

**EFEITO DA IRRADIAÇÃO GAMA (Co^{60}) NA
QUALIDADE E SEGURANÇA DO ARROZ**

ÍVINA CATARINA DE OLIVEIRA GUIMARÃES

2009

ÍVINA CATARINA DE OLIVEIRA GUIMARÃES

**EFEITO DA IRRADIAÇÃO GAMA (Co^{60}) NA QUALIDADE E
SEGURANÇA DO ARROZ**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Mestrado em Ciência dos Alimentos para obtenção do título de “Mestre”.

Orientadora

Profa. Dra. Joelma Pereira

LAVRAS
MINAS GERAIS - BRASIL

2009

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da
Biblioteca Central da UFLA**

Guimarães, Ívina Catarina de Oliveira.

Efeito da irradiação gama (Co^{60}) na qualidade e segurança do arroz / Ívina Catarina de Oliveira Guimarães. – Lavras : UFLA, 2009.

103 p. : il.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2009.

Orientador: Joelma Pereira.

Bibliografia.

1. Arroz. 2. Fungos toxigênicos. 3. Irradiação de alimentos. 4. Propriedades físico-químicas. 5. Qualidade tecnológica. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 664.0288

ÍVINA CATARINA DE OLIVEIRA GUIMARÃES

**EFEITO DA IRRADIAÇÃO GAMA (Co^{60}) NA QUALIDADE E
SEGURANÇA DO ARROZ**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de
Lavras, como parte das exigências do Curso de
Mestrado em Ciência dos Alimentos para obtenção
do título de “Mestre”.

APROVADA em 18 de fevereiro de 2009

Dra. Vanda Maria de Oliveira Cornélio

EPAMIG/CTSM

Dr. Luís Roberto Batista

UFLA

Dr. Alexandre Soares Leal

CNEN/CDTN

Profª. Dra. Joelma Pereira
UFLA
(Orientadora)

LAVRAS
MINAS GERAIS-BRASIL

*Aos meus idolatráveis pais, Marcos e Neusa,
e minha querida irmã, Rísia,
exemplos de vida, amor e felicidade
meus melhores amigos, a quem devo tudo que hoje sou,*

DEDICO

*A Deus,
pelo dom da vida, sabedoria
e por sempre iluminar meu caminho,*

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela oportunidade de concretizar mais um sonho!!!

À minha família, por tantos ensinamentos importantes, como o sentido do amor e a perseverança feroz frente às dificuldades;

Ao Rodolpho, pela fonte incessante de amor e alegria nesse caminho, chamado vida;

A UFPA, em especial ao Departamento de Ciência dos Alimentos, pela oportunidade do curso de mestrado e a todos os professores, que com carinho e atenção, se fizeram ponte para a busca do conhecimento, em especial ao Prof. Carlos Pimenta e ao Prof. Luís Contado, pela amizade e incentivo;

Ao CNPQ, pela concessão de bolsa e a EPAMIG pelo auxílio das análises;

Ao SINDARROZ/MG, na pessoa de Jorge Tadeu Araújo Meirelles, pelo apoio e concessão de matéria-prima para realização da pesquisa;

Ao CDTN, por propiciar a irradiação do arroz, e aos funcionários Timóteo e Perpétua, pelo carinho e momentos de descontração. Agradeço em especial ao Dr. Alexandre S. Leal, pela atenção e participação imprescindível nas diretrizes e execução deste trabalho;

A FUNED, representada na pessoa do Dr. Guilherme Prado, pela oportunidade de realização de estágio em prof da otimização desta pesquisa;

Ao Departamento de Física da UFMG, na pessoa de Klaus Krambrock; à GEMACON, na pessoa de Erick Ornellas Neves; à UFV, em especial ao Prof. Maurício Fontes e ao laboratorista Francisco; ao Departamento de Engenharia Florestal da UFPA, em especial ao Prof. Tarcísio e o doutorando Rogério, e ao Departamento de Química da UFPA, na pessoa do Prof. Mário Guerreiro e Prof^a Malu, pela oportunidade e contribuição inenarrável na realização das análises;

*À minha exímia orientadora, **Joelma Pereira**, que foi como um anjo e me ensinou tantas coisas das quais irei lembrar por toda a vida. Uma pessoa maravilhosa, amiga, digna de profunda admiração, que demonstra amor pela pesquisa e que serve de exemplo e estímulo para todos os seguidores do mundo científico;*

*Aos meus estimados Co-orientadores **Vanda Maria** e **Luís Roberto**, pela amizade infindável, e pela inestimável contribuição no direcionamento do caminho da pesquisa e do saber;*

*Aos queridos amigos pós-graduandos e estagiários: **Karla, Adriana, Lili, Sandra, Nat, Marcélia, Ana Maria, Lud, Manu, Marcelo Pereira, Camila, Helo, Nélío, Ingrid, Daiane, Elisângela, Fausto, Fernanda, Simone, Isabella, Jaciara, Júlia, Lucineide, Flávio, Rosilane, Guilherme, Ana Paula, Fabíola e Rodrigo Pedroso**, pela contribuição na pesquisa, troca de experiências e, sobretudo, a amizade;*

*A sempre amiga **Roseane** e ao **João Almir**, por tantos momentos de amizade, apoio corroborado, pelas lições ímpares de ser humano, ilustradas pelo nobre exemplo de postura e atitude diante da vida, do conhecimento e das pessoas.*

*A amiga **Jany**, pela sutileza com que ajuda a todos ao redor, e por ter um coração tão grande que emana alegria por onde passa.*

*Ao querido **Eric**, que com presteza, que com presteza, solicitude e paciência, muito contribuiu para as análises estatísticas deste trabalho.*

*Aos funcionários do DCA, **Tânia, Tina, Rafaella, Talita, Sandra, Lucilene, Sr. Miguel, Cleusa, Eliane, Cipriano** e todo o pessoal da limpeza, funcionários da EPAMIG, **Cláudio, Vicentina e Dr. João Roberto**, e à **Ângela** (Lab. de Patologia de Sementes), pelo convívio prazeroso e disporem de boa vontade, no escasso tempo, à colaboração nesta pesquisa,*

Enfim, e a todos que aqui não foram citados, mas que estão guardados em meu coração, minha eterna gratidão!!!

*“A verdadeira sabedoria consiste em saber
como aumentar o bem-estar do mundo.”*

(Benjamin Franklin)

SUMÁRIO

RESUMO GERAL	i
GENERAL ABSTRACT	ii
CAPÍTULO 1.....	1
1 Introdução Geral	2
2 Referencial Teórico.....	5
2.1 Arroz: história, importância e aspectos relevantes.....	5
2.2 Qualidade do arroz.....	6
2.2.1 Aspectos nutricionais.....	7
2.2.2 Aspectos tecnológicos.....	12
2.3 Fungos toxigênicos e micotoxinas: um impasse à segurança alimentar	15
2.4 Irradiação de alimentos.....	19
2.4.1 Histórico	19
2.4.2 Princípios da irradiação	21
2.4.3 Efeito da irradiação gama nos microrganismos	24
2.4.4 Irradiação ionizante versus qualidade e segurança dos alimentos	25
2.4.5 Detecção de alimentos irradiados	27
3 Referências bibliográficas.....	29
CAPÍTULO 2 Emprego da irradiação gama (Co ⁶⁰) no controle de fungos em arroz: uma alternativa à segurança alimentar.....	36
Resumo	37
Abstract.....	38
1 Introdução	39
2 Material e Métodos	41
2.1 Amostra.....	41
2.2 Processo de irradiação	41
2.2.1 Preparo das amostras	41
2.2.2 Procedimento de irradiação e acondicionamento das amostras	42
2.3 Avaliação da contaminação fúngica das amostras.....	42
2.3.1 Isolamento e quantificação dos fungos presentes no arroz.....	42
2.3.2 Identificação das espécies fúngicas presentes no arroz	43
2.4 Delineamento experimental e análise dos resultados.....	44
3 Resultados e Discussão	45
3.1 Fungos naturalmente presentes nos grãos de arroz branco polido.....	45
3.2 Espécies fúngicas identificadas no arroz branco polido submetido à irradiação gama (Co ⁶⁰).....	46
3.3 Efeito de diferentes doses de irradiação gama (Co ⁶⁰) no controle de fungos em arroz branco polido	48
3.3.1 Irradiação gama (Co ⁶⁰) versus descontaminação dos grãos de arroz.....	48

3.3.2 Efeito da irradiação gama <i>versus</i> sensibilidade fúngica	49
3.4 Doses de irradiação eficazes no controle de fungos em arroz	52
4 Conclusões	56
5 Referências bibliográficas	57
CAPÍTULO 3 Avaliação da qualidade do arroz submetido à irradiação gama (Co ⁶⁰)	60
Resumo	61
Abstract	62
1 Introdução	63
2 Material e Métodos	65
2.1 Amostra	65
2.2 Processo de irradiação	65
2.2.1 Preparo das amostras	65
2.2.2 Procedimento de irradiação e acondicionamento das amostras	65
2.3 Análises físico-químicas	66
2.3.1 Composição centesimal	66
2.3.2 pH	68
2.3.3 Acidez total titulável	68
2.4 Análises Físicas	69
2.4.1 Atividade de água	69
2.4.2 Cor	69
2.4.3 Difractometria de raio X	70
2.4.4 Ressonância paramagnética eletrônica – RPE	70
2.5 Qualidade tecnológica	71
2.6 Propriedades reológicas	73
2.7 Propriedades microestruturais	74
2.8 Delineamento experimental e análise dos resultados	74
3 Resultados e Discussão	75
3.1 Análises físico-químicas	75
3.1.1 Análise centesimal	75
3.1.2 pH e acidez total titulável	78
3.2 Análises físicas	80
3.2.1 Cor e atividade de água (a _w)	80
3.2.2 Difração de raio X	85
3.2.3 Ressonância paramagnética eletrônica – RPE	86
3.3 Teste de cocção	88
3.4 Características de pasta	91
3.5 Microscopia óptica sob luz polarizada	94
4 Conclusões	97
5 Referências Bibliográficas	98

RESUMO GERAL

GUIMARÃES, Ívina Catarina de Oliveira. **Efeito da irradiação gama (Co^{60}) na qualidade e segurança do arroz**. 2009. 103p. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG*.

O arroz, alimento presente praticamente todos os dias na alimentação humana, representa importante fonte de nutrientes necessários ao bom funcionamento do organismo. Apesar da relevância nutricional e da capacidade de atender a demandas públicas, este cereal tem composição química e cadeia produtiva susceptíveis à contaminação fúngica e à produção de micotoxinas, cujos efeitos deletérios podem ser altamente nocivos à saúde humana. Como técnica eficaz no controle de diferentes microrganismos, a irradiação ionizante desponta como uma das melhores alternativas a serem utilizadas em prol da segurança e da preservação da qualidade dos alimentos. Dessa forma, o presente trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar o efeito da irradiação gama (Co^{60}) no controle de fungos presentes no arroz, bem como na qualidade deste cereal. Por meio da técnica do blotter test e do plaqueamento direto, foram determinados os fungos presentes no arroz e o efeito da irradiação gama no controle dos mesmos. As propriedades físicas, físico-químicas, tecnológicas, reológicas e microestruturais foram utilizadas para a determinação da qualidade do arroz irradiado. Os resultados demonstraram que a utilização da irradiação gama, com doses entre 6,5kGy e 7,5kGy, reduziu significativamente a população fúngica presente no arroz e que, apesar de ter alterado parcialmente alguns dos parâmetros de qualidade avaliados, não interferiu nas suas características decisivas de aceitabilidade e consumo, visto que os valores encontrados foram semelhantes aos recomendados para qualidade do mesmo.

* Comitê orientador: Joelma Pereira – UFLA (orientadora), Vanda Maria de Oliveira Cornélio – EPAMIG (coorientadora), Luís Roberto Batista – UFLA (coorientador).

GENERAL ABSTRACT

GUIMARÃES, Ívina Catarina de Oliveira. **Effect of gamma irradiation (Co⁶⁰) in the quality and rice.** 2009. 103p. Dissertation (Master in Food Science) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, Brazil*.

The rice, this food almost every day in food, is an important source of nutrients necessary for the proper functioning of the body. Despite the nutritional importance and ability to meet public demands, it has chemical composition and grain production chain susceptible to fungal contamination and production of mycotoxins, whose deleterious effects can be highly harmful to human health. How effective technique in the control of different microorganisms, ionizing radiation to emerge as one of the best alternatives to be used for the safety and preservation of food quality. Thus, this was to evaluate the effect of gamma irradiation (Co⁶⁰) in the control of fungi present in rice, as well as the quality of this cereal. Through the technique of the blotter test and direct plating of the fungi were determined in the rice and the effect of gamma irradiation to control them. The physical, physicochemical, technological, rheological and microstructural properties were used to determine the quality of irradiated rice. The results showed that the use of gamma irradiation with doses of 6,5kGy and 7,5kGy, significantly reduced the fungal population in the rice and that despite having changed some part of the quality parameters evaluated, no decisive influence on the characteristics of the acceptability and consumption of cereals, since the values were similar to those recommended for the same quality.

* Guidance Committee: Joelma Pereira – UFLA (adviser), Vanda Maria de Oliveira Cornélio – EPAMIG (co-adviser), Luís Roberto Batista – UFLA (co-adviser).

CAPÍTULO 1

1 INTRODUÇÃO GERAL

O arroz, por ser uma cultura extremamente versátil, que se adapta a diferentes condições de solo e clima, é cultivado nos cinco continentes, sendo considerado ícone do celeiro mundial como um dos cereais mais produzidos e consumidos em todo o mundo (Gomes & Magalhães Júnior, 2004; Santos et al., 2006).

Além de alimento cultural, aceito em todas as classes sociais, o arroz é fonte primária de energia, advinda de carboidratos complexos, além de conter proteínas, fibras e micronutrientes, sendo recomendado em todas as normas e guias alimentares. Diante da sua expressiva importância, fica fácil compreender o porquê de este cereal ser apontado como a espécie de maior potencial ao combate à fome mundial.

Segundo a *World Health Organization* (WHO) e a *Food and Agriculture Organization* (FAO), o “acesso a alimentos nutricionalmente adequados e seguros é um direito de cada indivíduo” (FAO & WHO, 1992). Nesse sentido, apesar de ostentar expressiva importância na conjuntura política, econômica e sócio-cultural em vários países do mundo, o arroz tem despertado a preocupação de diversos pesquisadores, por estar vinculado à contaminação fúngica (Lima et al., 2000 e Park et al., 2004; Bianchini et al., 2003).

Embora a legislação vigente do Ministério da Saúde não estabeleça limites de fungos para o arroz (Brasil, 2001), o gerenciamento desse tipo de contaminação é muito importante. De acordo com a *International Commission on Microbiological Specifications for Foods* (ICMSF) (2000), várias espécies fúngicas toxigênicas podem produzir metabólitos secundários, dentre os quais as micotoxinas que, se ingeridas, podem repercutir em sérios efeitos deletérios à saúde humana incluindo atividade mutagênica, carcinogênica e teratogênica,

além do impacto econômico e social, devido a perdas de vidas humana e animal, despesas com tratamentos médicos e veterinários, perdas na produtividade, além da redução da disponibilidade de alimentos.

Dados disponíveis a partir de amostras de alimentos contaminados e biomarcadores humanos sugerem que a exposição crônica é preocupante nos países em desenvolvimento, com aproximadamente 4,5 bilhões de pessoas expostas cronicamente a alimentos altamente contaminados por micotoxinas, refletindo em perda de 40% do tempo de vida, em função de doenças moduladas por toxinas fúngicas (Williams et al., 2004).

Uma vez que esses biometabólitos tóxicos costumam ser termoestáveis, permanecendo no alimento mesmo após o processamento, uma abordagem preventiva é de suma importância (Klich, 2007).

Dentre os métodos tradicionais de processamento e preservação de alimentos, a tecnologia da irradiação vem ganhando mais atenção no controle de diferentes microrganismos. Caracterizada por expor o produto a uma quantidade controlada de radiação ionizante (raios gama ou X), o que implica em tempo específico de acordo com os objetivos desejáveis, a irradiação tem como vantagem em relação aos outros métodos, o fato de não elevar substancialmente a temperatura do alimento, resultando em menores perdas nutricionais e alterações do produto (Spolaore et al., 2001; Cena, 2006).

Segundo Taipina et al. (2003), os custos estimados da irradiação comercial, como tratamento, demonstraram ser competitivos com os métodos de fumigação e outros tratamentos físicos e térmicos, representando uma alternativa efetiva no controle microrganismos e técnica promissora a ser utilizada em prol da segurança alimentar, que traduziria em diminuição das despesas em saúde pública e aumento da renda aos produtores e comerciantes.

Frente ao dever das instituições governamentais, que devem primar pela qualidade e segurança dos alimentos, por interferirem diretamente na qualidade

de vida da população, o grande potencial para a ampliação do uso das técnicas de irradiação no Brasil deveria ser considerado de modo estratégico, pois abriria possibilidades de oferecer ao público consumidor uma opção de maior confiabilidade, no que diz respeito à qualidade dos alimentos. Dessa forma, por desconhecer estudos sobre o efeito da irradiação no controle de fungos em arroz e a necessidade de garantir o consumo seguro do mesmo, o presente trabalho foi realizado com o objetivo de pesquisar o efeito de diferentes doses de irradiação gama (Co^{60}) no controle de fungos presentes no arroz, bem como sua influência na qualidade deste cereal.

Os objetivos específicos foram:

- determinar os fungos presentes no arroz branco polido submetido a diferentes doses de irradiação gama (Co^{60});
- avaliar o efeito de diferentes doses de irradiação gama (Co^{60}) no controle dos fungos identificados no arroz branco polido;
- determinar a(s) dose(s) de irradiação gama capaz(es) de reduzir a população fúngica presentes no arroz branco polido;
- avaliar a qualidade do arroz branco polido submetido a diferentes doses de irradiação gama (Co^{60}) por meio das propriedades físicas, físico-químicas, tecnológicas, reológicas e microestruturais.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Arroz: história, importância e aspectos relevantes

O arroz (*Oryza sativa*) cultivado nos dias atuais é descendente de duas formas silvestres: a espécie *Oryza rufipogon*, procedente da Ásia que, por sua vez, deu origem a *Oryza sativa* e a *Oryza barthii* (*Oryza breviligulata*), oriunda da África Ocidental e a precursora da *Oryza glaberrima*. O atual gênero *Oryza* possui aproximadamente 23 espécies, dispersas espontaneamente nas regiões tropicais da Ásia, África e Américas. Já a espécie *Oryza sativa* é resultante do cruzamento de formas espontâneas variadas, segundo a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa (2007).

Acredita-se que este cereal surgiu no sudoeste asiático 5.000 a.C., tendo, posteriormente, se expandido para a Índia e para a Europa. Em meados do século III, essa cultura foi introduzida, pelos espanhóis, nos países das Américas do Sul e Central e, em 1685, chegou aos Estados Unidos da América. No Brasil, essa cultura foi introduzida pelos portugueses, nos primeiros anos após o descobrimento (Vieira & Carvalho, 1999).

O cultivo do arroz se faz em solos secos e inundados e em ambientes de baixa e alta temperatura, representados por três ecossistemas: terras altas, várzeas úmidas e irrigado por inundação. Dentre eles, o sistema de produção de arroz irrigado por inundação é o mais expressivo, representando 80% do arroz produzido no mundo, responsável por, aproximadamente, 93% da produção total (Embrapa, 2007).

Com relação à produção mundial, o arroz é cultivado nos cinco continentes, com área plantada de 150 milhões de hectares e produção anual de 600 milhões de toneladas de arroz em casca, sendo considerado um dos cereais mais produzidos e consumidos em todo o mundo (Santos et al., 2006).

