Sirisoontaralak e Noomhorn (2006), os provadores consideram o sabor, a aparência e a cor, os parâmetros mais importantes para avaliação sensorial. As doses de irradiação têm efeito considerável na aparência e sabor do arroz cozido. Em estudos realizados por esses autores o arroz irradiado com dose de 2 kGy apresentou diferença significativa para a aceitabilidade global do arroz, sendo que as médias obtidas para o arroz não irradiado foi de 7,47 e para o arroz irradiado com 2 kGy a média foi de 4,60.

Tabela 14 - Aceitabilidade (%) para sabor do arroz branco (*Oryza sativa* L.) irradiado e não irradiado

Escala hedônica	Tratamentos				
	NI	0,5 kGy	1 kGy	3 kGy	5 kGy
Desgostei muitíssimo	0,0	0,0	0,0	2,5	7,5
Desgostei muito	10,0	0,0	0,0	10,0	10,0
Desgostei moderadamente	0,0	10,0	2,5	5,0	10,0
Desgostei ligeiramente	10,0	12,5	7,5	12,5	22,5
Indiferente	10,0	7,5	2,5	15,0	20,0
Gostei ligeiramente	15,0	25,0	12,5	22,5	17,5
Gostei moderadamente	22,5	37,5	22,5	27,5	5,0
Gostei muito	20,0	7,5	35,0	2,5	7,5
Gostei muitíssimo	10,0	0,0	17,5	2,5	0,0

2.4.8 Cor instrumental

A Tabela 15 mostra os parâmetros de cor L, a*, b*, c* e H° em arroz polido (*Oryza sativa* L.) irradiado e não irradiado.

Tabela 15 – Cor instrumental em arroz (*Oryza sativa* L.) cru irradiado e não irradiado

TRATAMENTOS	L	a*	b*	Croma	H°
0 kGy	67,93±0,6 ^{1a2}	0,9±0,0 ^c	9,96±0,6 ^a	10,0±0,6 ^a	95,17±0,3 ^a
0,5 kGy	70,46±2,05 ^a	1,0±0,1 ^c	10,2±0,7 ^b	10,25±0,8 ^b	95,59±0,2 ^a
1 kGy	71,30±1,04 ^a	1,06±0,15 ^{bc}	11,3±0,6 ^{bc}	11,38±0,6 ^{bc}	95,39±0,9 ^a
3 kGy	69,50±1,2 ^a	1,33±0,06 ^{ab}	12,4±0,2 ^c	12,54±0,2 ^c	96,10±0,2 ^a
5 kGy	70,30±1,6 ^a	1,60±0,2 ^a	13,9±0,3 ^c	14,05±0,3 ^c	96,53±0,8 ^a

¹ Média ± Desvio Padrão

² Médias seguidas de letras iguais nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey, em nível de significância de 5% (p<0,05)

Foram encontrados valores de 67,93 a 71,30 para L; 0,9 a 1,60 para a^* ; 9,96 a 13,9 para b^* ; 10,0 a 14,05 para croma e 95,17 a 96,53 para H° . Foi observada coloração inicial mais amarelada para o arroz irradiado com as doses de 3,0 e 5,0 kGy (Figura 1). Podemos verificar que na análise sensorial do arroz cru, houve diferença estatística para as amostras de arroz irradiadas com doses de 3,0 e 5,0 kGy, quando comparadas com o controle e com as amostras irradiadas com doses de 0,5 e 1,0 kGy.

A cor é um importante parâmetro para a determinação da qualidade do arroz, devido à preferência do consumidor.

No caso deste experimento, observa-se na Tabela 15, que o valor expressa a luminosidade da amostra e varia de 0 a 100, sendo que, quanto mais próximo de 100, mais clara é a amostra, e quanto mais distante, mais escura, não havendo diferença significativa da luminosidade das amostras submetidas a irradiação.

Com os valores b^* que indicando os parâmetros amarelos (+), observou que houve diferença estatística entre as amostras variando de 9,96 para a amostra não irradiada a 13,90 para dose de 5 kGy, que segundo estudos realizados por Sirisoontarakul e Noomhorn (2006) o arroz muda a cor de branco cremoso para amarelado como o aumento das doses de irradiação, sendo que até mesmo com uma baixa dose 0,2 kGy, já ocorreram a mudança da cor. Resultados encontrados neste mesmo trabalho mostram que a amostra de arroz não irradiada apresentava um valor b^* de 9,72 e para a amostra irradiada com dose de 2 kGy um valor de 14,66. Estas observações podem ser explicadas por desarranjo de glicosídeo e acoplamentos de peptídeo ocorridos durante irradiação. Produtos de desarranjo como carbono e combinações aminos reagem (reação de Maillard). Outra causa provável de amarelar o arroz irradiado é melanoidinas formadas devido a oxidação de fenóis (Roy et al., 1991)

Segundo Lee (2007) a irradiação gama produz radicais livres e produtos de radiólise de açúcar e glicídeos. Estes produtos e os radicais livres são capazes de se condensar e produzir produtos coloridos durante o período de pós irradiação.

Quanto aos valores de ângulo, que segundo McGuire (1992) valores de ângulo de cor mais distantes de 90° representam colorações mais verdes, e quanto mais próximas a 90° , mais amarelas são as amostras, observamos que não houve diferença significativa entre as amostras que foram tratadas com irradiação e não irradiada. O

croma define a intensidade da cor, valores próximos a zero para cores neutras e ao redor de 60 para cores vividas, sendo valores maiores de croma significam maior intensidade da cor (McGUIRE, 1992). Observamos que as amostras foram estatisticamente diferentes, sendo a amostra controle apresentou o menor resultado 10,0 e as doses de 0,5 e 1,0 kGy não apresentaram diferença estatística, tendo resultados de 10,25 e 10,38, respectivamente. As amostras com 3,0 e 5,0 kGy foram as medias maiores apresentando os valores de 12,54 e 14,05.

Figura 8 – Arroz (*Oryza sativa* L.) cru irradiado e controle

Figura 9 – Arroz (*Oryza sativa* L.) cozido irradiado e controle

3 CONCLUSÕES

O uso da radiação gama, não afetou o rendimento do arroz após o beneficiamento.

As doses de 0,5 e 1,0 kGy foram efetivas no controle do inseto (*Sitophilus oryzae* L.) no arroz.

As amostras irradiadas não alteraram a composição centesimal, no arroz cru e cozido.

O teor de amilose aparente não foi significativamente afetado pela irradiação, somente foi observada redução numérica em seu teor.

O teste sensorial do arroz cru para aparência e cor, obteve as menores médias nas doses de 3,0 e 5,0 kGy.

No teste sensorial do arroz cozido a dose de 1,0 kGy, foi que obteve melhores médias, e melhor aceitação pelos provadores. A dose de 5,0 kGy foi a dose que sofreu maior rejeição na análise sensorial.

As propriedades de pasta sofreram modificações significativas com o processo de irradiação. Os perfis e valores viscoamilográficos dos amidos analisados foram substancialmente alterados com o tratamento, havendo redução na temperatura de pasta, principalmente nas doses de 1,0; 3,0 e 5,0 kGy, diminuindo o pico de viscosidade, viscosidade final e tendência de retrogradação proporcional ao aumento das doses.

REFERÊNCIAS

ANZALDUA-MORALES, A. **La evaluación sensorial de los alimentos en la teoria y la práctica**. Zaragoza: Acribia, 1994. 198p.

ARBOGAST, R.T. Implications of spatial distribution of insect populations in storage ecosystems. **Environmental Entomology**, College Park, v.27, p. 202-216, 1998.

ARRUDA, F. L. A irradiação de alimentos no Brasil. **NOTESALQ**, Piracicaba, v.7, n.7, p.4, 1999.