O Brasil se destaca como o maior produtor de arroz da América Latina e o sexto maior produtor mundial (Embrapa, 2007). Segundo a Companhia Nacional de Abastecimento (Conab) (2009), em 2008, o país obteve um crescimento, em relação à safra de arroz de 2007, com produção de 12,2 milhões de toneladas de arroz, em 2008, contra 11 milhões de toneladas, em 2007. O consumo médio de arroz no Brasil varia de 74 a 76 kg/habitante/ano, tomando-se por base o grão em casca (Embrapa, 2007). Os maiores estados produtores são o Rio Grande do Sul e o Mato Grosso, apresentando, respectivamente, produções de 5,9 milhões e de 817 mil toneladas (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, 2007).

De acordo com a Portaria n°. 269/88 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), o arroz é classificado em grupos, subgrupos, classes e tipos. Segundo a sua forma de apresentação, é classificado em dois grupos: arroz em casca e arroz beneficiado. Dependendo das etapas do beneficiamento submetido, o arroz é ordenado em subgrupos: integral, parboilizado, parboilizado integral e polido. Segundo suas dimensões, o arroz beneficiado é distribuído em cinco classes, independente do sistema de cultivo: longo-fino, longo, médio, curto e misturado. Na classificação do arroz são considerados os grãos inteiros, quebrados e a quirera (Brasil, 1988).

Segundo Santos et al. (2006), o arroz é responsável por 20% da fonte da energia alimentar da população mundial, enquanto o trigo fornece 19% e o milho, 5%. Somente nos países asiáticos, mais de dois bilhões de habitantes têm o arroz e seus derivados como fontes de 60% a 70% das calorias ingeridas diariamente.

2.2 Qualidade do arroz

As características determinantes da qualidade de grãos de arroz refletem diretamente no valor de mercado e na aceitação do produto pelo consumidor.

Entretanto, a definição dessa qualidade torna-se complexa em função de tradições e costumes regionais.

No Brasil, as formas de preparo e consumo do arroz são razoavelmente homogêneas nas diferentes regiões. As três principais formas do produto consumidas no país, em função do processamento pós-colheita, são: o arroz integral, o arroz branco polido e o arroz parboilizado (Santos et al., 2006). Segundo os autores, o arroz branco polido constitui a forma predominantemente consumida na maioria das regiões brasileiras, seguido pelo arroz parboilizado, consumido de forma localizada, sendo mais comum no estado de Santa Catarina, onde se concentra o maior número de indústrias de parboilização e por último, o arroz integral, restringindo-se a uma pequena parcela da população com hábitos de consumo mais sofisticados e de maior poder aquisitivo.

Vários são os fatores que podem afetar a qualidade tecnológica e nutricional do arroz, dentre eles a variação fenotípica, as condições de umidade, os fertilizantes, as qualidades de solo, o processamento e o armazenamento, entre outros (Castro et al., 1999).

2.2.1 Aspectos nutricionais

O arroz é um alimento que pode ser consumido diariamente, em uma diversidade enorme de formas de preparo e associados aos mais diversos tipos de alimentos, como carnes, ovos, leguminosas e hortaliças, enriquecendo assim a qualidade nutricional da dieta.

O grão de arroz apresenta quatro camadas principais: casca, farelo (pericarpo, camada de aleurona e o embrião) e o endosperma, conforme Figura 1.

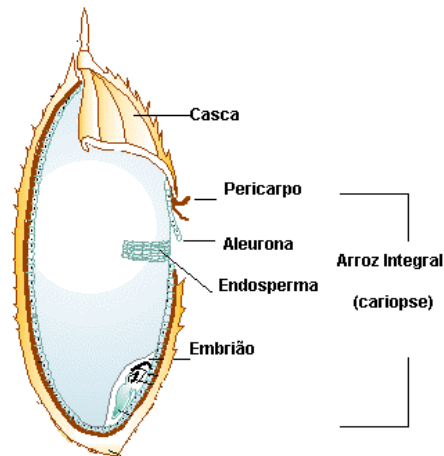


FIGURA 1 Estrutura do grão de arroz (Kennedy & Burlingame, 2003)

O farelo detém a maior concentração de proteínas, minerais e vitaminas do complexo B. No caso do arroz branco, como este é retirado pelo processo de polimento, há perdas de vitaminas, principalmente tiamina, riboflavina e niacina, minerais como o fósforo, sódio, magnésio, manganês, zinco, ferro e potássio, além de gordura, proteína e fibras totais (Juliano, 1994). Visando minimizar os efeitos negativos do polimento sobre o valor nutricional do arroz, várias técnicas de processamento do grão são empregadas atualmente. Dentre elas, a parboilização, que aumenta consideravelmente o valor nutricional do arroz devido à redistribuição de alguns componentes do grão durante o processo hidrotérmico, no qual o arroz em casca é imerso em água potável, à temperatura superior a 58°C (Vieira & Carvalho, 1999).

Atualmente, também existem os arrozes modificados geneticamente, ainda não utilizados no Brasil. Um deles é conhecido como arroz dourado, que contém β -caroteno, precursor da vitamina A e é destinado a pessoas com dieta imprópria, principalmente em países subdesenvolvidos. Outro arroz modificado

geneticamente, ainda em processo de aprovação pelo FDA, é o arroz com genes do leite materno humano, indicado para o tratamento de crianças com diarreia (Pszczola, 2003). Essas modificações vêm ampliar as vantagens em relação ao uso deste cereal.

A composição nutricional do arroz (Tabela 1) é diretamente correlacionada aos fatores ambientais e tecnológicos, desde o seu plantio até a forma de processamento final (Castro et al., 1999).

TABELA 1 Composição química (g/100g⁻¹) do arroz integral, polido e parboilizado, nas formas cru e cozido.

Componente	Integral		Polido		Parboilizado	
	Cru	Cozido	Cru	Cozido	Cru	Cozido
Água	12,00	70,30	12,00	72,60	10,30	73,40
Proteína	7,50	2,50	6,70	2,00	7,40	2,10
Lípídeo	1,90	0,60	0,40	0,10	0,30	0,10
Carboidrato	77,40	25,50	80,40	24,20	81,30	23,30
Fibra	0,90	0,30	0,30	0,10	0,20	0,10
Cinza	1,20	1,10	0,50	1,10	0,70	1,10
Cálcio (mg)	32,00	12,00	24,00	10,00	60,00	19,00
Fósforo (mg)	221,00	73,00	94,00	28,00	200,00	57,00
Potássio (mg)	214,00	70,00	92,00	28,00	150,00	43,00
Tiamina (mg)	0,34	0,09	0,07	0,02	0,44	0,11
Riboflavina (mg)	0,05	0,02	0,03	0,01	-	-
Niacina (mg)	4,70	1,40	1,60	0,40	3,50	1,20

Fonte: Castro et al. (1999)

Representando 89% a 93% da cariopse, o endosperma é o principal componente do arroz branco polido, sendo constituído por amido, proteína e outros constituintes. O amido, principal carboidrato do arroz, constitui cerca de 90% do peso seco deste cereal beneficiado, sendo composto por duas frações, a amilose e a amilopectina. A amilopectina representa de 63% a 92% de todo o amido e a amilose, de 8% a 37% (Castro et al., 1999).

O conteúdo proteico do arroz integral encontra-se na faixa de 8% a 9%, com redução neste teor à medida que são retiradas as camadas superficiais dos

grãos (Gomes & Magalhães Júnior, 2004). A proteína do arroz é constituída por diferentes frações proteicas – albumina, globulina, prolamina e glutelina. Conforme Taira (1995), a glutelina é a maior fração presente no grão (70% a 80% da proteína total).

Além da composição em aminoácidos essenciais, o valor proteico de um alimento depende da digestibilidade da proteína (Young & Pellett, 1994). Para avaliar a composição de proteínas em aminoácidos, a Organização Mundial da Saúde (OMS) (1985) preconizou, como padrão de referência, a necessidade de aminoácidos essenciais de crianças em idade pré-escolar de dois a cinco anos. É válido ressaltar que a proporção de lisina da proteína do arroz em relação ao padrão, escore de aminoácidos essenciais (EAE) é de 66% para o arroz polido e de 69% para o arroz integral, valores superiores ao do milho e do trigo (50%).

Apesar de a proteína do arroz apresentar boa digestibilidade, 88%, segundo a OMS (1985), o consumo de proteínas apenas desta fonte alimentar não supre totalmente as necessidades de aminoácidos de pré-escolares. Contudo, a mistura do arroz com feijão, tradicionalmente consumida pela população brasileira, resulta em uma proteína de melhor qualidade, alcançando valores proteicos acima de 80% (Joseph & Swanson, 1993). Isso ocorre pelo fato de os aminoácidos essenciais, lisina e metionina, limitantes nos cereais e fabáceas, respectivamente, se complementarem (Young & Pellett, 1994).

A concentração de lipídeos no arroz branco polido é muito baixa, em geral menor que 1%. O farelo de arroz, por sua vez, contém quantidades significativas, cerca de 20% (Universidade de São Paulo - USP, 2006). Dessa forma, as quantidades de lipídeos presentes no grão, sobretudo do arroz polido, são irrisórias. Apesar dos baixos teores de lipídeos do arroz, esta é rica em ácidos graxos insaturados, oleico e linoleico, além de ser isento de colesterol por ser um alimento vegetal (Castro et al., 1999).

O termo fibra alimentar inclui carboidratos não-digeríveis e lignina. De acordo com a Tabela Brasileira de Composição de Alimentos (USP, 2006), as fibras alimentares totais, para arroz polido e arroz integral, apresentam teores de 1,3% e 3,5%, respectivamente. Estes valores se justificam pelo fato de grande parte das fibras do grão de arroz se perder no processo de beneficiamento. De acordo com Mendez et al. (1995), o arroz polido contém, principalmente, hemicelulose e pectina, e o integral, hemicelulose, pectina e celulose.

Segundo Santos et al. (2006), as vitaminas do arroz mais importantes, em relação ao teor, são a tiamina (B1), a riboflavina (B2) e a niacina. Como as vitaminas estão mais concentradas no farelo, existem diferenças consideráveis em seus teores no arroz integral em relação ao arroz polido. Para Castro et al. (1999), os teores de vitaminas hidrossolúveis variam muito em função das condições de cultivo e de preparo do arroz para o consumo.

Quanto aos minerais, merecem destaque o ferro e o zinco, considerando-se o papel relevante deles na nutrição e saúde da população. Em situações como a encontrada no Brasil, onde o arroz é um alimento de consumo tradicional e generalizado e a anemia por deficiência de ferro é muito comum, o cereal e seus derivados podem constituir fonte de ferro ou, mesmo, importante veículo do mineral (Torres & Queiroz, 2000). O ferro e o zinco estão presentes no arroz em quantidades similares entre si e bem menores no grão polido. De acordo com Wyatt & Triana-Tejas (1994), apesar de o valor nutricional do arroz integral ser superior ao do polido, ele contém, em seu farelo, o ácido fítico, que reconhecidamente reduz a biodisponibilidade de minerais, como cálcio, ferro e zinco presentes no cereal.

Numerosos estudos científicos internacionais, a partir da década de 1990, têm demonstrado que os fitatos também atuam como potentes agentes antioxidantes e, por isso, hoje, são considerados compostos funcionais de grande importância para a redução de risco de diversas doenças (Gomes & Magalhães

Júnior, 2004). Nos grãos, o teor de fitatos na composição é da ordem de 4,5% no arroz, 1,5% na soja, 2,5% no feijão e, no farelo de trigo, é da ordem de 4,5% (Castro et al., 1999).

2.2.2 Aspectos tecnológicos

Segundo a American Association Of Cereal Chemists –AACC (1972), o arroz deve possuir uma qualidade de processamento e de culinária que se refere à preferência e à aceitabilidade do consumidor e também implica na qualidade aceitável como produto comestível.

Bassinello et al. (2004) afirmam que características como textura, aparência, expansão do volume, absorção de água e resistência à desintegração do arroz beneficiado durante o cozimento são determinantes na qualidade do grão do arroz e refletem diretamente no valor de mercado e na aceitação do produto pelo consumidor, muito utilizado como forma de avaliar o comportamento culinário do arroz. De acordo com Castro et al. (1999), a maioria da população prefere grãos longo-finos e translúcidos, de boa qualidade culinária, determinada pelo bom rendimento de panela, rápido cozimento e presença de grãos secos e soltos após o cozimento, permanecendo macios mesmo após o resfriamento.

Dentre os parâmetros utilizados para avaliar a qualidade culinária do arroz, se destaca o teste de cocção. Este método é muito utilizado por programas de melhoramento genético e indústrias de beneficiamento como forma de avaliar o comportamento culinário das cultivares lançadas e/ou novas linhagens em estudo (Bassinello et al., 2004).

Normalmente, o teste de cocção simula o cozimento caseiro, avaliando a capacidade do arroz em absorver água, representando o quanto ele se expande durante a cocção. Este é um fator de grande importância para o consumidor, ou seja, a perda de sólidos solúveis durante o cozimento que, quanto maior, pior

será a característica do produto, pois resultará em um arroz com grande aglutinação, além do tempo de cozimento, que se espera ser o menor possível. Sabe-se que todos estes fatores estão relacionados com a penetração de água no interior do grão, sendo afetados por fatores tais como condições agrônômicas, características físico-químicas, etapas de processamento, como secagem, armazenamento, polimento e condições de cozimento (Elias et al., 2003).

É válido ressaltar que o arroz recém-colhido, após ser abanado, secado, embalado e armazenado por um período de tempo, geralmente de três a cinco meses, tem suas características culinárias modificadas, melhorando seu comportamento de cocção, tornando seus grãos mais secos e soltos após o cozimento (Vieira & Carvalho, 1999).

O teor de amilose é o principal determinante das características de cocção do arroz polido, estando diretamente relacionado com a absorção de água, a expansão do volume, o teor de sólidos solúveis e a resistência do arroz durante o cozimento e afetando a cor, o brilho, a coesividade e a dureza do arroz após a cocção. Grãos cozidos, contendo amido com teores de amilose acima de 25% são secos e soltos, enquanto aqueles com amilose abaixo desse valor tendem a ser pegajosos e mais úmidos (Santos et al., 2006; Juliano, 1994).

As cultivares com teor de amilose intermediário são as preferidas pelo brasileiro por apresentarem grãos secos e soltos após o cozimento, os quais se mantêm macios, mesmo quando reaquecidos (Bassinello et al., 2004). Sendo assim, os teores de amilose e amilopectina, apesar de não afetarem o valor nutritivo do arroz, são considerados determinantes na qualidade culinária e tecnológica no mesmo (Elias et al., 2003).

A amilose e a amilopectina não existem livres na natureza, mas como agregados semicristalinos 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, ovoide 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 semicristalinas compostas de macromoléculas arranjadas na direção radial. As macromoléculas formam ligações 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 ligações 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 diminuem 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, se produz dentro de uma faixa de temperatura, gelificando primeiro os grânulos maiores e, por último, os menores (Vitti, 1996).

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 a 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 por meio da membrana superficial e passar à solução fora do grânulo (Whistler & Daniel, 1993).

Portanto, outra característica também importante na qualidade tecnológica do arroz diz respeito à temperatura de gelatinização, que é a propriedade do amido relacionada ao tempo necessário para o cozimento. Ela é medida pela temperatura na qual 90% dos grânulos de amido são gelatinizados ou inchados irreversivelmente na água quente, podendo variar de 55°C a 79°C. Quando uma cultivar de arroz apresenta alta temperatura de gelatinização, isso significa que os seus grãos requerem mais água e tempo para cozinhar, ao passo que sob temperaturas intermediária (a desejada nacionalmente) e baixa, a temperatura de gelatinização requer menos tempo e água para o cozimento (Bassinello et al., 2004).

2.3 Fungos toxigênicos e micotoxinas: um impasse à segurança alimentar

Os fungos são seres vivos eucarióticos, presentes em todos os lugares, seja na água, no ar ou no solo e, quando contaminam os alimentos, podem promover prejuízos significativos, como alterações das condições físicas e sensoriais do produto, redução do valor nutritivo, produção de micotoxinas, além de favorecer a ação de outros agentes de deterioração, como leveduras, bactérias e insetos (Scussel, 1983).

Os fungos filamentosos ou bolores são constituídos por células multinucleadas (cenócitos), formando tubos denominados hifas que entrelaçadas constituem o micélio. Esse tipo de fungo, quando toxigênico, pode produzir metabólitos secundários altamente tóxicos, as micotoxinas, que, quando ingeridas, podem causar alterações biológicas maléficas aos seres humanos e aos animais (Scussel, 1983; Frisvad & Samson, 1991).

Segundo Scussel (2000), as principais espécies potenciais produtoras de micotoxinas pertencem aos gêneros *Alternaria* sp. (muitas espécies), *Aspergillus* spp. (mais de vinte espécies), *Chaetomium globosum*, *Cladosporium* sp. (pelo menos duas espécies), *Claviceps* sp. (pelo menos duas espécies), *Fusarium* spp. (pelo menos seis espécies), *Gibberella zea*, *Paecilomyces variota* (*Byssochlamys fulva*), *Penicillium* spp. (mais de quinze espécies), *Myrothecium* sp. (pelo menos duas espécies), *Phoma herbarium*, *Pithomyces chartarum*, *Rhizopus oryzae*, *Sclerotinia sclerotiorum*, *Stachybothys atra* e *Trichoderma lignorum*.

Entretanto, os gêneros *Aspergillus*, *Penicillium* e *Fusarium* são os mais frequentemente associados com micotoxinas que ocorrem naturalmente em cereais, grãos e sementes em níveis que tornam os alimentos impróprios para consumo, de acordo com a American Public Health Association -APHA (2001).

O homem pode entrar em contato com as micotoxinas diretamente por meio da ingestão de alimento contaminado ou indiretamente, pelo consumo de produtos de origem animal, como o leite, os ovos e as carnes (Oga, 1996).

O efeito biológico desses metabólitos tóxicos pode se manifestar com quadros de micotoxicose aguda (ingestão de altas concentrações em curto período), cujos sinais clínicos e lesões são intimamente relacionados ao tipo ou sinergismo entre as micotoxinas, dose ingerida e período de incubação ou micotoxicose crônica (ingestão repetida de baixas doses por longo período) relacionada à mutagenicidade, à teratogenicidade e à carcinogenicidade (Scussel, 2000).

As principais micotoxinas, fungos produtores, commodities afetadas e seus efeitos biológicos no homem são apresentadas Tabela 2.

TABELA 2 Aflatoxinas, ocratoxina A, patulina, tricotecenos, zearalenona, fumonisinas, principais fungos produtores e commodities contaminados e efeitos biológicos no homem

Micotoxina	Principais fungos produtores	Principais commodities contaminados	Efeitos biológicos no homem
Aflatoxinas	<i>A. flavus</i> <i>A. parasiticus</i>	Amendoim, pistachio, milho, amêndoa, leite e seus derivados	Hepatocarcinogênese; cirrose em crianças; síndrome de Reye; degeneração da gordura visceral
Ocratoxina	<i>A. ochraceus</i> <i>P. verrucosum</i>	Grãos de café, arroz, cevada, produto animal (rins, carne)	Nefropatia de Balkan; tumor renal
Patulina	<i>Penicillium expansum</i>	Maçã, suco de maçã	Provável ação carcinogênica, mutagênica e fetotóxica
Tricotecenos	<i>Fusarium graminearum</i>	Trigo, cevada, arroz, sorgo	ATA (aleucia tóxica alimentar)
Zearalenona	<i>Fusarium graminearum</i>	Milho, sorgo, trigo	Câncer cervical
Fumonisina	<i>Fusarium verticillioides</i>	Milho e seus derivados	Câncer de esôfago

Fonte: Gonzalez et al. (2001)

Os principais fatores que influenciam a toxicidade das micotoxinas em seres humanos são: a biodisponibilidade e a toxicidade das micotoxinas; os sinergismos que ocorrem entre elas; o teor de micotoxinas ingerido diariamente em função da concentração de micotoxinas e da quantidade dos alimentos ingeridos; a continuidade ou a intermitência da ingestão do alimento

contaminado; o peso do indivíduo, o respectivo estado de saúde e a condição fisiológica e a idade do indivíduo. Como tal, as crianças e os jovens são mais sensíveis à toxicidade das micotoxinas devido à maior variabilidade do metabolismo basal e porque, eventualmente, não possuem os mecanismos bioquímicos suficientes para a destoxificação (Kuiper-Goodman, 1994).