ARTHUR, V.; MANTELATO, M.A.; WALDER, J.M.M.; DOMARCO, R.E. Influência do arroz irradiado na longevidade e reprodução de *Sitophilus oryzae* (L., 1763) (Col., Curculionidae). **Energia Nuclear na Agricultura**. Piracicaba, v. 11, n. 1 p. 34-41, 1990.

ARTHUR, V. Controle de insetos e pragas por radiações ionizantes. **Biológico**. São Paulo, v. 59, n.1, p. 77-79, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Análise sensorial dos alimentos e bebidas** – Terminologia – NBR 12806. São Paulo, 1993.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS - AOAC. **Official methods of analysis of the association of analitical chemists**. 18th ed. Arlington, 2006. 1141p.

BAO, J.; AO, Z.; JANE, J. Characterization of Physical Properties of Flour and Starch Obtained from Gamma-Irradiated White Rice. **Starch/Starke**, Weinheim, v. 57, p. 480-487, 2000.

BARBER, R.S. Milled rice and changes during storage. **Rice chemistry and technology**, Minnesota, v.20, p.215-263, 1972.

BILIADERIS, C. G. The structure and interactions of starch with food. **Canadian Journal of Physiology and Pharmacology**, Ottawa, v. 69, p. 60-78, 1991.

BOBBIO, P.A.; BOBBIO, F.O. **Química de processamento de alimentos**. Campinas: Fundação Cargill, 1984. 232 p.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Portaria no. 269 de 17 de novembro de 1988. Dispõe sobre o regulamento técnico de identidade, qualidade, embalagem e apresentação do arroz. **Diário Oficial da União**, Brasília. Disponível em: <<http://extranet.agricultura.gov.br>>. Acesso em: 7 jul. 2006a.

BRASIL.Ministério da Saúde. Agencia Nacional da Vigilância Sanitária. Resolução - RDC Nº 21, de 26 de Janeiro de 2001. Dispõe para o regulamento técnico para irradiação de alimentos. **Diário Oficial da União**, Brasília. Disponível em: <http://anvisa.gov.br/legis/index_ato.htm>. Acesso em: 13 jan. 2006b.

CAMPOS, T. B.; BRITAN F. A. Avaliação experimental de prejuízos ocasionados por *Sitophilus zeamais* em milho ensacado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENTOMOLOGIA, Maceió, 1976. **Resumos**. Maceió: SEB, 1976. 121p.

COMCIÊNCIA. Disponível em: <<http://www.comciencia.br>> . Acesso em: 15 ago. 2004.

COMPUSENSE INC. **Compunsence five**. São Paulo, 1986-1998. 1 CD-ROM.

CUNEO, F.; FARFAN, J.A.; CARRARO, F. Distribuição dos fitatos em farelo de arroz estabilizado e tratado com fitase exógena. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.20, n.1, 2000. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0101-20612000000100018>. Acesso em: 14 fev. 2007.

DUTCOSKY, S.D. **Análise sensorial de alimentos**. Curitiba: Editora Universitária Champagnat, 1996. 122 p.

ELIAS,M.C.; CONRAD, V.J.D.; AOSANI, E.; OLIVEIRA,M. Arroz : gerenciamento operacional define a qualidade. **Seed News**, Pelotas, v.7, n.4, p.12-14, 2003.

EMBRAPA. Disponível em: <<http://www.cnpaf.embrapa.br>>. Acesso em: 12 ago. 2004.

FAO. **World aquaculture production** - statistic. Disponível em: <<ftp.fao.org/fi/stat/summary/a-1.pdf>>. Acesso em: 18 jul. 2004.

FOOD AND DRUG ADMINISTRATION. **Food irradiation**: the treatment of foods with ionizing radiation. Disponível em: A:\FDA\Federal%20Register%2062%20FR%207834%20Februry%20199Processingand HandlingofFood.htm. Acesso em: 18 set. 2004.