De acordo com a ICMSF (2000), além de colocar em risco a saúde pública, as micotoxinas também interferem no comércio internacional, pois a maioria dos países desenvolvidos não autoriza importações de produtos com micotoxinas acima dos limites especificados.

Embora o desenvolvimento de fungos toxigênicos e a produção de micotoxinas dependam de um complexo conjunto de fatores, tais como a suscetibilidade do substrato, a colonização do fungo produtor, a temperatura e a umidade do substrato, a umidade relativa do ar durante o armazenamento e a capacidade biológica do fungo produzir micotoxinas (Scussel, 2000), a presença dos mesmos se torna preocupante, pois diferentes fungos produtores de micotoxinas são encontrados em todas as regiões do mundo e podem crescer em uma grande variedade de substratos. Assim, os alimentos estão sujeitos à invasão por fungos e à contaminação com micotoxinas no campo, durante e após colheita, no processamento, no transporte e na estocagem, quando não são empregadas técnicas adequadas de manuseio (Lacey & Magan, 1991).

Considerando a ocorrência de micotoxinas em alimentos, é importante realçar que, embora o fungo possa ser inativado durante o processamento e não estar presente no produto manufaturado, as micotoxinas podem permanecer viáveis, pois não são facilmente degradáveis (ICMSF, 2000).

De acordo com Santos et al. (2006), os países de origem asiática não só consomem o arroz diariamente como dão ênfase ao problema da contaminação fúngica e por micotoxinas neste cereal. Segundo Hoeltz (2005), as principais micotoxinas encontradas no arroz são aflatoxinas, ocratoxina A, zearalenona,

citrinina e fumonisinas. No Brasil, Nunes et al. (2003) verificaram a ocorrência de micotoxinas em 56 amostras de arroz para o consumo humano. Conforme Nguyen et al. (2007), o nível de contaminação por micotoxinas em arroz pode aumentar de acordo com a estação do ano, particularmente durante as chuvosas.

Tendo em vista a possibilidade da ocorrência de contaminação fúngica em arroz destinado ao consumo humano e estes poderem se apresentar potencialmente toxigênicos, providências são necessárias no sentido de propiciar condições de consumo a estes grãos, sem causar danos à saúde humana.

2.4 Irradiação de alimentos

2.4.1 Histórico

Embora tida como tecnologia nova, a ideia de irradiar alimentos com o propósito de eliminar microrganismos remonta ao século XX, mais precisamente em 1905, com as primeiras pesquisas desenvolvidas pelos Estados Unidos e a Inglaterra. Contudo, o emprego da radiação ionizante na conservação de alimentos só foi patenteado pelos norte-americanos em 1929 (FAO/IAEA, 1999).

Desde a década de 1950, nos Estados Unidos, foi estabelecido um programa com o nome de *Atoms for Peace*, que realiza pesquisas científicas sobre a irradiação de alimentos. A National Aeronautics and Space Administration (NASA) já utiliza esse processo para a esterilização de alimentos desde 1970, para o consumo no espaço (Spolaore et al., 2001).

A decisão de vários países em irradiar alimentos influenciou, em 1990, a Comissão do *Codex Alimentarius*, a FAO e a WHO - representando 150 governos – a estabelecerem o International Consultative Group on Food Irradiation (ICGFI), para documentar e atualizar as informações sobre a tecnologia da irradiação de alimentos, no intuito de proteger a saúde do consumidor e fiscalizar a comercialização internacional (FAO/ IAEA, 1999).

Após estudos sobre a irradiação de alimentos, entre os anos de 1970 a 1982, o ICGFI (1999) concluiu que qualquer alimento submetido a uma dose global de até 10kGy não apresentava riscos toxicológicos, confirmando a segurança dos produtos irradiados.

Com a descoberta de outras fontes ionizantes e o surgimento dos reatores nucleares, a irradiação se tornou uma técnica comercialmente viável, utilizada em cerca de 40 países, para mais de 60 alimentos. Na Europa, isso corresponde a um total perto de 61,7 milhões de toneladas de produtos irradiados anualmente (Centro de Energia Nuclear na Agricultura - CENA, 2006). O Brasil está incluído nestas estatísticas, embora irradie comercialmente apenas temperos vegetais desidratados e especiarias (Spolaore et al., 2001; FAO/ IAEA, 1999).

De acordo com a Empresa Brasileira de Radiações -Embrarad (2006), a irradiação gama conta, atualmente, com mais de 150 plantas operacionais (núcleos de radiação), espalhadas pelo mundo. Esse tipo de radiação tem largo uso em aplicações industriais, tais como: esterilização de material médico-cirúrgico, odontológico, de laboratório, frascos, embalagens e fármacos; descontaminação de produtos, cosméticos, matérias-primas, fitoterápicos e chás; processamento de alimentos, especiarias, condimentos, corantes, coloração de vidros e de pedras preciosas; melhoria de fibras sintéticas e de polímeros; produção de inoculantes para a agricultura e impregnação de madeiras e outros materiais.

A regulamentação sobre a irradiação de alimentos no Brasil existe desde 1973. Em 26 de janeiro de 2001, a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa) aprovou a Resolução RDC nº 21 que permite a irradiação de qualquer alimento, com a condição de que a dose máxima absorvida seja inferior àquela que comprometa as propriedades funcionais e ou os atributos sensoriais do alimento e que a dose mínima absorvida seja suficiente para alcançar o objetivo pretendido (Brasil, 2001). A mesma resolução estabelece, ainda, que, quando um

produto irradiado é usado como ingrediente em outro alimento, este fato deve ser mencionado na embalagem do produto final contendo a seguinte informação: “Alimento tratado por processo de irradiação”. No caso de condimentos ou temperos irradiados, esta informação deve ser apresentada na lista de ingredientes. Além disso, o rótulo dos alimentos irradiados deve possuir o símbolo internacional da radiação ionizante, denominado “radura”, conforme apresentado na Figura 1.



FIGURA 1 Radura (símbolo utilizado em produtos irradiados)

2.4.2 Princípios da irradiação

De acordo com a definição do ICGFI (1999), a irradiação de alimentos consiste em expor o produto a uma quantidade controlada de radiação ionizante, o que implica um tempo específico para obter objetivos desejáveis.

Por ser uma forma de energia, a radiação é expressa em joules. A unidade de energia absorvida é o gray (Gy), que equivale a um joule por quilograma de alimento. Seu múltiplo mais usado é o kGy (quiloGray) e expressa a dose de irradiação. A dose de irradiação é a quantidade de energia absorvida pelo alimento quando a mesma passa através dele, sendo estipulada

por meio da relação física, da distância entre a fonte e o material alvo e o tempo de exposição (FAO/IEAE, 1999; Mahapatra, 2005).

A faixa de benefícios da utilização da irradiação gama pode se classificar em três categorias (Spolaore et al., 2001), que são:

- irradiação de dose baixa (radurização): até 1 quiloGray- kGy (inibição de brotamento, atraso na maturação, desinfestação de insetos, inativação de parasitas);
- irradiação de dose média (radicidação): de 1 a 10kGy (redução do número de microrganismos deteriorantes; redução do número ou eliminação de patógenos não formadores de esporos);
- irradiação de alta dose (radopertização): acima de 10kGy (redução do número de microrganismos a ponto da esterilidade).

O processo de irradiação é influenciado por fatores externos (temperatura, presença ou não de oxigênio e subsequente condição de armazenamento) e por fatores intrínsecos ao alimento (estado físico e densidade, umidade e outras características). Por esse motivo, para cada produto a ser irradiado, é necessário estabelecer procedimentos específicos, inclusive diferentes doses de radiação (Bombo, 1996; Cena, 2006; Mahapatra, 2005).

A radiação utilizada para alimentos é classificada como radiação ionizante porque sua energia é alta o suficiente para deslocar elétrons dos átomos e moléculas e para convertê-los em cargas elétricas, chamadas de íons (Spolaore et al., 2001; FAO/IAEA, 1999).

A habilidade de ionizar depende da energia dos fótons e do material com o qual a radiação interage. Segundo o ICGFI (1999), são permitidos, para irradiação de alimentos, somente os seguintes tipos de radiação ionizante: raios gama de ^{60}Co e ^{137}Cs , sendo a radiação gama emitida pela desintegração de ^{60}Co e de ^{137}Cs limitada em nível de 1,33 e 0,66 MeV,

respectivamente; raios X gerados por máquinas operadas com níveis de energia de até 5 MeV e elétrons acelerados, gerados por máquinas operadas com energia de até 10 MeV. A radiação gama e os raios X são semelhantes às ondas de rádio, às micro-ondas e aos raios de luz visível. Eles formam parte do espectro eletromagnético na faixa de curto comprimento de onda e alta energia (FAO/IAEA, 1999).

A irradiação com raios gama traz vantagens sobre os outros métodos utilizados para eliminar os microrganismos nos alimentos, pois apresenta um alto conteúdo de energia e sua penetração é instantânea, uniforme e profunda, atuando em nível celular (Mahapatra et al., 2005). O isótopo cobalto-60, como fonte de radiação gama, é o mais utilizado comercialmente em todo mundo, por sua disponibilidade, baixo custo, por apresentar-se na forma metálica e ser insolúvel em água, proporcionando, com isso, maior segurança ambiental (ICGFI, 1999).

O ato de irradiar um alimento não o torna radioativo. Os alimentos carregam traços de radioatividade natural, que fica em torno de 150 a 200 becqueréis/kg. Quando o alimento é irradiado, ele passa a ter apenas um milésimo de becquerel/kg a mais do que o natural (FAO/IAEA, 1999).

Em relação ao custo final do produto, como qualquer processamento de alimento, a irradiação também irá adicionar custo. Contudo, dentre os tratamentos empregados para conservação de alimentos, a irradiação possui vários benefícios, pois: é viável para grandes ou pequenas quantidades de produtos; é um dos processos mais rápidos de esterilização existentes na atualidade; possui alto poder de penetração, podendo ser realizado na embalagem final dos produtos; é um processo totalmente automatizado, não há necessidade de manuseio dos produtos; não necessita quarentena ou tratamento pós-esterilização (não deixa resíduos); permite imediato uso dos materiais, após

o término do processo; é facilmente validado e é facilmente monitorado (Embrarad, 2006).

2.4.3 Efeito da irradiação gama nos microrganismos

O mérito da irradiação está na sua capacidade em controlar microorganismos patogênicos e deteriorantes presentes nos alimentos. É empregada, ainda, para eliminar insetos e retardar o processo germinativo em vegetais. Dessa forma, há aumento na segurança dos alimentos destinados ao consumo humano e redução nas perdas causadas por deterioração (Spolaore et al., 2001).

O processo de irradiação de alimentos provoca ionização, ou seja, cria cargas positivas ou negativas, resultando em efeitos físicos, químicos e biológicos que impedem a divisão celular dos microrganismos. Dentre as consequências induzidas pela radiação podem ocorrer alteração da membrana celular, interferindo diretamente na transferência de materiais críticos para a atividade celular; efeito no sistema enzimático; efeito na cadeia de DNA e RNA, alterando a síntese, reparo e reprodução e alterações no metabolismo energético. Segundo Urbain (1986), de todos os mecanismos que estão envolvidos na ação da radiação sobre as células, a alteração no seu DNA é considerada a mais importante.

Quanto às doses de irradiação utilizadas na descontaminação dos alimentos, Aziz et al. (1990) relatam que doses entre 5kGy a 10kGy promovem a completa eliminação de fungos toxigênicos em grãos de café e algumas commodities. Segundo Urbain (1986), os efeitos nocivos da irradiação sobre os microrganismos dependem de alguns fatores, tais como a dose total de radiação absorvida, o tamanho e o tipo de microrganismo envolvido, além do intervalo de tempo de recepção da dose.

2.4.4 Irradiação ionizante *versus* qualidade e segurança dos alimentos

As aplicações gerais da radiação, submetendo o alimento a diferentes doses, podem causar alterações físicas, químicas e sensoriais, devido a diferenças em estruturas específicas e composição dos alimentos. As alterações organolépticas, após uma dose suficientemente elevada de radiação, estão entre as principais diferenças após esse tratamento. Entretanto, as perdas de nutrientes são pequenas e, com frequência, menores do que aquelas associadas a outros métodos de preservação, como o enlatamento, a desidratação, a pasteurização pelo calor e a esterilização, devido ao fato de a irradiação ionizante não elevar substancialmente a temperatura do alimento (Spolaore et al., 2001).

O Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA) explica que, ao contrário do processo térmico, pouca energia da radiação é consumida em aumentar a energia térmica das moléculas que a absorvem. Além disso, a energia necessária para esterilização pela radiação é cerca de 50 vezes menor que a requerida para esterilização pelo calor. Por isso, é chamada de “esterilização a frio” (Cena, 2006).

De acordo com Narvaiz & Ladomery (1998), os macronutrientes são relativamente estáveis, quando os alimentos são expostos à dose máxima de irradiação de 10kGy. Entretanto, os micronutrientes, em especial as vitaminas, podem sofrer redução em pequenas proporções pelo emprego de irradiação. A sensibilidade das vitaminas ao processo é variada, dependendo das condições nas quais se irradiam os alimentos. As vitaminas C e B₁ são as mais sensíveis no grupo das hidrossolúveis e as vitaminas E e A, as mais sensíveis no grupo das lipossolúveis (Narvaiz & Ladomery 1998).

O efeito da irradiação gama sobre a composição química dos produtos amiláceos tem recebido muita atenção. Como ingrediente principal de muitos cereais, o amido confere estrutura, textura e consistência para os mesmos. De acordo com Bao et al. (2005), a irradiação é considerada um dos métodos de

modificação física do amido, pois a energia ionizante penetra no interior do grânulo desse polissacarídeo rapidamente, podendo causar maior dano à sua estrutura. Yu & Wang (2007) relataram que essa modificação pode estar relacionada à produção de radicais livres durante o tratamento, que ocasionariam hidrólise das ligações químicas e, com isso, moléculas de amidos se fragmentariam, afetando as propriedades físicas e reológicas de cereais como arroz, trigo e milho.

Dentre as alterações geradas pela irradiação de arroz, os pesquisadores citam a redução do teor de amilose (Wu et al., 2002), o decréscimo no poder de expansão dos grânulos (Yu & Wang, 2007), o decréscimo nos valores de viscosidade de pasta (Yu & Wang, 2007; Bao et al., 2005; Sirisoontaralak & Noomhorm, 2006), o aumento do teor de sólidos solúveis, a intensificação na coloração amarela e o decréscimo na dureza do arroz cozido (Sirisoontaralak & Noomhorm, 2006). Entretanto, os avaliadores perceberam menos tais alterações na análise sensorial. Roy et al. (1991) reportam que doses de irradiação entre 3kGy e 5kGy endurecem o grão após esfriar, mas não alteram o aroma e que acima de 5kGy ocorre alteração da cor e do sabor do arroz.

O fato de que a irradiação ocasiona a formação de radicais livres tem sido frequentemente mencionado como uma razão para especial atenção com alimentos irradiados. Contudo, nos últimos 30 anos, foram realizadas inúmeras pesquisas científicas utilizando técnicas analíticas altamente precisas, com o objetivo de isolar e detectar os produtos formados pela irradiação e não foi detectada nenhuma substância que seja produzida exclusivamente nos alimentos irradiados. Os radicais livres produzidos em decorrência desse processo são os mesmos e, em menor quantidade, que aqueles verificados nos demais processos de conservação como calor, frio e defumação (Cena, 2006).

De acordo com Bombo (1996), o processo de irradiação não acarreta reações nocivas ou perigosas e as alterações da composição química dos

alimentos decorrentes da irradiação dependerão de fatores como dose utilizada, tipo de alimento, sua embalagem e condições durante o tratamento, como temperatura e tempo de exposição.

2.4.5 Detecção de alimentos irradiados

A exigência da legislação e do mercado consumidor pela rotulagem de alimentos tem incentivado diversos estudos com o propósito de determinar se o alimento foi irradiado ou não (Schreiber et al., 1993).

Segundo Bögl (1989), o desenvolvimento de métodos de identificação de alimentos irradiados permite evitar a reirradiação, controlar a dose absorvida, verificar o cumprimento dos níveis mínimos de exigência microbiológica, além de contribuir para o controle do mercado internacional de alimentos irradiados.

A absorção da radiação ionizante pelos alimentos leva à formação de radicais livres, espécies que possuem elétrons desemparelhados que, de acordo com seu tempo de vida, podem servir como parâmetro para se detectar alimentos irradiados. Contudo, sabe-se que os radicais livres também são formados por outros tratamentos de alimentos, tais como tostadura do pão, fritura, secagem por congelamento e durante os processos normais de oxidação no alimento. Além disso, são estruturas muito reativas e instáveis e reagem continuamente com substâncias para formarem produtos estáveis (Desrosiers, 1996).

A ressonância paramagnética eletrônica (RPE) é o nome dado ao processo de absorção ressonante de micro-ondas por átomos, íons ou moléculas paramagnéticas, com, pelo menos, um elétron desemparelhado que, na presença de um campo magnético estático, fornece várias informações sobre os níveis de energia de complexos moleculares. Esta técnica, por apresentar características positivas, como rapidez, simplicidade e especificidade, tem se destacado para a detecção da concentração de radicais livres em uma amostra, gerados ou não pela irradiação, principalmente em alimentos com baixa atividade de água. O

sinal de radical livre na RPE aparece em espectro sob a forma matemática da derivada da curva da absorção e a concentração dos radicais livres presentes e pode ser calculada por meio da área sob a curva resultante (Schreiber et al., 1993). Em alguns casos específicos, a identidade dos radicais livres presentes na amostra pode ser determinada pelo aspecto característico do espectro de RPE (Schreiber et al., 1993).

3 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS. **Rice: chemistry of technology**. Minnesota: D.F.Houston, 1972. 517p.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Compendium of methods for the microbiological examination of foods**. 4 ed. Washington, 2001. 676p.

AZIZ, N.H.; REFAL, M.K.; ABD EL-AAL, S.S. Occurrence of aflatoxin and aflatoxigenic moulds in coffee beans and decontamination by gamma irradiation. **Journal Egyptian Veterinary Medical Association**, Cairo, v.50, n.2, p.257-265, 1990.

BAO, J.; BAO, 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, 2005.

BASSINELLO, P.Z.; ROCHA, M.S.; COBUCCI, R.M.A. **Avaliação de diferentes métodos de cocção de arroz de terras altas para teste sensorial**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2004. (Comunicado Técnico, 84).

BIANCHINI, A. **Estudo comparativo entre manejos de secagem e armazenamento de arroz na incidência de fungos toxigênicos e micotoxinas**. 2003. 103p. Dissertação (Mestrado em Microbiologia Agrícola e do Meio Ambiente) - Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

BILIADERIS, C.G. The structure and interactions of starch with food. **Canadian Journal of Physiology and Pharmacology**, Ottawa, v.69, n.1, p.60-78, 1991.

BÖGL, K.W. Identification of irradiated foods-methods, development and concepts. **Applied Radiation and Isotopes**, Oxford, v. 40, n. 10-12, p. 1203-1210, 1989.

BOMBO, R.P.A.; OETTERER, M.; MANCINI FILHO, J. **Efeito das radiações ionizantes sobre os nutrientes**. 1996. 126 p. Dissertação (Mestrado em Ciência

dos Alimentos) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Portaria n. 269 de 17 de novembro de 1988. Dispõe sobre o regulamento técnico de identidade, qualidade, embalagem e apresentação do arroz. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 1988. Disponível em: <<http://extranet.agricultura.gov.br>>. Acesso em: 7 jul. 2006.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC-n. 21, de 26 de janeiro de 2001. Regulamento técnico para irradiação de alimentos. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF. 29 jan. 2001.

CASTRO, E. da M. de; VIEIRA, N.R. de A.; RABELO, R.R.; SILVA, S.A. da. **Qualidade de grãos em arroz**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 1999. 30p. (Circular Técnica, 34).