FERREIRA, E. **Manual de identificação de pragas do arroz**. Santo Antonio de Goiás: Embrapa, 1998. 110p.

FONTES, L.S; ARTHUR, V. Efeitos da radiação gama do Cobalto-60 em ovos de *Tribolium castaneum* (Herbst., 1797) (Coleoptera: Tenebrionidae). **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.51, n.3, p.8-11, 1994.

FRANCO, G. **Tabela de composição química dos alimentos**. 9.ed. São Paulo: Atheneu, 2001. 307p.

FNP CONSULTORIA & COMÉRCIO. Alimentos irradiados para evitar perdas e melhorar perdas e melhorar qualidade. In:_____. **Agrianual 2001**: Anuário da Agricultura brasileira. São Paulo, 2001. p. 34-35.

GALLANT, D.J.; BOUCHET, B.; BADWIN, P.M. Microscopy of starch: evidence of a new level of granule organization. **Carbohydrate Polymers**, Barking, v. 32, p. 177-191, 1997.

GALLO, D.; NAKANO, O.; SILVEIRA NETO, S.; CARVALHO, R. P. L.; BATISTA, G.C.; BERTI FILHO, E.; PARRA, J. R. P.; ZUCCHI, R. A.; ALVES, S. B.; VENDRAMIN, J. D. **Manual de entomologia agrícola**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1988. 649p.

GOMES, A.S.; MAGALHÃES JUNIOR, A.M. **Arroz irrigado no sul do Brasil**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2004. 900p.

GONZALEZ, L.; LIVORE, A.; PONS, B. Physico-chemical and cooking characteristics of some rice varieties. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, Curitiba v. 47, n. 1, 2004. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1516-89132004000100010&lng=pt&nrm=iso&tlng=en. Acesso em: 14 fev. 2007.

GRYNSPAN, F.; CHERYAN, M. Phytate-calcium interaction with soy protein. **Journal of the American Oil Chemists Society**, Champaign, v.66, n.1, p.93-97, 1989.

GROPPO, G. A. **Efeitos da Radiação gama do cobalto-60 na degradação de inseticidas aplicados em arroz e feijão armazenados**. 1988. 55p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura ,Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1988.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. IBGE. **Estudo nacional da despesa familiar**: tabela de composição de alimentos. 5 ed. Rio de Janeiro: Varela, 1999. 137p.

_____. Disponível em: <<http://www1.ibge.gov.br>>. Acesso em: 12 mar. 2007

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **Norme Internacionale**: Riz-determination de la teneur en amylose. Geneve, 1987. ISO 6647.

KAIMOTO, A. M; FERREIRA, S. M.R. Perfil da qualidade do arroz parboilizado adquirido num sistema de alimentação coletiva. **Higiene Alimentar**, São Paulo, v. 15, p. 79-89. 2001.

LEE, J. et al. The effect of irradiation temperature on the non-enzymatic browning reaction in cooked rice. **Radiation Physics and Chemistry**, Oxford, v. 76 p.886–892, 2007.

LII, C.; TSAI, M.; TSENG, K. Effect of Amylose Content on the Rheological Property of Rice Starch. **Cereal Chemistry**, St Paul, v.73, n.4, p.415-420,1996.

LORINI, I. **Manual técnico para o manejo integrado de pragas de grãos de cereais armazenados**. Passo Fundo: Embrapa, 2003. 80 p.

MANCO, E.A.C. **Efeito da radiação gama sobre inseticidas de grãos e produtos armazenados**. 1987. 63 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade São Paulo, Piracicaba, 1987.

McGUIRE, R.G. Reporting of objective color measurements. **HortScience**, Alexandria, v. 27, p. 1254-1255, 1992.

MICROSOFT. **Microsoft Excel 2000 Professional**. São Paulo, 2000. 1 CD-ROM.

MINOLTA. **Precise color communication**: color control from feeling to instrumentation. Japão, 1997. 49p.