CENTRO DE ENERGIA NUCLEAR NA AGRICULTURA. 2006. **Divulgação da tecnologia de irradiação de alimentos e outros materiais**. Disponível em: <<http://www.cena.usp.br/irradiacao/index.asp>>. Acesso em: 20 ago. 2006.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira: grãos: quinto levantamento**. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/conabweb/download/safra/5_levantamento_fev2009.pdf>. Acesso em: 15 mar. 2009.

DESROSIERS, M. Current Status of the EPR method to detect irradiated food. **Applied Radiation and Isotopes**, Oxford, v. 47, n. 12, p. 1621-1628, Nov./Dec. 1996.

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.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Origem e história do arroz**. Disponível em: <<http://www.cnpaf.embrapa.br/arroz/historia.htm>>. Acesso em: 05 set. 2007.

EMPRESA BRASILEIRA DE RADIAÇÕES. **Radiação gama em alimentos, produtos farmacêuticos, material médico, cosméticos e fitoterápicos**. Disponível em: <<http://embrarad.com.br/radiacao.asp>>. Acesso em: 22 ago. 2006.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. WORLD HEALTH ORGANIZATION. World declaration on nutrition. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON NUTRITION, 1992, Rome. **Proceeding...** Rome, 1992.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS; DIVISION OF NUCLEAR TECHNIQUES IN FOOD AND AGRICULTURE INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. **Facts about food irradiation**. 1999. Disponível em <<http://www.iaea.org/icgfi/documents/foodirradiation.pdf>>. Acesso em 27 set. 2006.

FRISVAD, J.C.; SAMSON, R.A. Filamentous fungi in foods and feeds: ecology, spoilage, and mycotoxin production. In: ARORA, D.K.; MUKERJI, K.G.; MARTH, E.H. **Handbook of applied mycology: foods and feeds**. New York: M. Dekker, 1991. v.3. p.31-68.

GALLANT, D.J.; BOUCHET, B.; BADWIN, P.M. Microscopy of starch: evidence of a new level of granule organization. **Carbohydrate Polymers**, Oxford, v.32, n.3-4, p.177-191, Mar./Apr. 1997.

GOMES, A.S.; MAGALHÃES-JÚNIOR, A.M. **Arroz irrigado no sul do Brasil**. Brasília: Embrapa, 2004.

GONÇALEZ, E.; PINTO, M.M.; FELICIO, J.D. Análise de micotoxinas no Instituto Biológico de 1989 a 1999. **Divulgação Técnica. Instituto Biológico**, São Paulo, v.63, n.1/2, p.15-19, jan./dez., 2001.

HOELTZ, M. **Estudo da influência de manejos pós-colheita na incidência de fungos e micotoxinas no arroz (*Oryza sativa L.*)**. 2005. 77p. Dissertação (Mestrado em Microbiologia Agrícola e do Ambiente) - Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

INTERNATIONAL COMMISSION ON MICROBIOLOGICAL SPECIFICATIONS FOR FOODS. **Microrganismos de los alimentos**. 2. ed. Zaragoza: Acribia, 2000. 464p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Levantamento sistemático da produção agrícola**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 12 mar. 2007.

JOSEPH, E.; SWANSON, B.G. Growth and nitrogen retention of rats fed bean (*Phaseolus vulgaris*) and bean and rice diets. **Food Research International**, Ottawa, v.26, n.4, p.261-269, 1993.

JULIANO, B.O. **El arroz em la nutricion humana**. Roma: FAO, 1994. 176p. (Coleccion FAO. Alimentacion y Nutricion, 26).

KENNEDY, G.; BURLINGAME, B. Analysis of food composition data on rice from a genetic resource perspective. **Food Chemistry**, Oxford, v.80, n.4, p.589-596, Apr. 2003.

KLICH, M.A. Environmental and developmental factors influencing aflatoxin production by *Aspergillus Flavus* and *Aspergillus Parasiticus*. **Mycoscience**, Tokyo, v.48, n.1, p.1-80, 2007.

KUIPER-GOODMAN, T. Prevention of human mycotoxicoses trough risk assesment risk management. In: MILLER, J.D.; TRENHOLM, H.L. **Mycotoxins in grain, compouns other than aflatoxin**. St. Paul: Eagan, 1994. p. 439-469.

LACEY, J.; MAGAN, N. Fungi in cereal grain: their occurrence and water and temperature relations. In: CHELKOWSKI, J. **Cereal Grain: mycotoxins, fungi and quality in drying and storage**. Amsterdam: Elsevier Science, 1991.

LIMA, C. A. P.; ORSI, R. B.; DILKIN, P.; CORRÊA, B. Mycoflora and aflatoxigenic in derivatives of milled rice. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.20, n.1, p.37-39, jan./abr. 2000.

MAHAPATRA, A. K.; MUTHUKUMARAPPAN, K.; JULSON, J. L. Applications of ozone, bacteriocins and irradiation in food processing: a review. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, Boca Raton, n.6, p.447-461, 2005.

MENDEZ, M.H.M.; DERIVI, S.C.N.; RODRIGUES, M.C.R.; FERNANDES, M.L. **Tabela de composição de alimentos**. Niterói: EDUFF, 1995. 41p.

NARVAIZ, P.; LADOMERY, L.G. Estimation of the effect of food irradiation on total dietary vitamin availability as compared with dietary allowances: study for Argentina. **Journal of the Science of Food an Agriculture**, London, v.76, n.2, p.250-256, Feb. 1998.

NGUYEN, M.T.; TOZLOVANU, M.; IRAN, T.L.; PFOHL-LESZKOWICZ, A. Occurrence of aflatoxin B1, citrinin and ochratoxin A in rice in five provinces of the central region of Vietnam. **Food Chemistry**, Oxford, v.105, n.1, p.42-47, 2007.

NUNES, I.L.; MAGAGNIN, G.; BERTOLIN, T.E.; FURLONG, E.B. Arroz comercializado na região sul do Brasil: aspectos micotoxicológicos e microscópicos. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.23, n.2, p. 190-194, maio/ago. 2003.

OGA, S. **Fundamentos de toxicologia**. 2.ed. São Paulo: Atheneu, 1996.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE. **Necessidades de energia y de proteínas**: informe de una reunión consultiva conjunta FAO/OMS/ONU. Ginebra, 1985. 221p. (OMS. Serie de Informes Técnicos, 724).

PARK, J.W.; KIM, E.K.; KIM, Y.B. Estimation of the daily exposure of Koreans to aflatoxin B1 through food composition. **Food Additives and Contaminants**, Sidney, v.21, n.1, p. 70-75, Jan. 2004.

PSZCZOLA, D.E. Rice: not just for throwing. **Food Technology**, Chicago, v.55, n.2, p.53-59, Feb. 2001.

ROY, M.K.; GHOSH, S.K.; CHARTTERJEE, S.R. Gamma-irradiation of rice grains. **Journal of Food Science and Technology**, Mysore, v.28, n.6, p.337-340, Nov./Dec. 1991.

SANTOS, A.B.; STONE, L.F.; VIEIRA, N.R. **A cultura do arroz no Brasil**. 2.ed. Santo Antonio de Goiás: EMBRAPA Arroz e Feijão, 2006. 1118p.

SCHREIBER, G.A.; HELLE, N.; BÖGL, K.W. Detection of irradiated food methods and routine applications. **International Journal of Radiation Biology**, London, v. 6, n. 1, p. 105-130, Jan. 1993.

SCUSSEL, V.M. **Atualidades em micotoxinas e armazenagem de grãos**. Florianópolis: Insular, 2000. 382p.

SCUSSEL, V.M. **Micotoxinas em Alimentos**. Florianópolis: Insular, 1983. 184p.

SPOLAORE, A. J. G.; GERMANO, P. M. L.; GERMANO, M. I. S. Irradiação de alimentos. In: GERMANO, P. M. L.; GERMANO, M. I. S. **Higiene e vigilância sanitária de alimentos**. São Paulo: Varela, 2001. p. 421-442.

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, set. 2003.

TAIRA, H. Grain quality: physicochemical properties and quality of rice grains. In: MATSUO, T.; KUMAZAWA, K.; ISHII, R.; ISHIHARA, K.; HIRATA, H. **Science of the rice plant**. Tokyo: Food and Agriculture Police Research Center, 1995. v.2, cap.6.1, p.1063-1089.

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

TORRES, M.A.A; QUEIROZ, S.S. Prevenção da anemia ferropriva em nível populacional: uma revisão da literatura dos últimos quinze anos. **Nutrire**, São Paulo, v.19/20, p.145, 2000.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. Faculdade de Ciências Farmacêuticas. **Tabela brasileira de composição de alimentos**. São Paulo. Disponível em: <<http://aj.usp.br/tabela>>. Acesso em: 15 mar. 2006.

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

VIEIRA, N. R. de A.; CARVALHO, J. L. V. de. Qualidade tecnológica. In: VIEIRA, N. R. de A.; SANTOS, A. B. dos; SANT'ANA, E. P. (Ed.). **A cultura do arroz no Brasil**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 1999. p. 583- 604.

VITTI, P. A. Viscosidade do amido e sua importância nos alimentos. **Boletim do Centro Tropical de Pesquisa e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, n. 8, p. 69-83, 1996.

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

WILLIAMS, J.H.; PHILLIPS, T.D.; JOLLY, P.E.; STILES, J.K.; JOLLY, C.M.; AGGARWAL, D. Human aflatoxicosis in developing countries: a review of toxicology, exposure, potential health consequences, and interventions. **The**

American Journal of Clinical Nutrition, Bethesda, v.80, n.5, p.1106–22, Nov. 2004.

WU, D.X.; SHU, Q.Y.; WANG, Z.H.; XIA, Y.W. Effect of gama irradiation on starch viscosity and physicochemical properties of different rice. **Radiation Physics and Chemistry**, Oxford, v. 65, n.1, p. 29-86, Aug. 2002.

WYATT, C.J.; TRIANA-TEJAS, A. Soluble and insoluble Fe, Zn, Ca, and phy tates in foods commonly consumed in northern Mexico. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v.42, n.10, p.2204-2209, Oct. 1994.

YOUNG, V.R.; PELLETT, P.L. Plant proteins in relation to human protein and amino-acid nutrition. **American Journal of Clinical Nutrition**, New York, v.59, n.5, p.1203-1205, May 1994. Supl.

YU, Y.; WANG, J. Effect of γ -ray irradiation on starch granule structure and physicochemical properties of rice. **Food Research International**, Amsterdam, v. 40, n.2, 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, n6, p,443-446, Nov./Dec. 1988.

CAPÍTULO 2

EMPREGO DA IRRADIAÇÃO GAMA (Co^{60}) NO CONTROLE DE FUNGOS EM ARROZ: UMA ALTERNATIVA À SEGURANÇA ALIMENTAR

RESUMO

O arroz é considerado um dos cereais mais importantes no cenário econômico e social. Considerando o problema da contaminação fúngica e a aplicação da irradiação ionizante se demonstrar eficiente na destruição de microrganismos em diferentes alimentos, o presente estudo objetivou avaliar o emprego de diferentes doses de irradiação gama (Co^{60}) no controle da contaminação fúngica no arroz. Para tanto, realizou-se o isolamento e contagem fúngica, por plaqueamento direto e Blotter Test, de seis amostras de arroz branco polido comerciais, submetidas às doses de irradiação, controle (0kGy), 2,5kGy, 5,0kGy, 7,5kGy e 10kGy. Os fungos detectados nos grãos de arroz branco polido foram *Aspergillus flavus*, *Aspergillus foetidus*, *Penicillium* sp., *Fusarium* sp., *Trichoderma viride* e *Cladosporium* sp., com destaque para os gêneros *Penicillium* e *Aspergillus*, que foram predominantes nos grãos de arroz. A irradiação gama (Co^{60}) contribuiu para a redução de 96,7% até 100% dos grãos de arroz contaminados com fungos, segundo os métodos de detecção plaqueamento direto e Blotter Test, respectivamente. A faixa de dose de irradiação significativa no controle de fungos neste cereal variou de 6,46kGy a 7,01kGy.

ABSTRACT

Rice is considered one of the most important cereals in the economic scene and social. Considering the problem of fungal contamination and the application of ionizing radiation was shown efficient in the destruction of microorganisms in different foods, this study aimed to evaluate the use of different doses of gamma irradiation (Co^{60}) in the control of fungal contamination in rice. Thus, there was the isolation and fungal counts by direct plating and Blotter Test, six samples of polished white rice trade, subject to doses of irradiation, control (0kGy), 2,5kGy, 5,0 kGy, 7,5 kGy and 10,0kGy. Fungi detected in the polished white rice grains were *Aspergillus flavus*, *Aspergillus foetidus*, *Penicillium sp*, *Fusarium sp*, *Trichoderma viride*, and *Cladosporium sp*, and in the genera *Aspergillus* and *Penicillium*, which were predominant in the grains of rice. The gamma irradiation (Co^{60}) contributed to a reduction of 96,7% to 100% of the grains of rice contaminated with fungi, according to the methods of detection and direct plating Blotter Test, respectively. The range of significant dose of irradiation in the control of fungi in grain varied from 6,46kGy to 7,01kGy.

1 INTRODUÇÃO

O arroz é considerado um alimento básico para países da Ásia, Pacífico, África, América Latina, Caribe e do Oriente Médio. Além disso, estima-se que mais de um bilhão de lares na Ásia, na África, na América Latina e no Caribe dependam da atividade arroteira como fonte alimentar, de emprego e de renda. O Brasil se destaca como o maior produtor de arroz da América Latina e o sexto maior produtor mundial (Food and Agriculture Organization of the United Nations - FAO, 2006).

Das grandes lavouras de grãos de verão (arroz, soja, milho e feijão), o arroz apresenta as maiores perdas, chegando a 22% (Alonço, 2003). Dentre os agentes etiológicos relacionados a tal prejuízo, destacam-se os fungos, capazes de tornar um lote de grãos totalmente sem valor devido às alterações sensoriais, nutricionais e à produção de micotoxinas, durante a sua proliferação (Hussein & Brasel, 2001).

A ingestão de alimentos contendo micotoxinas tem resultado em sérios efeitos tóxicos, agudos e crônicos, à saúde do homem e de animais. Estima-se que cerca de 30% dos cereais em todo o mundo estejam contaminados por essas toxinas (Freire et al., 2007).

Relatos na literatura mundial ressaltam a eficiência da irradiação gama na diminuição ou, até mesmo, na eliminação de várias espécies fúngicas em diferentes alimentos, devido a danos irreversíveis em estruturas celulares em decorrência dos radicais livres formados durante a exposição do alimento à radiação. Porém, os efeitos deste tratamento não podem ser descritos de maneira geral para todos os microrganismos, uma vez que estão relacionados com a natureza do mesmo, a sua complexidade e o número da população contaminante. De maneira geral, a sensibilidade à irradiação é inversamente proporcional ao

tamanho do microrganismo (Rodrigues Jorge & Garzón, 1993; Aziz & Mahrous, 2003).

Embora vários cereais devam ser alvos de controle, pois são passíveis de contaminação, o arroz, particularmente, exige um olhar mais atento, pois, além de ser um alimento da cesta básica, presente praticamente todos os dias na alimentação humana, incluindo hospitais, creches, asilos e escolas, faz parte da composição de vários produtos alimentícios, como cereais matinais, farinhas, bebidas, amido e alimentos infantis, podendo, assim, ocasionar danos alarmantes à saúde coletiva se vinculado à micotoxinas.

Na premissa de possibilitar o consumo seguro do arroz, bem como contribuir indiretamente para a redução de perdas das safras e gastos onerosos com a saúde pública, o presente estudo foi realizado com o objetivo de avaliar o emprego da irradiação gama (Co^{60}) na diminuição da população fúngica neste cereal.

Os objetivos específicos foram:

- isolar e quantificar os fungos naturalmente presentes nos grãos de arroz branco polido;
- identificar as espécies fúngicas envolvidas na contaminação do arroz branco polido submetido a diferentes doses de irradiação gama (Co^{60});
- averiguar o efeito de diferentes doses de irradiação gama (Co^{60}) no controle de cada fungo presente no arroz branco polido, bem como sua amplitude de descontaminação das amostras;
- estabelecer a(s) melhor(s) dose(s) de irradiação gama (Co^{60}) para o controle de fungos do arroz branco polido.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Amostra

Inicialmente à condução desta pesquisa, foram realizadas análises microbiológicas de 20 amostras de arroz para a seleção daquelas que apresentaram maior incidência fúngica.

De acordo com os resultados obtidos, foram selecionadas, para serem submetidas à irradiação, seis amostras comerciais de arroz branco polido, longo fino, tipo 1, adquiridas em redes de supermercado da cidade de Lavras, MG (cinco amostras) e Belo Horizonte, MG (uma amostra) em perfeito estado de integridade física, dentro dos prazos de validade e oriundas de distintas empresas de beneficiamento. Das seis amostras de arroz naturalmente contaminadas, três estavam contidas em embalagens de 5kg (um pacote por amostra) e as outras três contidas em embalagens de 2kg (2 pacotes por amostra).

2.2 Processo de irradiação

2.2.1 Preparo das amostras

Cada amostra de arroz branco polido foi homogeneizada dentro da própria embalagem e, logo em seguida, subdividida em cinco subamostras de 500g: uma delas foi reservada como amostra controle (0kGy) e cada uma das outras quatro subamostras foi destinada às respectivas doses de irradiação sob investigação (2,5kGy, 5,0 kGy, 7,5 kGy e 10 kGy). Para conferir condições mais uniformes durante o tratamento, todas as amostras foram acondicionadas em embalagens plásticas de polietileno, devidamente lacradas e identificadas. Este procedimento foi executado em capela de fluxo laminar.

2.2.2 Procedimento de irradiação e acondicionamento das amostras

As amostras de arroz branco polido foram irradiadas em irradiador Gammacell panorâmico GB-127, IR-214 (MDS Nordion, Canadá) com fonte de cobalto⁶⁰ (Co⁶⁰) armazenada a seco, localizado no Laboratório de Irradiação Gama (LIG) do Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear. As amostras foram dispostas em mesa giratória localizada ao redor da fonte de Co⁶⁰, com distância à fonte mediante às doses empregadas de 2,5kGy, 5kGy, 7,5kGy e 10,0kGy, proporcionando a irradiação simultânea de todas as amostras, com tempo de exposição de 25 minutos, 50minutos, 75minutos e 100minutos, respectivamente à cada dose. Para a otimização do processo, utilizou-se a taxa de dose 6,0 kGy/hora.

O tempo de exposição (dose/distância) para se obter cada uma das doses médias absorvidas foi calculado levando-se em consideração a fonte, sendo todo o controle realizado automaticamente pelo próprio irradiador. Foram mantidas condições de temperatura ambiente, $\pm 25^{\circ}\text{C}$, antes, durante e após o processo de irradiação.

2.3 Avaliação da contaminação fúngica das amostras

2.3.1 Isolamento e quantificação dos fungos presentes no arroz

Após o processo de irradiação, as amostras de arroz branco polido foram conduzidas ao Laboratório de Patologia de Sementes do Departamento de Fitopatologia e ao Laboratório de Microbiologia de Alimentos do Departamento de Ciência dos Alimentos, localizados na Universidade Federal de Lavras (UFLA), onde se procedeu ao plaqueamento dos grãos e à contagem fúngica, por meio dos métodos descritos a seguir.

a) Blotter Test

Para o isolamento e a contagem fúngica pelo Blotter Test (Neergaard, 1977), foram analisados, sem desinfecção, 200 grãos de arroz branco polido por amostra, em duas repetições com 100 grãos cada, conforme Samson et al. (2000).