MOINO, A. Efeito de *Beauveria bassiana* sobre o desenvolvimento de *Sitophilus zeamais*. **Manejo Ecológico de Pragas**, Turrialba, n. 50, p. 51-54, 1998.

NASCIMENTO, L.M. **Efeito da radiação gama (⁶⁰Co) nas propriedades físico-químicas e sensoriais de feijões envelhecidos (*Phaseolus vulgaris*)**. 1992. 135 p. Tese (Doutorado em Ciências) – Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Universidade São Paulo, São Paulo, 1992.

NEWPORT SCIENTIFIC. **Operation manual for series 4:** instructions manual. Warriewood , 1995.

OLIVEIRA, I. B., SABATO, S. F. Dissemination of the food irradiation of the food irradiation process on different opportunities in Brazil. **Radiation Physics and Chemistry**, Oxford, v. 71, p. 493-497, 2000.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE (OMS). **Food irradiation:** A technique for preserving and improving the safety of food. Geneva: OMS, 1988. 84p.

ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD. **Inocuidad e idoneidad nutricional de los alimentos irradiados.** Ginebra: OMS, 1995. 172 p.

PARIZZI, F.C. **Avaliação da qualidade do arroz polido durante o armazenamento.** 1993. 64p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1993.

PARLAMENTO EUROPEU - COMISSÃO DO MEIO AMBIENTE, DA SAÚDE PÚBLICA E DA POLÍTICA DO CONSUMIDOR. - Comissão Relativa a Alimentos e Ingredientes Alimentares Autorizados para Tratamento por Radiação Ionizante na Comunidade Européia. Disponível em: www.europarl.eu.int/meedocs/commettees/envi/20021104/470306pt.pdf. Acesso em: 7 jul. 2004.

PEREIRA, J. **Alterações na qualidade tecnológica de grãos de arroz (*Oryza Sativa* L.) durante o armazenamento.** 1996. 107 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1996.

PREVETT, P.F. Storage of Paddy and Rice. **Tropical Stored Products Information.** London, v.22, p. 35-49, 1971.

PUZZI, D. **Abastecimento e armazenagem de grãos**. Campinas: Icea, 1986. 603p.

RADIOLOGIA NUCLEAR Disponível em: <<http://www.nuclear2.000.hpg.ig.com.br>>. Acesso em: 17 jun. 2004.

ROY M.K.; GHOSH S.K; CHATTERJEE S.R. Gamma-irradiation of rice grains. **Journal of Food Science and Technology**, Oxford, v. 28, p. 337-340, 1991.

SAS Institute. SAS user's guide: statistics. **Version 8.0**. Cary: **SAS**, 1999.

SALUNKHE, D.K.; CHAVAN, J. K.; KADAN, S.S. Drying and storage of cereal grains. In: SALUNKHE, D.K. **Postharvest biotechnology of cereals**. Boca Raton: CRC Press, p. 167-89, 1985.

SATIN, M. **La irradiación de los alimentos**. Zaragoza: Acribia, 1997. 175p.

SARTORI, M. R.; PACHECO, I.A.; IADEROZA, M.; TAYLOR, R.W.D. Ocorrência e especificidade de resistência ao inseticida malation em insetos-pragas de grãos armazenados no Estado de São Paulo. **Coletânea do Instituto de Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 20, n. 2. p. 94-209, 1990.

SENGE, J.; MORERE, J.L.; FERRADINI, C. Effect of food preirradiation on the fecundity of two insects: melay bugs *Pseudoulacaspis pentagona* Targ. And Indian meal moth *Plodia interpunctella*. **Radiation Research**, New York, v. 45, p. 210-215, 1971.

SIRISOONTARALAK, P.; NOOMHORM, A. Changes to physicochemical properties and aroma of irradiated rice. **Journal of Stored Products Research**, Oxford, v.42 n.3, p. 264-276, 2006.