O plaqueamento foi realizado em placas de Petri de 15 cm de diâmetro, contendo três papéis de filtro previamente esterilizados, umedecidos em água destilada esterilizada e acrescidos com 5 mL de ágar água 0,5%. Logo após este procedimento, as amostras foram conduzidas para a câmara de incubação a 25°C, onde permaneceram de cinco a sete dias. Após o período de incubação, os grãos foram analisados com o auxílio de um microscópio estereoscópico, para visualização do crescimento fúngico e contagem dos mesmos. Os resultados foram expressos em percentagem de grãos contaminados.

b) Plaqueamento direto

Para o isolamento e a contagem dos fungos por meio do plaqueamento direto (Pitt & Hocking, 1999), foram utilizados 100 grãos de arroz branco polido por amostra (Samson et al., 2000), plaqueados em placas de Petri contendo o meio de cultura DRBC (ágar dicloran rosa de bengala cloranfenicol). Logo após esse procedimento, as amostras foram incubadas a 25°C, permanecendo de cinco a sete dias. Após o período de incubação, os grãos foram analisados com o auxílio de um microscópio estereoscópico, para a visualização do crescimento fúngico e a contagem dos mesmos. Os resultados foram expressos em percentagem de grãos contaminados.

2.3.2 Identificação das espécies fúngicas presentes no arroz

Previamente à identificação das espécies fúngicas, ocorreu uma etapa de purificação, na qual os fungos foram repicados em três pontos equidistantes em

placas de Petri contendo ágar malte (MA) e incubados a 25°C, de cinco a sete dias. Decorrido esse período, os isolados purificados foram repicados em meios de cultura padronizados, *czapeck yeast agar* (CYA) a 25° e a 37°C e ágar malte com adição de glicose (MEA) a 25°, ambos incubados de cinco a sete dias. A identificação dos fungos foi realizada com base no aspecto macroscópico e microscópico das colônias nos diferentes meios de cultura e temperaturas de crescimento, por meio de chaves de identificação proposta por Klich (2002) e Samson et al. (2000) e Pitt & Hocking (1999).

2.4 Delineamento experimental e análise dos resultados

O delineamento experimental utilizado nesta pesquisa foi em blocos casualizados (DBC), sendo:

- tratamentos = doses de irradiação investigadas (0kGy, 2,5kGy, 5,0kGy, 7,5 kGy e 10 kGy);
- blocos = as seis diferentes amostras de arroz branco polido;
- variáveis respostas = incidência de fungos.

Para a análise dos resultados, considerou-se a percentagem média de fungos presentes nos grãos de arroz branco polido, para cada dose de irradiação gama (Co^{60}) investigada.

Visando estabelecer a(s) melhor(es) dose(s) de irradiação para o controle de fungos no arroz, os resultados obtidos foram avaliados estatisticamente por meio de análise de variância, com o teste F a 5% de significância, por meio do software R (R Development Core Team, 2009).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Fungos naturalmente presentes nos grãos de arroz branco polido

A percentagem média (%) de gêneros fúngicos presentes nos grãos de arroz branco polido, de acordo com dois métodos de detecção utilizados na pesquisa, é apresentada na Tabela 1.

TABELA 1 Percentagem média (%) de *Aspergillus* sp., *Penicillium* sp., *Fusarium* sp., *Trichoderma* sp. e *Cladosporium* sp. naturalmente presentes nos grãos de arroz branco polido (seis amostras), determinados pelo método do plaqueamento direto e Blotter Test

Método*	Amostras arroz	(%) Gêneros fúngicos				
		<i>Fusarium</i> sp	<i>Trichoderma</i> sp	<i>Aspergillus</i> sp	<i>Penicillium</i> sp	<i>Cladosporium</i> sp
1	1	4,5	0,0	1,5	10,0	0,5
1	2	1,0	2,0	6,0	2,5	0,0
1	3	0,5	0,0	15,0	10,0	0,0
1	4	1,0	2,5	2,0	4,0	0,0
1	5	2,0	0,0	4,0	4,5	0,0
1	6	0,0	3,0	5,0	0,0	0,0
Média	-	1,5	1,2	5,6	5,2	0,1
2	1	4,5	0,0	11,0	90,0	4,0
2	2	1,0	1,5	17,0	13,0	4,0
2	3	0,5	0,0	18,0	10,0	3,0
2	4	2,0	2,5	5,0	34,0	2,0
2	5	2,0	0,0	4,0	52,0	1,0
2	6	2,0	0,0	24,0	8,0	1,0
Média	-	2,0	0,67	13,2	34,5	2,5

* 1- Plaqueamento direto (média de 100 grãos); 2- Blotter Test (média de 200 grãos);

Os gêneros fúngicos presentes nas amostras de arroz sob investigação foram: *Penicillium*, *Aspergillus*, *Cladosporium*, *Fusarium* e *Trichoderma*. Contudo, o *Penicillium* sp. e o *Aspergillus* sp. foram os gêneros predominantes

nas amostras de arroz branco polido, com incidência de 5,2% e 5,6% no plaqueamento direto e 34,5% e 5,6% no Blotter Test, respectivamente. A presença dominante desses gêneros no arroz também foi observada por Tonon et al. (1997), Lima et al. (2000), Nunes (2001), Hoeltz (2005) e Carvalho (2008).

Comparativamente às metodologias utilizadas, o Blotter Test possibilitou maior contagem dos gêneros fúngicos presentes no arroz branco polido. Este fato pode estar relacionado com a utilização de papéis de filtro embebidos com água no Blotter Test, o que poderia ter possibilitado maior disponibilidade de água livre, fator favorável para o crescimento e o desenvolvimento fúngico. Outra hipótese seria o fato de o escasso conteúdo de substrato do meio de cultura utilizado ter ocasionado um estresse por falta de nutrientes, induzindo um aumento da reprodução dos fungos em prol da sobrevivência da espécie.

Embora o plaqueamento direto seja considerado, por Pitt & Hocking (1999), a metodologia mais adequada para o isolamento de fungos nos alimentos, uma vez que utiliza meio de cultura padronizado, possibilitando condições mais estáveis para o crescimento e o desenvolvimento fúngico, o Blotter Test é muito utilizado para testes de sanidade em semente, justamente por possibilitar maior contagem fúngica e variedade de espécies, levantando questionamentos sobre o método mais adequado a ser utilizado para este fim.

3.2 Espécies fúngicas identificadas no arroz branco polido submetido à irradiação gama (Co^{60})

Na Tabela 2 são apresentadas as principais espécies fúngicas passíveis de isolamento e identificação nas amostras de arroz branco polido expostas a diferentes doses de irradiação gama.

TABELA 2 *Aspergillus flavus*, *Aspergillus foetidus* e *Trichoderma viride*, identificados no arroz branco polido, em função das doses de irradiação gama (kGy)

Espécie fúngica	Dose de irradiação (kGy)	Nº fungos identificados
<i>Aspergillus flavus</i>	2,5	5
	5,0	5
	7,5	2
	10,0	3
<i>Aspergillus foetidus</i>	10,0	2
<i>Trichoderma viride</i>	2,5	2
	5,0	1
	7,5	1
	10	3

Foram identificados 24 isolados, dentre os quais: dois *Aspergillus foetidus*, presente em amostra irradiadas a 10kGy; quinze *Aspergillus flavus* e sete *Trichoderma viride*, ambos encontrados nas amostras de arroz branco polido irradiadas nas diferentes doses investigadas. Carvalho (2008) também cita a presença destas espécies fúngicas como as mais frequentes no arroz do subgrupo branco polido, relatando, ainda, que 25,8% dos *Aspergillus flavus* isolados em seu estudo se apresentaram como potenciais produtores de aflatoxinas.

Hussaini et al. (2007), analisando um total de 1.062 isolados fúngicos de 196 amostras de arroz na Nigéria, detectaram *A. flavus*, *A. parasiticus* e *A. Niger*, além de pertencentes dos gêneros *Penicillium* e *Rhizopus*, como os principais fungos contaminantes do arroz.

Condizentes com o presente trabalho, Lima et al. (2000), além de isolar um percentual significativo de *A. flavus* em derivados de arroz, encontraram representantes dos gêneros *Fusarium* e *Cladosporium*.

3.3 Efeito de diferentes doses de irradiação gama (Co^{60}) no controle de fungos em arroz branco polido

3.3.1 Irradiação gama (Co^{60}) versus descontaminação dos grãos de arroz

Os resultados deste trabalho, referentes à percentagem máxima de grãos de arroz contaminados após diferentes doses de irradiação gama (Co^{60}), segundo diferentes métodos de detecção, estão expressos na Tabela 3.

TABELA 3 Percentagem máxima (%) de grãos de arroz branco polido contaminados (média das seis amostras) após exposição a diferentes doses de irradiação gama Co^{60} (0kGy, 2,5kGy, 5,0kGy, 7,5kGy e 10,0kGy), segundo os métodos de detecção, plaqueamento direto e Blotter Test

Método de detecção*	Dose (kGy)	% Máxima de grãos contaminados
1	0,0	15,0
1	2,5	0,5
1	5,0	0,5
1	7,5	0,5
1	10,0	0,5
2	0,0	90,0
2	2,5	1,5
2	5,0	11,0
2	7,5	2,0
2	10,0	0,0

* 1- Plaqueamento direto (média de 100 grãos); 2- Blotter Test (média de 200 grãos);

Considerando a dose controle (0kGy) como referência, averiguou-se que a irradiação gama (Co^{60}) reduziu consideravelmente a percentagem fúngica nos grãos de arroz branco polido em todas as doses utilizadas, mediante os dois métodos de detecção.

Pelo plaqueamento direto, a partir da menor dose utilizada (2,5kGy), a irradiação gama foi capaz de reduzir 96,7% dos grãos de arroz contaminados, refletindo, no máximo, 0,5% de grãos contaminados após a irradiação.

No Blotter Test, pôde-se observar que o aumento das doses de irradiação gama repercutiu substancialmente na descontaminação fúngica dos grãos de arroz. Utilizando 2,5kGy e 7,5kGy, a incidência fúngica máxima nos grãos (1,5% a 2,5kGy, 2,0% a 7,5kGy) foi menor que em 5,0kGy (11,0%) e uma dose de 10kGy resultou na incidência nula de fungos no cereal em estudo. Estes resultados concordam com os de Aquino (2005), que demonstrou a eficiência da irradiação gama, com dose de 10kGy, na redução de fungos em milho.

3.3.2 Efeito da irradiação gama versus sensibilidade fúngica

O efeito das doses de irradiação gama no controle fúngico nos grãos de arroz branco polido é referenciado na Tabela 4.

TABELA 4 Emprego da irradiação gama (Co^{60}), com doses controle (0kGy), 2,5kGy, 5,0kGy, 7,5kGy e 10kGy, na percentagem média (%) de *Aspergillus* sp., *Penicillium* sp., *Fusarium* sp., *Trichoderma* sp. e *Cladosporium* sp. nos grãos de arroz branco polido, segundo os métodos de detecção, Blotter Test e plaqueamento direto

Gêneros fúngicos	Amostras (arroz)	Doses de irradiação (kGy)/método de detecção*									
		0,0		2,5		5,0		7,5		10,0	
		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
<i>Aspergillus</i> sp.	1	1,5	11,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Aspergillus</i> sp.	2	6,0	17,0	1,0	0,5	0,0	0,5	1,0	0,5	1,0	0,0
<i>Aspergillus</i> sp.	3	15,0	18,0	0,0	1,0	11,0	0,5	0,0	0,0	3,0	0,0
<i>Aspergillus</i> sp.	4	2,0	5,0	1,0	0,5	0,0	0,5	1,0	0,5	0,0	0,0
<i>Aspergillus</i> sp.	5	4,0	4,0	0,0	3,5	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0
<i>Aspergillus</i> sp.	6	5,0	24,0	0,0	0,5	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Penicillium</i> sp.	1	10,0	90,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Penicillium</i> sp.	2	2,5	13,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Penicillium</i> sp.	3	10,0	10,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Penicillium</i> sp.	4	4,0	34,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,0	0,0	0,0
<i>Penicillium</i> sp.	5	4,5	52,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Penicillium</i> spp.	6	0,0	8,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

"...continua..."

“TABELA 4, Cont.”

<i>Fusarium</i> spp.	1	4,5	4,5	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Fusarium</i> spp.	2	1,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Fusarium</i> sp.	3	0,5	0,5	0,0	0,0	11,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Fusarium</i> sp.	4	1,0	2,0	0,0	1,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Fusarium</i> sp.	5	2,0	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Fusarium</i> sp.	6	0,0	2,0	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	1,5	0,0	0,0
<i>Trichoderma</i> sp.	1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Trichoderma</i> sp.	2	2,0	1,5	0,0	0,0	0,0	0,0	2,0	0,0	1,0	0,0
<i>Trichoderma</i> sp.	3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0
<i>Trichoderma</i> sp.	4	2,5	2,5	1,0	0,5	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Trichoderma</i> sp.	5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Trichoderma</i> sp.	6	3,0	0,0	1,0	0,0	2,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0
<i>Cladosporium</i> sp.	1	0,5	4,0	0,0	0,5	0,0	0,5	0,0	0,5	0,0	0,0
<i>Cladosporium</i> sp.	2	0,0	4,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Cladosporium</i> sp.	3	0,0	3,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Cladosporium</i> sp.	4	0,0	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Cladosporium</i> sp.	5	0,0	1,0	0,0	0,5	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Cladosporium</i> sp.	6	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

* 1- Plaqueamento direto (média de 100 grãos); 2- Blotter Test (média de 200 grãos)

O *Aspergillus* sp., gênero mais incidente nas amostras de arroz branco polido, indiferente do método de detecção, foi substancialmente eliminado ao longo das doses de irradiação gama.

O gênero *Penicillium*, detectado em todas as seis amostras de arroz branco polido analisadas pelo Blotter Test, foi completamente eliminado em cinco amostras com 2,5kGy e, em uma delas, com 5kGy. Pelo plaqueamento direto, as seis amostras de arroz contaminadas apresentaram-se livres deste gênero com a dose de 2,5kGy.

A incidência de *Fusarium* spp., detectado em cinco amostras de arroz branco polido por meio do plaqueamento direto, foi nula com a utilização da dose 2,5kGy. Pelo Blotter Test, das seis amostras de arroz contaminadas, três

apresentaram ausência deste gênero pela exposição a 2,5kGy e as outras três, com a dose 5kGy.

O *Cladosporium* sp., presente em apenas uma amostra de arroz branco polido pelo plaqueamento direto, foi completamente eliminado com a utilização da dose 2,5kGy. No Blotter Test, este gênero, detectado nas seis amostras de arroz branco polido, foi eliminado em cinco delas com a utilização de 2,5kGy e em uma, com a exposição a 10kGy.

O gênero *Trichoderma*, presente naturalmente em três amostras de arroz branco polido segundo o plaqueamento direto e em um amostra pelo Blotter Test, foi reduzido ou até mesmo completamente eliminado com o emprego de 2,5kGy.

A incidência de fungos, mesmo após exposição a altas doses de irradiação gama, sugere que os mesmos podem apresentar algum mecanismo de resistência a este tratamento ou, até mesmo, colocar em dúvida a vida útil da fonte de Co⁶⁰, taxa de dose utilizada no presente estudo, dentre outras possíveis variáveis desta técnica.

Recentemente, espécies de fungos chamados de radiotróficos foram descobertos vivendo no interior e em torno do reator nuclear de Chernobyl, na Ucrânia, célebre pelo acidente ocorrido na década de 1980. De acordo com Dadachova et al. (2007), a resistência destas espécies à irradiação pode estar relacionada à presença de melanina.

Estudo realizado por Castelvechi (2007) mostrou que três fungos melanizados, *Cladosporium sphaerospermum*, *Wangiella dermatitidis* e *Cryptococcus neoformans*, aumentaram sua biomassa e acumularam acetato mais rapidamente quando expostos à irradiação, sugerindo que a irradiação pode alterar as propriedades eletrônicas da melanina, de forma a transformar o pigmento em transdutor de energia utilizada para o crescimento e a sobrevivência das espécies.

Para Dadachova et al. (2007), a melanização, no entanto, tem um custo metabólico elevado para as células fúngicas; na ausência de irradiação, fungos não-melanizados cresceram mais rapidamente que os fungos "melanizados". Acredita-se que a utilização limitada de nutrientes, devido à parede celular melanizada desses fungos e a intermediários tóxicos formados na biossíntese deste pigmento, possam contribuir para este fenômeno. Considerando essa possibilidade, fungos melanizados sobreviventes em alimentos irradiados podem ter seu crescimento desacelerado após o tratamento.

3.4 Doses de irradiação eficazes no controle de fungos em arroz

A irradiação gama (Co^{60}) reduziu significativamente ($P < 0,05$) a população fúngica dos gêneros *Fusarium*, *Aspergillus*, *Penicillium* e *Cladosporium* presentes no arroz branco polido, conforme os resultados da análise de variância (ANAVA) apresentados na Tabela 5.

TABELA 5 Análise de variância, significâncias, coeficientes de variação e valores médios da incidência de *Fusarium* sp., *Trichoderma* sp., *Aspergillus* sp., *Penicillium* sp. e *Cladosporium* sp. nos grãos de arroz branco polido submetidos a diferentes doses de irradiação gama (Co^{60}), segundo os métodos de detecção, plaqueamento direto e Blotter Test

Causa de variação	GL	Variáveis				
		<i>Fusarium</i> sp.	<i>Trichoderma</i> sp.	<i>Aspergillus</i> sp.	<i>Penicillium</i> sp.	<i>Cladosporium</i> sp.
Irradiação	4	0,0000*	0,0223	0,0000*	0,0003*	0,0002*
Bloco	5	0,1169	0,0204	0,1400	0,5321	0,7005
Erro	50					
Total corrigido	59					
CV (%)		163,51	183,78	149,84	299,13	243,55
Média geral		0,42	0,36	2,36	4,02	0,30

*Valor do teste F, significativo a 5% de probabilidade

A Figura 1 representa os modelos não-lineares correspondentes ao efeito significativo da irradiação gama no controle dos gêneros fúngicos presentes no arroz branco polido.

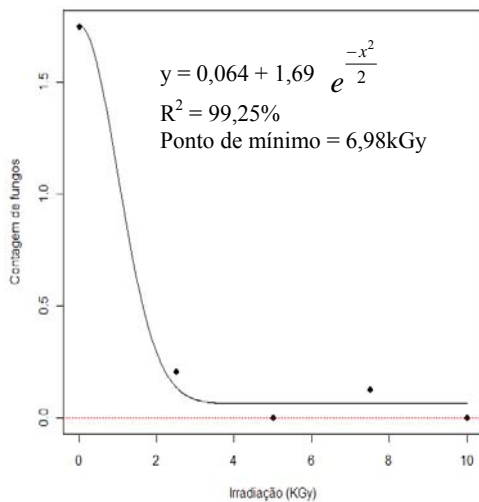


Figura 1 a

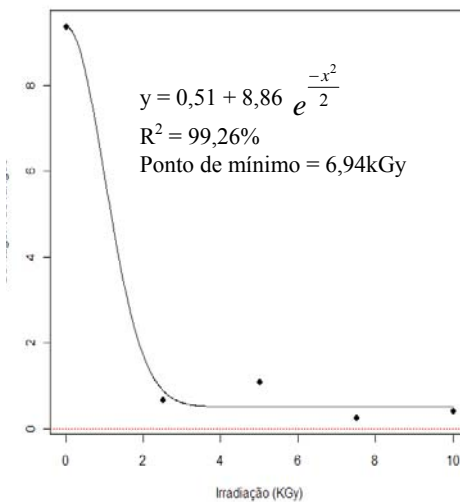


Figura 1 b

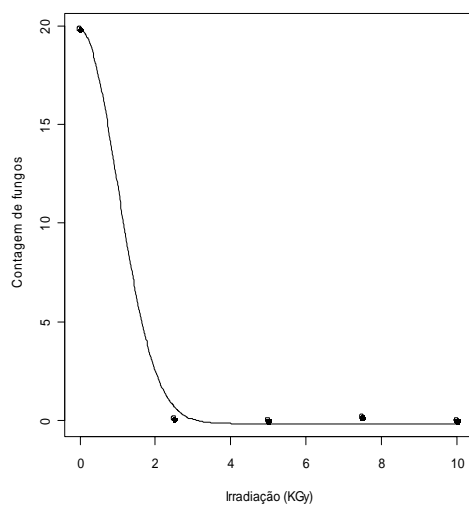


Figura 1 c

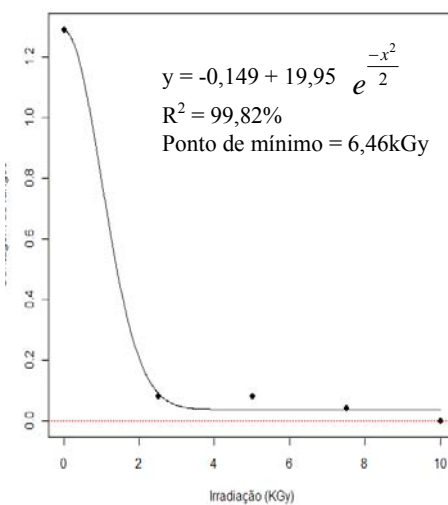


Figura 1 d

FIGURA 1 Representação gráfica, equação de regressão e coeficiente de determinação da contagem de *Fusarium* sp. (Figura 1a), *Aspergillus* sp. (Figura 1b), *Penicillium* sp. (Figura 1c) e *Cladosporium* sp. (Figura 1d) presentes nas amostras de arroz branco polido, em função da irradiação gama (Co^{60})

Pôde-se observar que alguns fungos são mais sensíveis à irradiação gama do que outros. Nesse sentido, as doses mínima e máxima de irradiação, relacionadas à contagem mínima de fungos no arroz, foram de 6,46kGy, para o *Cladosporium* sp. e de 7,01kGy para o *Penicillium* sp., respectivamente. Quanto aos demais fungos, as doses de irradiação que mais contribuíram para a redução da população fúngica foram: 6,94kGy para o *Aspergillus* sp. e 6,98Kgy para o *Fusarium* sp.