STONE, H.; SIDEL, J.L. **Sensory evaluation practices**. New York, Academic Press, 1985. 311 p.

SUNG, W. Effect of gamma irradiation on rice and its food products. **Radiation Physics and Chemistry**, Oxford v.73 p. 224–228, 2005.

TAIPINA, M.S.; FONTES, M.A.S; COHEN, V.H.; MASTRO, N.L. . Novas tecnologias: Alimentos funcionais e a irradiação de alimentos. **Higiene Alimentar**, São Paulo, v.17, n. 112, p. 31-34, 2003.

THOMAS, D.J.; ATWELL, W. Practical for guides the food industry-starch. St Paul: Eagan Press, 1999. 94p.

UNIVERSIDADE DE CAMPINAS. UNICAMP. **Tabela brasileira de composição de alimentos**. Disponível em <<http://www.unicamp.br/nepa/taco>>. Acesso em: 16 ago. 2006.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. Faculdade de Ciências Farmacêuticas. **Tabela de composição química de alimentos**. Disponível em: <<http://fcf.usp.br>>. Acesso em: 16 ago. 2005..

URBAIN, W.M. Biological effects of ionizing radiation. In:_____. **Food irradiation**. Orlando: Academic Press, 1986. chap.4, p. 83-117.

VERRUMA-BERNARDI, M.R.; SPOTO, M.H.F.Estudo microbiológico e físico-químico do suco de laranja fresco irradiado. **Higiene Alimentar**, São Paulo, v.16, p. 76-79, 2002.

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

VIEIRA, F. C. **Efeito do tratamento com calor e baixa umidade sobre características físicas e funcionais dos amidos de mandioca – salsa (*Arracacia xanthorrhiza*), de batata – doce (*Ipomoea batatas*) e do gengibre (*Zingiber officinale*)**. 2004. 122p. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Ciência e Tecnologia de Alimentos, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

VILLAVICENCIO, A.L.C.H.; MANCINI-FILHO, J.; DELINCÉE, H.; BOGNÁR, A. Effect of gamma irradiation on the thiamine, riboflavin and vitamin B₆ content in two varieties of brazilian beans. **Radiation Physics and Chemistry**, Oxford v.57, p.299-303, 2000.

WEBB, B.D. Criteria of rice quality in the United States. In: JULIANO, B.O. **Rice chemistry and technology**. Minnesota: The American Association of Cereal Chemists, 1985. p. 403-442.

WHISTLER, R. L.; DANIEL, J. R. Carbohidratos. In: FENNEMA, O. R. (dir) **Química de los alimentos**. Zaragoza: Acribia, 1993. p. 81-156.

WIENDL, F. M.; ARTHUR, V., SGRILLO, R.B.; DOMARCO, R.E.; TORNISIELO, V.L.; PACHECO, J.M.; WALDER, J.M.M. Mortalidade e reprodução de *Sitophilus zeamais* Mots. Em arroz irradiado. **Boletim Científico**, Piracicaba, n.15, p. 19, 1974.

WU D.; SHU Q.; WANG Z.; XIA Y.; Effect of gamma irradiation on starch viscosity and physicochemical properties of different rice. **Radiation Physics and Chemistry**, Oxford, v. 65, p.29-86, 2002.

Y. YU; J. WANG. Effect of γ -ray irradiation on starch granule structure and physicochemical properties of rice. **Food Research International**, Amsterdam, v.40, p.297-303, 2007.

ZOBEL, H.F.; YOUNG, S.N.; ROCCA, L.A. Starch gelatinization: an x-ray diffraction study. **Cereal Chemistry**, St Paul, v.65, n.6, p. 443-446, 1988.

ZULETA, A.; DYNER, L.; SAMBUCETTI, M.E.; FRANCISCO, A. Effect of gamma irradiation on the functional and nutritive properties of rice flours from different cultivars. **Cereal Chemistry**, St Paul, v.83, n.1, p. 76-79, 2006.