As diferenças entre as doses eficientes na redução de cada gênero fúngico podem ser justificadas pelos vários fatores que podem influenciar a sensibilidade de microrganismos à irradiação, em especial: o número de unidades contaminantes, as habilidades inerentes de cada gênero e espécie, a composição do meio, a temperatura durante a irradiação e a presença ou a ausência de oxigênio. As reações entre radiação ionizante e os componentes celulares ocorrem numa relação diretamente proporcional à quantidade de energia que é absorvida, fazendo com que a injúria provocada pela irradiação varie em função da dose aplicada (Urbain, 1986; Ouattara et al., 2002).

Chiou et al. (1990), verificando o grau de contaminação fúngica natural em grãos de amendoim após irradiação, verificaram que os fungos foram completamente eliminados em dose igual ou maior a 5,0 kGy. Em contrapartida, Prado et al. (2006) observaram que, até 5kGy, ocorre apenas a redução da contaminação fúngica. A ausência total de fungos no amendoim se estabeleceu apenas a partir de 10kGy e se manteve durante seis meses, à temperatura ambiente. Segundo Gunes (2005), para uma variedade de frutos, doses de até 3,5kGy resultaram em redução na contagem de bolores e inibiram significativamente o crescimento dos fungos durante o armazenamento.

Independentemente da capacidade de reduzir a carga de agentes de infecção alimentar, sejam eles fungos, bactérias ou outros microrganismos, a irradiação não cria condições para evitar uma nova contaminação do alimento e

também não reduz as toxinas geradas antes da irradiação. Por esse motivo, a irradiação deve ser encarada como um processo complementar às boas práticas de produção, transporte e armazenamento, elevando o grau de segurança e o prazo de validade desses alimentos.

4 CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos e nas condições em que essa pesquisa foi desenvolvida pode-se concluir que:

- os gêneros fúngicos detectados na amostras de arroz branco polido são de *Penicillium*, *Aspergillus*, *Cladosporium*, *Fusarium* e *Trichoderma*;
- as espécies fúngicas detectadas nos grãos de arroz branco polido são: *Aspergillus flavus*, *Aspergillus foetidus* e *Trichoderma viride*;
- a irradiação gama (Co^{60}) diminui consideravelmente o número de grãos de arroz branco polido contaminados: 96,7%, segundo metodologia do plaqueamento direto e até 100% pelo Blotter Test;
- as doses de irradiação gama efetivas na redução da população fúngica de cada um dos gêneros encontrados são de 7,01kGy para o *Penicillium* sp., 6,98 kGy para o *Fusarium* sp., 6,94Kgy para *Aspergillus* sp. e 6,46 para *Cladosporium* sp.;
- a faixa de dose estatisticamente significativa para o controle de fungos no arroz é de 6,46kGy a 7,01kGy.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALONÇO, A.S. Perdas de colheita e regulagens de colhedoras de arroz. In: SIMPÓSIO SUL BRASILEIRO DE QUALIDADE DE ARROZ, 1., 2003, Pelotas. **Anais...** Pelotas: UFPel, 2003. 83-108p.

AQUINO, S.F.; FERREIRA, F.; RIBEIRO, D.H.B.; CORRÊA, B.; GREINER, R.; VILLAVICENCIO, A.L.C.H. Evaluation of viability of *Aspergillus flavus* and aflatoxins degradation in irradiated samples of maize. **Brazilian Journal of Microbiology**, São Paulo, v.36, n.4, p.352-356, 2005.

AZIZ, N. H.; MAHROUS, S. R. Effects of gamma irradiation and chemical composition of some crop seeds on aflatoxin B1 production by *Aspergillus flavus*. **Journal of Agricultural Sciences Mansoura University**, Cairo, v. 28, n. 1, p. 649-661, Oct./Dec. 2003.

CARVALHO, R.A. de. **Incidência de fungos e aflatoxinas em arroz (*Oryza sativa* L.)**. 2008. 55p. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.

CASTELVECCHI, D. Dark power: pigment seems to put radiation to good use. **Science News**, Washington, v.171, n.21, p.235, 2007.

CHIOU, R.Y.Y.; LIN, C.M.; SHYU, S.L. Property characterization of peanut kernels subjected to gamma irradiation and its effect on the outgrowth and aflatoxin production by *Aspergillus parasiticus*. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 55, n. 1, p. 210-213, Jan./Feb. 1990.

DADACHOVA, E.; BRYAN, R.A.; HUANG, X.; MOADEL, T.; SCHWEITZER, A.D.; AISEN, P.; NOSANCHUK, J.D.; CASADEVALL, A. Ionizing radiation changes the electronic properties of melanin and enhances the growth of melanized fungi. 2007. **Critical Review in Food Science Nutrition**, Boca Raton, v.30, n.6, p.403-39, 1991.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Rice around the world**. Disponível em: <<http://www.fao.org/rice2004>> Acesso em: 02 jul. 2006.

FREIRE, F.C.O.; VIEIRA, I.G.P.; GUEDES, M.I.F.; MENDES, F.N.P.
Micotoxinas: importância na alimentação e na saúde humana e animal.
Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2007. 48p.

GUNES, G. Gama isinlari ile gidalarda mikotoksin olusumunun kontrolu. In:
ULUSAL MIKOTOKSIN SEMPOZYUMU BILDIRILER KITABI, 2., 2005,
Tekirdag. **Annals...** Tekirdag: [s.n.], 2005. 199p.

HOELTZ, M. **Estudo da influência de manejos pós-colheita na incidência de fungos e micotoxinas no arroz (*Oryza sativa* L.)**. 2005. 77p. Dissertação (Mestrado em Microbiologia Agrícola e do Ambiente) - Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

HUSSAINI, A.M. TIMOTHYM, A.G.; OLUFUNMILAYO, H.A.; E.A. GODWIN, H.O. Fungi and some mycotoxins contaminating rice (*Oryza sativa*) in Niger State, Nigéria. **African Journal of Biotechnology**, Nairobi, v.6, n.2, p.99-108, 2007.

HUSSEIN, H. S.; BRASEL J. M. Toxicity, metabolism, and impact of mycotoxins on humans and animals. **Toxicology**, Clare, v.167, n.2, p.101-134, Oct. 2001.

KLICH, M.A. **Identification of common *Aspergillus* Species**. Utrecht: Centraalbureau voor Schimmelcultures, 2002. 116p.

LIMA, C.A.P.; ORSI, R.B.; DILKIN, P.; CORRÊA, B. Mycoflora and aflatoxigenic in derivatives of milled rice. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.20, n.1, p.37-39, jan./abr. 2000.

NEERGAARD, P. **Seed Pathology**. London: The MacMillan, 1977. v.2, 839 p.

NUNES, I.L. **Micotoxinas, micoflora e seu potencial toxigênico em arroz destinado ao consumo humano**. 2001. 95p. Dissertação (Mestrado em Engenharia em Engenharia de Alimentos) - Fundação Universidade Federal de Rio Grande, Porto Alegre.

OUATTARA, B.; SABATO, S.F.; LACROIX, M. Use of gamma-irradiation technology in combination with edible coating to produce shelf-stable foods. **Radiation Physics Chemistry**, Oxford, v.63, n.3-6, p.305-310, Mar. 2002.

PITT, J.I.; HOCKING, A.D. **Fungi and food spoilage**. Weimar: Blackie Academic & Professional, 1999. 529p.

PRADO, G.; CARVALHO, E.P.; MADEIRA, J.E.G.C.; MORAIS, V.A.D.; OLIVEIRA, R.F.C.; CARDOSO, V.N. Efeito da irradiação gama (^{60}Co) na frequência fúngica de amendoim in natura em função do tempo de prateleira. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 30, n. 5, p. 930-936, set./out. 2006.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R**: a language and environment for statistical computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2009. Disponível em: <<http://www.R-project.org>>. Acesso em: 13 jan. 2009.

RODRIGUES JORGE, M.; GARZÓN, E. S. Control mediante radiaciones gamma de flora fungica presente en alimentos de consumo humano y animal. **Alimentaria**, Madrid, v. 95, p. 115-117, 1993.

SAMSON, R. A.; HOEKSTRA, E. S.; FRISVAD, J. C.; FILTENBORG, O. **Introduction to food and air-borne fungi**. 6. ed. Baarn: CBS, 2000. 389 p.

TONON, S.A; MARUCCI, R.S.; JERKE, G; GARCIA, A. Mycoflora of paddy and milled rice produced in the region of Northeastern Argentina and Southern Paraguay. **International Journal of Food Microbiology**, Amsterdam, v.37, n.213, p.231-235, 1997.

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

CAPÍTULO 3

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO ARROZ SUBMETIDO À IRRADIAÇÃO GAMA (Co^{60})

RESUMO

A aplicação da irradiação ionizante surge como prática promissora para a segurança alimentar. Entretanto, assim como outras técnicas de processamento de alimentos, pode causar mudanças na composição química e no valor nutricional dos alimentos. Dessa forma, este trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar a qualidade do arroz branco polido submetido à irradiação gama (Co^{60}), por meio das propriedades físico-químicas, físicas, tecnológicas, reológicas e microestruturais. Os resultados demonstraram que o emprego da irradiação gama, com doses de 6,5kGy e 7,5kGy, não alterou significativamente a composição centesimal, o valor calórico, a acidez titulável, a atividade de água (a_w) e a microestrutura dos grânulos de amido do arroz. Contudo, interferiu na qualidade culinária, com menor expansão do volume e maior perda de sólidos solúveis, na propriedade de pasta, com redução da viscosidade máxima, viscosidade final e da tendência à retrogradação, além de diminuição do pH e alteração da coloração. Foi detectada a presença de radicais livres no arroz branco polido recém-irradiado, o que não mais ocorreu após quatro meses. A similaridade da qualidade do arroz irradiado com os parâmetros desejáveis citados na literatura para este cereal leva a inferir que a irradiação gama não altera as principais características decisivas para a aceitabilidade do mesmo, além de contribuir para melhorar algumas de suas propriedades tecnológicas.

ABSTRACT

The application of ionizing irradiation appears promising as a practice for food security, however, as other techniques of food processing, can cause changes in chemical composition and nutritional value of foods. Thus, this study was to evaluate the quality of polished white rice subjected to gamma irradiation (Co^{60}), through physical and chemical properties, physical, technological, rheological and microstructural. The results showed that the use of gamma irradiation with doses of 6,5kGy and 7,5kGy, did not alter significantly the proximate composition, caloric value, the acidity, the water activity (a_w) and the microstructure of starch granules of rice, however, affect the quality food with less expansion of the volume and greater loss of soluble solids; property of the folder, with maximum reduction of viscosity, final viscosity and the tendency to regress, besides the decrease in pH and change of color. Was detected the presence of free radicals in the newly polished white rice irradiated, which no longer occurred after four months. The similarity of the quality of rice irradiated with the desired parameters cited literature for this cereal, shows that the gamma irradiation does not alter the key features crucial to the acceptability of, and contribute to improve some of its technological properties.

1 INTRODUÇÃO

De acordo com a literatura, diversas espécies fúngicas têm sido detectadas em diferentes subgrupos de arroz (Pitt & Miscamble, 1994; Coelho, 1998; Lima et al., 2000 e Park et al., 2004). Este fato é preocupante, uma vez que, além de ocasionar perdas econômicas diretas pelo declínio da produção e da comercialização, diversos fungos filamentosos podem produzir as micotoxinas, substâncias termorresistentes oriundas do metabolismo secundário dos mesmos, que podem permanecer após o processamento dos alimentos e causar diversos efeitos tóxicos agudos e crônicos, como a imunossupressão e a carcinogenicidade (Kiesling, 1986).

A irradiação de alimentos como medida preventiva e coadjuvante no controle de toxinfecções alimentares pode elevar a segurança alimentar, por contribuir para a redução de microrganismos patogênicos aos níveis desejáveis, por um tempo maior nas prateleiras, muitas vezes inatingíveis por outros métodos (Omi, 2005).

Entretanto, uma preocupação constante nos dias atuais tem sido utilizar novas alternativas de conservação que mantenham as qualidades originais dos alimentos. Segundo Wiendl (1984), assim como outras técnicas de processamento de alimentos, a irradiação pode ocasionar mudanças na composição química e no valor nutricional, embora menos significativas do que outros tipos de tratamentos, por se tratar de um método a “frio”. Segundo o autor, a natureza e a extensão dessas mudanças dependem do tipo, da variedade e da composição dos alimentos, da dose de irradiação recebida e das condições ambientais durante e após a irradiação.

Conforme a Food and Agriculture Organization of the United Nations & World Health Organization (FAO/WHO) (2000), doses de irradiação até 10kGy

asseguram a inocuidade dos alimentos, do ponto de vista microbiológico, nutricional e toxicológico. No Brasil (2001), a resolução RDC nº 21 permite a irradiação de qualquer alimento, com a condição de que a dose máxima absorvida seja inferior àquela que comprometa as propriedades funcionais e ou os atributos sensoriais do alimento e que a dose mínima absorvida seja suficiente para alcançar o objetivo pretendido (Brasil, 2001).

Levando em consideração que as características determinantes da qualidade dos grãos de arroz refletem diretamente na aceitação do produto pelo consumidor, o presente trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar a qualidade do arroz submetido a doses de irradiação gama (Co^{60}) determinadas no Capítulo 2 como significativas no controle de fungos neste cereal, por meio das propriedades físico-químicas, físicas, tecnológicas, reológicas e microestruturais.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Amostra

Para esta pesquisa, sete amostras comerciais de arroz branco polido, longo fino, tipo 1, contidas em embalagem de 2kg, que se apresentavam em perfeito estado de integridade física e dentro dos prazos de validade, foram coletadas em redes de supermercado das cidades de Lavras (seis amostras) e de Belo Horizonte (uma amostra), ambas em Minas Gerais.

2.2 Processo de irradiação

2.2.1 Preparo das amostras

Cada amostra de arroz branco polido foi homogeneizada e fracionada em três subamostras de 500g, sendo duas delas destinadas às respectivas doses de irradiação sob estudo e a outra utilizada como controle (não-irradiada). Todas as amostras foram acondicionadas em embalagens plásticas de polietileno, devidamente lacradas e identificadas, conferindo condições mais uniformes durante o processo de irradiação.

2.2.2 Procedimento de irradiação e acondicionamento das amostras

As amostras de arroz branco polido foram irradiadas utilizando-se o irradiador Gammacell panorâmico GB-127, IR-214 (MDS Nordion, Canadá) com fonte de cobalto (Co^{60}) armazenada a seco, no Laboratório de Irradiação Gama (LIG) do Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN). As doses empregadas no processo de irradiação gama (Co^{60}) foram 6,5kGy e 7,5kGy (faixa de doses significativas na redução da população fúngica presente no arroz branco polido, conforme Capítulo 2). Para a otimização do processo, utilizou-se a taxa de dose 6,0kGy/hora. O tempo de exposição para se obter cada

uma das doses médias absorvidas (65 minutos para a dose 6,5kGy e 75 minutos para a dose 7,5kGy) foi calculado levando-se em consideração o decaimento da fonte, sendo todo o controle realizado automaticamente pelo próprio irradiador. A disposição das amostras em mesas giratórias localizadas ao redor da fonte de Co^{60} , com distância à fonte mediante às doses empregadas, possibilitou a irradiação simultânea das mesmas.

Foram mantidas condições de temperatura ambiente de $\pm 5^\circ\text{C}$, antes, durante e após o processo de irradiação.

Para a realização das análises da qualidade do arroz após o processo de irradiação, as amostras, controle e irradiadas, foram trituradas em moinho TE 631/2 (Tecnal, Brasil), tamisadas em peneiras de 250 mesh e acondicionadas à temperatura ambiente ($\pm 25^\circ\text{C}$), em recipientes de vidro tampados.

2.3 Análises físico-químicas

2.3.1 Composição centesimal

As análises do teor de umidade, proteína bruta, extrato etéreo, cinza e fração glicídica do arroz branco polido foram realizadas de acordo com a metodologia indicada pela Association of Official Analytical Chemists (AOAC) (2006), com base na matéria integral.

A análise da composição centesimal foi conduzida no Laboratório de Grãos e Cereais do Departamento de Ciência dos Alimentos (DCA), na Universidade Federal de Lavras (UFLA).

a) Umidade

A umidade do arroz foi determinada por meio gravimétrico, em que as amostras foram secas em estufa, a 105°C , até peso constante.

b) Extrato etéreo (lipídeo)

O extrato etéreo foi determinado por extração contínua em aparelho tipo Soxhlet, utilizando o éter etílico como solvente orgânico.

c) Proteína bruta

O teor de nitrogênio total foi determinado pelo método de Microkjeldahl, sendo o teor proteico obtido pela multiplicação do conteúdo de nitrogênio total pelo fator de conversão 5,95.

d) Fibra bruta

As fibras totais foram determinadas por método gravimétrico após hidrólise ácida, segundo metodologia descrita por Kamer & Ginkel (1952). O resultado foi expresso em porcentagem de fibra bruta na matéria integral.

e) Resíduo mineral fixo (cinza)

O resíduo mineral fixo foi determinado gravimetricamente, considerando a perda de peso da amostra submetida à incineração, a 550°, em mufla, por um período suficiente para a queima de toda matéria orgânica.

f) Fração glicídica (extrato não nitrogenado)

O teor de carboidratos totais foi determinado por diferença, segundo a equação 1:

$$\% \text{ F.G.} = 100 - (\text{U} + \text{EE} + \text{P} + \text{F} + \text{C}) \quad (1)$$

em que:

FG = fração glicídica (%);

U = umidade;

EE = extrato etéreo (%);
P = proteína (%);
F = fibra bruta (%) e C = cinzas (%).

Valor calórico

O valor calórico das amostras de arroz foi determinado segundo Osborne & Voogt (1978), utilizando os fatores de conversão de Atwater: 4 kcal/g para proteína, 4 kcal/g para carboidratos e 9 kcal/g para lipídeos, de acordo com a equação 2:

$$VC = (\% \text{ proteína} \times 4,0) + (\% \text{ extrato etéreo} \times 9,0) + (\% \text{ carboidratos} \times 4,0) \quad (2)$$

2.3.2 pH

Para calcular o potencial hidrogeniônico, preparou-se um extrato com 10g de amostra de arroz triturada em 100 ml de água destilada e, após 10 minutos de agitação em agitador magnético, determinou-se o pH por meio da leitura do líquido sobrenadante em pHmetro digital, conforme metodologia descrita por Cecchi (2003). A análise do pH foi realizada no Laboratório de Laticínios do DCA/UFLA.

2.3.3 Acidez total titulável

A análise da acidez total titulável foi realizada no Laboratório de Laticínios do DCA/UFLA. Para a dosagem da acidez titulável, adicionaram-se 2 gotas da solução de fenolftaleína ao mesmo material utilizado para a determinação do pH e, sob agitação, titulou-se NaOH (0,1 N), até a obtenção de coloração rósea, conforme Instituto Adolfo Lutz (1985). O resultado foi expresso em miliequivalentes de NaOH por cem gramas da amostra integral, utilizando-se a equação 3:

$$A.T.T.= \frac{v \times f \times 100}{P \times c} \quad (3)$$

sendo:

A.T.T.= acidez total titulável;

v = nº de mL da solução de hidróxido de sódio 0,1 N gasto na titulação;

f= fator da solução de hidróxido de sódio 0,1N;

P = nº de g da amostra usado na titulação;

c = correção para solução de NaOH 0,1 N.

2.4 Análises físicas

2.4.1 Atividade de água

Para a determinação da atividade de água, utilizou-se o aparelho digital AquaLab, modelo CX-2 (Decagon Devices Inc., EUA), com leituras em temperatura controlada de $25 \pm 0,3^\circ\text{C}$. A análise de atividade de água foi realizada no Laboratório de Operações Unitárias e Bioengenharia do DCA/UFLA.

2.4.2 Cor

A análise da cor instrumental foi realizada no Laboratório de Análise Sensorial do DCA/UFLA. A análise instrumental da cor foi realizada por meio da média de cinco determinações, sendo uma no centro e as outras quatro no perímetro da placa de Petri contendo a amostra, utilizando-se um colorímetro CR-400 Minolta Chromameter (Minolta máquina fotográfica Cia., Ltd., EUA). As amostras foram colocadas em uma placa de Petri e a escala CIE-Lab foi utilizada para medir a cor dos filmes. O L^* indica a claridade e a^* e b^* são as coordenadas de cromaticidade, em que L^* varia de 0 (preto) a 100 (branco), a^* varia do verde (-) ao vermelho (+) e b^* varia do azul (-) ao amarelo (+) (Minolta, 1997). A diferença da cor total foi obtida por meio da equação 4:

$$\Delta E^* = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{0,5} \quad (4)$$

em que:

ΔE^* = valor para diferença de cor;

ΔL^* = L amostra controle – L amostra;

Δa^* = a amostra controle – a amostra;

Δb^* = b amostra controle – b amostra.

Os valores padrões da amostra controle foram: L = 90,61, a = 0,34 e b = 6,66, respectivamente.

2.4.3 Difractometria de raio X

Os difractogramas de raio X foram obtidos utilizando-se difratômetro D-Max (Rigaku, Japão) equipado com tubo de cobalto (radiação Co-K α , γ = 1,79026 Å), com um monocromador de cristal curvo de grafite no feixe difratado, operado com uma diferença de potencial de 40 kV e corrente elétrica de 30 mA. A cristalinidade relativa dos amidos foi determinada traçando-se no difractograma uma linha na base dos picos principais. A análise de difractometria de raio X foi conduzida no Laboratório de Solos, do Departamento de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Viçosa.

2.4.4 Ressonância paramagnética eletrônica (RPE)

Para avaliar a utilização da técnica de RPE na detecção do arroz irradiado, perante a determinação quantitativa de radicais livres, três amostras de arroz branco polido recém-irradiadas (janeiro/2009) e três amostras irradiadas há quatro meses (outubro/2008) foram introduzidas em tubos de quartzo de 0,2x10,0mm, para serem analisadas pela RPE. Os espectros de RPE foram gravados à temperatura ambiente, em um espectrômetro equipado com uma cavidade cilíndrica (Bruker) que opera na faixa de frequências de micro-ondas

de 9,4GHz (Varian) e modulação do campo magnético em 100kHz. Esta análise foi realizada no Departamento de Física da Universidade Federal de Minas Gerais.

2.5 Qualidade tecnológica

Teste de Cocção

O teste de cocção é um importante método empregado para avaliar a qualidade culinária de grãos de arroz. Esta análise foi conduzida no Laboratório de Grãos e Cereais do DCA/UFLA e envolveu os seguintes parâmetros:

a) Tempo de cozimento

O tempo de cozimento é definido como o tempo necessário para a total gelatinização do amido. A determinação se deu com a colocação de 10g de arroz inteiro em 500 ml de água destilada, em ebulição e, após 15 minutos, foram tomados alguns grãos entre duas lâminas de vidro, comprimindo-os. Esta compressão repetiu-se a cada determinados intervalos de tempo, até que o arroz se apresentasse sem nenhum núcleo branco no centro, de acordo com prática adotada por Hummel (1996) e Ciacco & Chang (1986).

b) Índice de absorção de água

Esta característica é determinada pelo aumento de peso durante a cocção e, para tanto, 10g de arroz inteiro foram cozidos em 500 ml de água, pelo tempo ótimo de cocção predeterminado. O arroz foi drenado em peneira e deixado, durante cinco minutos, em papel absorvente para eliminar a água da superfície dos grãos, sendo, em seguida, pesado e o coeficiente de absorção de água dado pela relação do peso do arroz cozido/peso do arroz cru, conforme Hummel (1996) e Donnelly (1979).

c) Coeficiente de expansão do volume

A expansão do volume foi determinada medindo-se, em proveta graduada, o volume de 100 ml de querosene, que foi deslocado por 10g de arroz cru, procedendo-se, igualmente, com o arroz cru, depois de cozido pelo tempo previamente determinado. O coeficiente de expansão do volume foi dado pela relação volume, deslocado pelo arroz cozido/volume, deslocado pelo arroz cru, segundo Donnelly (1979) e Ciacco & Chang (1986).

d) Perda de sólidos solúveis

A perda de sólidos solúveis na água de cozimento foi determinada medindo-se, numa proveta graduada de 500 ml, a água de cozimento de 10g de arroz em 500 ml de água destilada, depois de escorrido o arroz e coletando-se, a seguir, uma alíquota de 10 ml, a qual foi colocada em placa de Petri (previamente tarada) e levada à estufa, a 105°C, durante cinco horas, resfriada em dessecador, durante 30 minutos e pesada novamente. O resíduo seco presente na água de cozimento foi obtido pela diferença entre as duas pesagens das placas de Petri. A percentagem de perda de sólidos solúveis se deu pela equação 5, de acordo com Maradini Filho (1983) e Ciacco & Chang (1986):

$$\%PSS = \frac{v \times rs \times 100}{a \times p} \quad (5)$$

em que:

PSS= perda de sólidos solúveis;

v= volume (ml) da água de cocção;

rs= resíduo seco;

a = alíquota (ml) da água de cocção;

p = peso do arroz cru (g).

2.6 Propriedades reológicas

Características de pasta

A característica de pasta foi realizada na Gemacom Comércio e Serviços Ltda localizada na cidade de Juíz de Fora - MG. O perfil de viscosidade do arroz branco polido triturado foi avaliado em aparelho Rapid Visco Analyser, série 4 (RVA; Newport Scientific Pty Ltd, Sidney, Austrália), na concentração de 3,0g 25ml⁻¹ 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. Foi utilizada a programação Std 1 (Standard Analysis 1) do software Thermocline for Windows versão 3.06, para proceder a avaliação. Os resultados foram interpretados a partir de gráficos plotados pelo programa. A programação do equipamento utilizada no presente estudo é apresentada na Tabela 1.

TABELA1 Parâmetros do Rapid Visco Analyser (RVA) utilizados para determinação das propriedades de pasta do arroz branco polido não irradiado e irradiado

TEMPO	TIPO	VALOR
00h00min00	Temperatura	50°C
00h00min00	Velocidade	960 rpm
00h00min10	Velocidade	160 rpm
00hora01min00	Temperatura	50°C
00h04min42	Temperatura	95°C
00h07min12	Temperatura	95°C
00h11min00	Temperatura	50°C

2.7 Propriedades microestruturais

Microscopia óptica sob luz polarizada

Para a visualização da microestrutura dos grânulos de amido do arroz, foram preparadas lâminas contendo uma gota da dispersão aquosa de água, glicerol (1:1) e amido, e cobertas com lamínula. A adição do glicerol teve a

finalidade de diminuir o movimento browniano da amostra. As imagens foram obtidas em microscópio Olympus BX 51-p munido de sistema de filtro polarizador Olympus U-POT e sistema por fotomicrografias Olympus C5060-ADU (Olympus America Inc., New York, EUA), com aumento de 1.000 vezes. Esta análise foi conduzida no Laboratório de Tecnologia da Madeira do Departamento de Ciências Florestais da UFLA.

2.8 Delineamento experimental e análise dos resultados

As variáveis referentes à qualidade do arroz foram estudadas considerando-se o delineamento experimental inteiramente casualizado (DIC), com três doses de irradiação gama Co^{60} (0kGy, 6,5kGy e 7,5kGy) e seis repetições, para os grãos de arroz branco polidos.

Os dados obtidos foram analisados, estatisticamente, por meio de análise de variância (ANAVA) e contrastes mutuamente ortogonais, estabelecendo o nível mínimo de significância de 5% ($p < 0,05$). Utilizou-se o software R (R Development Core Team, 2009).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Análises físico-químicas

A composição físico-química corresponde à proporção dos grupos homogêneos de substâncias presentes em 100g de amostra, fornecendo, de forma geral, o valor nutritivo aproximado de um alimento (Cecchi, 2003).

3.1.1 Análise centesimal

Na Tabela 2 são apresentados os resultados da análise de variância (ANAVA) obtidos a partir dos resultados experimentais da composição centesimal e do valor calórico do arroz branco polido submetido a doses controladas de irradiação gama Co⁶⁰.

TABELA 2 Análise de variância, significâncias, coeficientes de variação e valores médios da umidade, extrato etéreo, proteína bruta, fibra bruta, cinza, fração glicídica e valor calórico do arroz branco polido submetido a diferentes doses de irradiação gama (Co⁶⁰).

Causa de variação	GL	Soma de quadrados						
		Umidade	Extrato etéreo	Proteína bruta	Fibra bruta	Cinza	Fração glicídica	Valor calórico
Irradiação	2	0,298 ^{n.s.}	0,905 ^{n.s.}	0,352 ^{n.s.}	0,547 ^{n.s.}	0,864 ^{n.s.}	0,538 ^{n.s.}	0,382 ^{n.s.}
Erro	18							
Total Corrigido	20							
CV (%)		4,94	26,57	5,35	41,13	35,85	0,89	0,84
Média geral		12,01	0,71	7,70	0,30	0,48	78,8	352,39

n.s - Não significativo, a 5% de probabilidade, pelo teste F

Os teores de umidade, extrato etéreo, proteína bruta, fibra bruta, cinza, carboidratos totais (fração glicídica) e valor calórico das amostras de arroz branco polido, na base integral, não diferiram significativamente ($p > 0,05$) em

relação às doses de irradiação, concordando com os resultados obtidos por Zanão (2007) para o arroz irradiado.

De acordo com a Tabela Brasileira de Composição de Alimentos (USP, 2006), a composição centesimal do arroz polido cru apresenta 12,33 g 100g⁻¹ de umidade, 6,73g 100g⁻¹ de proteína, 0,89g 100g⁻¹ de lipídeos totais, 79,57g 100g⁻¹ de carboidratos totais e 0,48g 100g⁻¹ de cinzas. Considerando os valores referenciados, os teores obtidos no presente estudo estão dentro do esperado. O fato de a irradiação não alterar a qualidade nutricional do arroz branco polido é de suma importância para que o seu emprego possa ser implementado.

a) Umidade

Os teores médios de umidade do arroz branco polido analisado (12,01g 100g⁻¹) satisfazem à exigência da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa) (Brasil, 2006), que estabelece o limite máximo de umidade de 14,50g 100g⁻¹ para o arroz cru e se assemelha aos valores encontrados na literatura para o arroz cru, os quais variaram de 12,01g 100g⁻¹ a 13,2g 100g⁻¹ (Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP, 2006; Universidade de São Paulo - USP, 2006).

O teor de umidade dos grãos é um importante aspecto para a conservação da qualidade do alimento, já que a mesma pode influenciar diretamente a composição química e o desenvolvimento de microorganismos.

b) Extrato etéreo (lipídeo)

O resultado da concentração média de lipídio no arroz branco polido (0,71g 100g⁻¹) se apresentou um pouco acima dos valores encontrados por alguns autores, de 0,38g 100g⁻¹ a 0,62g 100g⁻¹ (Ascheri et al., 2006; Maia et al., 1999). O teor lipídico do arroz depende, principalmente, da variedade e do tipo de beneficiamento a que o grão foi submetido.

c) Proteína bruta

O teor proteico de $7,32\text{g } 100\text{g}^{-1}$ encontrado nas amostras de arroz branco polido analisadas concorda com os valores médios encontrados na literatura, os quais variaram de $6,73\text{g } 100\text{g}^{-1}$ a $8,72\text{g } 100\text{g}^{-1}$ (UNICAMP, 2006; USP, 2006 e Zanão, 2007).

Além da variedade, ou mesmo da mistura de variedades, o teor proteico do arroz está diretamente relacionado ao tipo de processamento submetido. Segundo Castro et al. (1999), durante as etapas de beneficiamento dos grãos de arroz acontecem perdas de proteínas, vitaminas e minerais que encontram-se nas frações que recobrem o endosperma da semente e no germe que são retirados durante o processo.

d) Fibra bruta

A irradiação gama também não interferiu nos teores de fibras totais do arroz analisado. As amostras de arroz irradiado analisadas apresentaram teor médio de $0,3\text{g } 100\text{g}^{-1}$ de fibra bruta, estando próximo aos valores encontrados por Castro et al. (1999), de $0,5\text{g } 100\text{g}^{-1}$. Portanto, a irradiação também não interfere nos teores de fibras totais do arroz.

Apesar de não sofrerem hidrólise durante a digestão e, portanto, não possuírem valor calórico, as fibras alimentares estão relacionadas a diversas funções fisiológicas importantes ao organismo humano.

e) Resíduo mineral fixo (cinza)

No presente estudo, foram encontrados teores de cinzas no arroz em torno de $0,48\text{g } 100\text{g}^{-1}$, estando próximo aos resultados observados em outros estudos para arroz cru, de $0,34\text{g } 100\text{g}^{-1}$ à $0,45\text{g } 100\text{g}^{-1}$ (Ascheri et. al., 2002; Castro et al., 1999).

Zanão (2007), estudando a irradiação gama no intuito de eliminar pragas no arroz, ressalta que esse tipo de tratamento não altera os teores de cinza neste cereal.

f) Fração glicídica (extrato não nitrogenado)

O arroz branco polido, analisado no presente trabalho, apresentou teor de carboidratos totais de $78\text{g } 100\text{g}^{-1}$. Essa concentração da fração glicídica situa-se abaixo do citado por Maia et al. (1999), de $87,47\text{g } 100\text{g}^{-1}$, mas próximos dos encontrados por Ascheri et al. (2006), para o arroz cru. Zuleta et al. (2006), estudando a composição química do arroz exposto à irradiação gama, também não encontraram diferença na composição de carboidratos totais.

Valor calórico

O valor calórico médio de $351,81\text{g } 100\text{g}^{-1}$ do arroz branco polido analisado se assemelha ao encontrado por Ascheri et al. (2002), de $353,09\text{g } 100\text{g}^{-1}$.

As calorias de um determinado alimento representam a energia armazenada nas ligações químicas que são liberadas no organismo após o metabolismo dos nutrientes (Silva et al., 2007).

3.1.2 pH e acidez total titulável

De acordo com a Tabela 3 observa-se que as doses de irradiação gama (Co^{60}) não afetaram a acidez total do arroz branco polido, uma vez que, entre as doses e o controle, não houve diferença significativa ($p \geq 0,05$). Em contrapartida, o emprego da irradiação alterou significativamente os valores de pH do arroz branco polido analisado.

TABELA 3 Análise de variância, significâncias, coeficientes de variação e valores médios do pH e acidez total titulável do arroz branco polido submetido ao efeito da irradiação gama (Co^{60})

Causa de variação	GL	Soma de quadrados	
		pH	Acidez titulável
Irradiação	2	0,044*	0,509 ^{ns}
Erro	18		
Total corrigido	20		
CV (%)		1,75	19,85
Média geral		6,07	0,03

*Significativo, a 5%, pelo teste F

n.s - Não significativo, a 5% de probabilidade, pelo teste F

Na Tabela 4 são apresentados os contrastes mutuamente ortogonais, quanto à variável pH das amostras de arroz branco polido submetidas ao efeito da irradiação gama(Co^{60}).

TABELA 4 Contrastes mutuamente ortogonais dos valores médios do pH das amostras de arroz branco polido, controle (0kGy) e irradiadas com doses de 6,5 kGy e 7,5kGy

Contrastes	p-valor (t)
0kGy e 6,5kGy e 7,5kGy	0,033*
	0,168 ^{ns}

*Significativo, a 5%, pelo teste t

n.s - Não significativo, a 5% de probabilidade, pelo teste t

Os lipídeos dos grãos são passíveis de sofrerem quebra pelas lipases em ácidos graxos livres e glicerol durante o processamento e o armazenamento, especialmente quando a temperatura e a umidade estão altas e, assim, favorecer a alteração da acidez e possibilitar a deterioração (Silva et al., 2007). Além disso, os ácidos orgânicos influenciam o sabor, o odor, a cor, a estabilidade e a manutenção da qualidade (Cecchi, 2003). No presente estudo, o controle da

temperatura a $\pm 25^{\circ}\text{C}$, durante a pesquisa e o teor de umidade adequado, podem ter favorecido a manutenção da acidez total titulável no arroz branco polido.

De acordo com os contrastes ortogonais expressos na Tabela 4, existe diferença significativa entre a média do pH na dose zero e a média das doses 6,5kGy e 7,5kGy. Entretanto, as doses de irradiação estudadas não apresentaram diferença significativa entre si. O pH médio na dose controle (6,15) foi um pouco maior que o pH médio encontrado nas doses 6,5kGy e 7,5kGy, de 6,08. Apesar de o arroz branco polido ter apresentado um potencial hidrogeniônico (pH) um pouco menor após a irradiação, ele se situou na faixa de pH de 6,0 a 6,4, observada por Augusto-Ruiz et al. (2003), em estudo com arroz branco polido.

3.2 Análises físicas

3.2.1 Cor e atividade de água (a_w)

Na Tabela 5, são apresentadas as análises de variância (ANAVA) obtidas a partir dos resultados experimentais da atividade de água (a_w) e cor instrumental do arroz branco submetido a diferentes doses de irradiação gama.

TABELA 5 Análise de variância, significâncias, coeficientes de variação e valores médios da atividade de água (a_w), variáveis individuais da cor, L, a^* e b^* e de ΔE^* do arroz branco polido analisado em função da irradiação gama (Co^{60})

Causa de variação		Soma de quadrados				
		a_w	L	a^*	b^*	ΔE^*
Irradiação	2	0,105 ^{ns}	0,026*	0,000*	0,000*	0,000*
Erro	18					
Total corrigido	20					
CV (%)		2,58	1,07	74,79	6,67	26,85
Média geral		0,60	89,7	0,14	8,76	2,63

*Significativo, a 5% de probabilidade pelo teste F

n.s - Não significativo, a 5% de probabilidade, pelo teste F

O excesso de umidade nos grãos apresenta um relevante fator de perda por proporcionar condições ideais à proliferação microbiana. Valores superiores a 0,780 de a_w indicam um ambiente propício para o crescimento de fungos toxigênicos (Christensen & Kaufmann, 1974). No presente estudo, a atividade de água do arroz branco polido não se alterou com a utilização da irradiação gama (Co^{60}) e o valor médio (0,60) apresentado pelos grãos analisados se encontram dentro dos parâmetros adequados à conservação e à qualidade dos mesmos.

Quanto à coloração, as variáveis L, a^* e b^* alteraram-se significativamente quando o arroz branco polido foi exposto à irradiação gama (Co^{60}), conforme evidenciado pela significância de ΔE^* . Na Tabela 6 são apresentados os valores médios das variáveis L, a^* e b^* do arroz branco polido analisado em função da irradiação gama (Co^{60}).

TABELA 6 Valores médios[♦] observados para as variáveis L, a^* e b^* do arroz branco polido submetido ao efeito da irradiação gama (Co^{60}), com doses controle (0kGy), 6,5kGy e 7,5kGy.

Dose de irradiação (kGy)	Valores médios [♦] das variáveis L a^* b^*		
	L	a^*	b^*
0	90,61 ^a	0,34 ^a	6,66 ^a
6,5	89,32 ^{bA}	0,07 ^{bA}	9,57 ^{bA}
7,5	89,25 ^{bA}	0,03 ^{bA}	10,04 ^{bA}

[♦] médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si, pelo teste F, a 5% de probabilidade; [♦] médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si, pelo teste F, a 5% de probabilidade

Sabe-se que a variável L varia de 0 a 100, sendo que quanto mais próximo de 100 mais “clara” é amostra e quanto mais distante, mais “escura”. De acordo com os dados da Tabela 6, o valor médio de L encontrado na dose 0kGy (90,61) foi maior que o encontrado nas doses 6,5kGy e 7,5kGy, de 89,28. Sendo assim, indiferente da dose utilizada, a luminosidade (L) do arroz

analisado diminuiu significativamente ($P \leq 0,05$) com o emprego da irradiação gama, se tornando menos luminoso, ou seja, mais escuro. Zañão (2007) não encontrou diferenças significativas da variável L em amostras de arroz irradiadas até 5kGy. O valor médio de L (69,90) obtido pela autora foi menor que o do presente estudo.

Para a variável a^* , também foram encontradas diferenças significativas ($P \leq 0,05$) entre a dose controle e as doses 6,5kGy e 7,5kGy. O valor médio de a^* na dose 0kGy (0,34) foi de 0,29 unidades, maior, em média, que o a^* nas doses 6,5kGy e 7,5kGy, de 0,05. Porém, não houve diferença de a^* entre as doses 6,5kGy e 7,5kGy. Este resultado concorda com o estudo de Zañão (2007) que também encontrou alterações da variável a^* nas amostras de arroz em função da irradiação gama, com valores de 0,9 (arroz não irradiado) a 1,6 (arroz irradiado com 5kGy).

O valor médio de b^* (9,80) nas doses 6,5kGy e 7,5kGy foi de 3,14 unidades maior, em média, que o b^* (6,66) na dose 0kGy. Porém, não houve diferença significativa ($P > 0,05$) desta variável entre nas doses 6,5kGy e 7,5kGy. Resultados encontrados por Sirisoontarak & Noomhorn (2006) mostraram que a amostra de arroz não irradiada apresentava valor b^* de 9,72; já a amostra irradiada, com dose de 2kGy, valor de 14,66.

Lee (2007) ressalta, em seu estudo, que a intensidade da cor dos alimentos irradiados aumenta ao longo das doses de irradiação. Com relação ao arroz, Roy et al. (1991) afirmam que apenas doses de irradiação acima de 5kGy provocam alteração na coloração deste cereal, contradizendo o estudo de Sirisoontarak & Noomhorn (2006), no qual mudanças significativas na cor do arroz foram observadas mesmo com uma baixa dose de 0,2kGy. Segundo os autores, o arroz muda a cor de branco cremoso para amarelado com o aumento das doses de irradiação. Zañão (2007) também relata alteração da cor do arroz irradiado, observando coloração mais amarelada com doses de 3,0kGy e 5,0kGy.

Sabendo que a primeira impressão que se tem de um alimento é geralmente visual, quaisquer alterações dessa importante variável sensorial pode interferir na aceitação de um determinado alimento (Silva, 2003).

Na Figura 1a está ilustrada a cor apresentada pelas amostras de arroz analisadas em função da irradiação gama (Co^{60}) e, na Figura 1b, a localização da cor do arroz, no 1º quadrante, de acordo com o espectro de cores do CIE-Lab, utilizado para determinação de L, a^* e b^* .

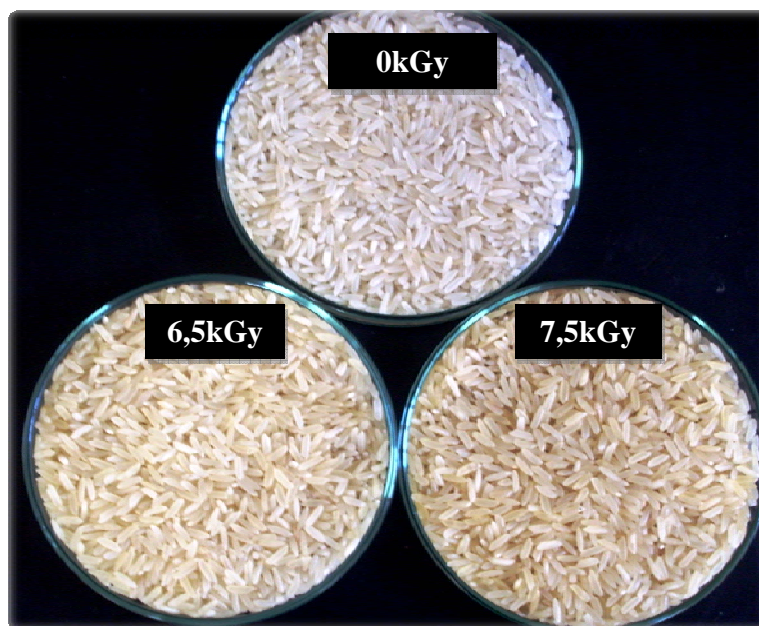


FIGURA 1a Cor do arroz branco polido não irradiado (0kGy) e irradiado com doses de 6,5kGy e 7,5kGy.

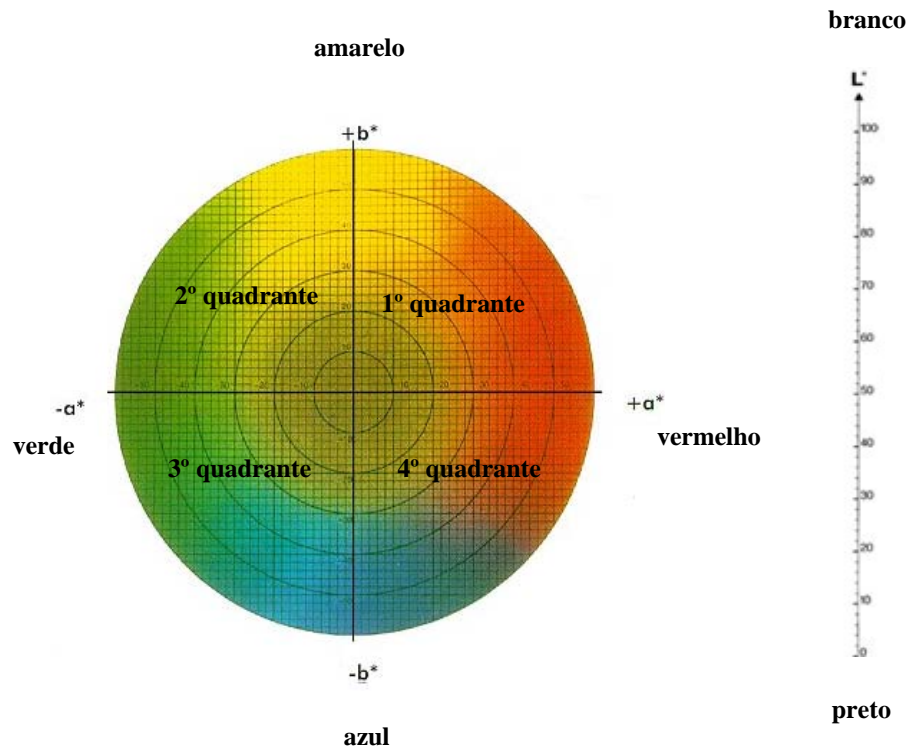


FIGURA 1b Sistema CIE-Lab utilizado para a observação da cor do arroz branco polido, utilizando os valores de L, a* e b*

As observações da alteração da cor do arroz branco polido sugerem que pode ter ocorrido um possível desarranjo de glicosídeo e acoplamentos de peptídeo (reações de Maillard) durante a irradiação. Outra causa provável da mudança na cor do arroz irradiado seria a formação de melanoidinas, devido à oxidação de fenóis (Roy et al., 1991). Segundo Lee (2007), a irradiação gama produz radicais livres e produtos de radiólise de glicosídeos capazes de se condensar e produzir produtos coloridos durante e após a irradiação.

3.2.2 Difração de raio X

Os grânulos de amido, por serem parcialmente cristalinos, proporcionam padrões específicos de difração de raio X. O desenvolvimento da cristalinidade em um polímero é dependente de sua regularidade estrutural e os fatores que afetam esta cristalinidade incluem a polaridade, a presença de ligações de hidrogênio, assim como a capacidade de “empacotamento” das cadeias poliméricas (Franco et al., 2002). Sendo assim, os grânulos de amido podem corresponder a duas poliformas (A ou B) ou a uma forma intermediária (C), as quais têm sua classificação baseada em variações no conteúdo de água e na configuração de empacotamento de duplas hélices (Imberty et al., 1991).

A Figura 2 representa o característico difractograma encontrado para todas as amostras de arroz branco polido do presente estudo, obtido por meio de um espectro de espalhamento de raios X com intensidade da radiação difractada em função do ângulo de Bragg (2θ).

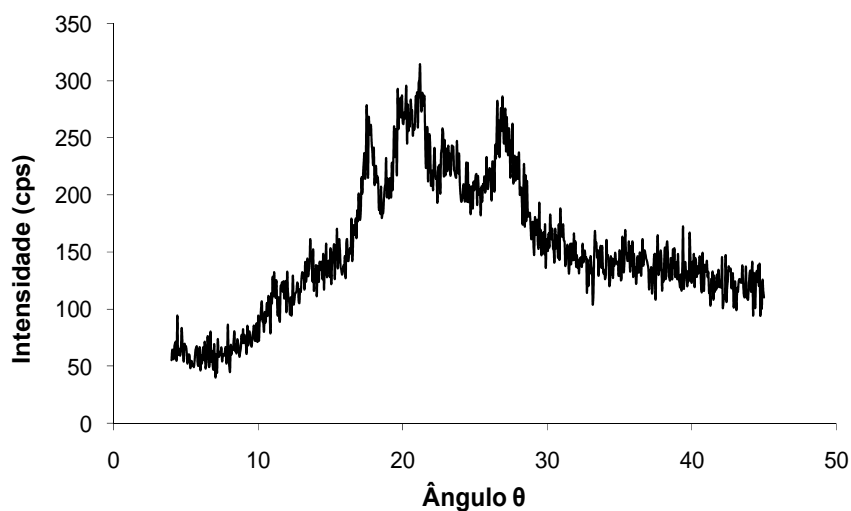


FIGURA 2 Difractograma de raio X do arroz branco polido avaliado em função da irradiação gama (Co^{60})

De maneira geral, para todas as amostras de arroz branco polido analisadas, o amido apresentou três picos de difração ($2\theta = 17,5^\circ ; 21,2^\circ ; 26,5^\circ$) e intensidades de 278cps, 314cps e 286cps, respectivamente, conforme observa-se, na Figura 2, confirmando, assim, a presença de domínios cristalinos na sua estrutura, típico de um difractograma do tipo A, encontrado para cereais, segundo a literatura (Franco et al., 2002).

A cristalinidade tipo A ocorre na maioria dos cereais (milho, arroz, trigo, aveia) e é descrita como uma unidade celular monocíclica altamente condensada e cristalina, em que doze resíduos de glicose de duas cadeias no sentido anti-horário abrigam quatro moléculas de água entre as hélices (Oates, 1997; Eliasson, 2004). Segundo Li et al. (2004), os amidos com cristalinidade do tipo A são mais susceptíveis à hidrólise devido à presença de poros superficiais que podem ser alargados pela ação das enzimas, facilitando a sua ação no interior do grânulo.

3.2.3 Ressonância paramagnética eletrônica – RPE

O interesse em saber se um alimento foi ou não irradiado é primariamente devido ao direito do consumidor em ter conhecimento daquilo que está sendo adquirido.

A concentração de radicais livres em uma amostra, gerados ou não pela irradiação, pode ser determinada a partir da intensidade do sinal de RPE (Schreiber et al., 1993). Os espectros de RPE das amostras de arroz branco polido irradiadas em outubro/2008 e em janeiro/2009, com doses de 7,5kGy; 6,5kGy e controle (0kGy), estão ilustrados na Figura 3.

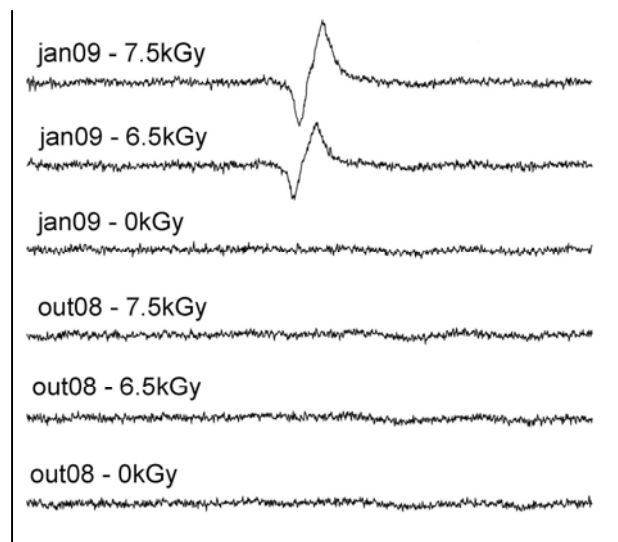


FIGURA 3 Espectros de RPE do arroz irradiado em outubro e janeiro, com doses de 7,5kGy e 6,5kGy e não irradiadas (0kGy)

Conforme representado nos espectros da Figura 3, o sinal típico de radical livre foi visualizado apenas nas amostras recém-irradiadas, com amplitude do sinal aumentada com o emprego de maiores doses de irradiação. Segundo Leal et al. (2004), a RPE pode contribuir na detecção de irradiação de diferentes grupos de alimentos.

Embora Cattani (2009) relate que o sinal de RPE possa ser detectado por um período de até seis meses em grãos e em farinhas irradiados, bem como em diversos produtos alimentares irradiados que contém amido, o presente estudo não detectou radicais livres nas amostras de arroz branco polido irradiadas há quatro meses. Esta observação pode ser justificada pelo fato de os radicais livres tenderem a reagir rapidamente com diversas moléculas, átomos ou compostos

íntegros, buscando a estabilidade e, portanto, apresentando uma duração bastante curta (Bianchi & Antunes, 1999).

Alguns tipos de alimentos não irradiados, como batata frita e macarrão instantâneo, contêm quantidades mensuráveis de elétrons desemparelhados e íons de metais de transição paramagnéticos. Desse modo, a mera presença de radicais livres pode estar relacionada ao produto vegetal e à sua origem, espécie, variedade, solo do cultivo, aplicação ou não de defensivos agrícolas, tipos de processamento empregados, manipulação, como também das interações dos próprios constituintes (Desrosiers, 1996).

3.3 Teste de cocção

Na Tabela 7 são apresentadas as análises de variância (ANAVA) para cada um dos parâmetros do teste de cocção, obtidos para as amostras de arroz branco polido submetidas ao efeito da irradiação gama (Co^{60}).

TABELA 7 Análise de variância, significâncias, coeficientes de variação e valores médios do tempo de cozimento, índice de absorção de água, coeficiente de expansão do volume e perda de sólidos solúveis das amostras de arroz branco polido submetidas ao efeito da irradiação gama (Co^{60})

Causa de variação	GL	Variáveis do teste de cocção			
		T.C.	I.A.A	C.E.V.	P.S.S.
Irradiação	2	0,0478*	0,1183 ^{ns}	0,0468*	0,0000*
Erro	18				
Total corrigido	20				
CV (%)		5,86	5,63	10,33	16,78
Média geral		17,38	267,71	336,68	14,79

*Significativo, a 5% de probabilidade, pelo teste F

n.s - Não significativo, a 5% de probabilidade, pelo teste F

T.C.: tempo de cozimento; I.A.A: índice de absorção de água; C.E.V: coeficiente de expansão do volume; P.S.S.: perda de sólidos solúveis.

O índice de absorção de água do arroz branco polido não alterou com o emprego da irradiação gama (Co^{60}). O valor médio obtido no presente estudo (267,71%) foi maior que a faixa encontrada por Pereira (1996), de 204,52% a 211,4% , para distintas cultivares de arroz. Contudo, o uso da irradiação gama afetou significativamente ($P < 0,05$) o tempo de cozimento, o coeficiente de expansão do volume e a perda de sólidos solúveis do arroz branco polido analisado nesta pesquisa.

Na Tabela 8 são apresentados os valores médios do tempo de cozimento, do coeficiente de expansão do volume e da perda de sólidos solúveis do arroz branco polido analisado em função da irradiação gama (Co^{60}).

TABELA 8 Valores médios* observados do tempo de cozimento, coeficiente de expansão do volume e da perda de sólidos solúveis do arroz branco polido submetido ao efeito da irradiação gama (Co^{60}), com doses controle (0kGy), 6,5kGy e 7,5kGy

Dose de irradiação (kGy)	Valores médios* do tempo de cozimento, coeficiente de expansão do volume e perda de sólidos solúveis		
	Tempo de cozimento	Coeficiente de expansão do volume	Perda de sólidos solúveis
0	16,83 ^a	365,65 ^a	10,35 ^a
6,5	17,11 ^{aA}	321,17 ^{bA}	15,69 ^{bA}
7,5	18,21 ^{aA}	323,21 ^{bA}	18,32 ^{bA}

* médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si, pelo teste F, a 5% de probabilidade; *médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si, pelo teste F, a 5% de probabilidade

O fato de o tempo de cozimento ter sido significativo na análise de variância e não se revelar como tal pelo teste F pode estar relacionado com alguma significância detectada em doses de irradiação que não eram de interesse no presente estudo ou, até mesmo, se dever a uma mera diferença entre testes.

A média do tempo de cozimento (minutos) para as amostras de arroz branco polido foi de 17,38min. Este valor se enquadra na faixa de tempo de cocção de 13 minutos a 24 minutos, citada por autores que analisaram a

qualidade culinária de diferentes variedades de arroz (Pereira, 1996; Singh et al., 2004; Guimarães et al., 2006). Além do mais, o valor obtido nesta pesquisa atende às exigências do consumidor, que prefere um arroz que demande menos tempo para cozinhar.

Também se pode observar que o emprego da irradiação gama culminou em significativa ($P < 0,05$) redução da expansão do volume do arroz branco polido (365,65% para o arroz controle e 322,19% para o arroz irradiado). Porém, mesmo diminuindo a expansão do volume, o arroz irradiado conseguiu se assemelhar aos resultados obtidos na literatura para expansão do volume deste cereal, de 263,30% a 354,73% (Pereira, 1996; Singh et al., 2004; Guimarães et al., 2006).

A perda de sólidos solúveis no arroz branco polido irradiado (17,0%) foi significativamente maior que no arroz não irradiado (10,35%), concordando com os resultados obtidos por Sirisoontarak & Noomhorm (2006). A maior perda de sólidos solúveis pode estar relacionada à menor expansão do volume do arroz exposto à irradiação gama (Co^{60}).

Yu & Wang (2007), observando em microscópio eletrônico, os tamanhos dos grânulos de amido de arroz verificaram que a amostra não irradiada apresentava maior número de grânulos de tamanho grande. Após a irradiação, o número de grânulos de tamanho menor foi aumentando com as doses de irradiação. Os autores concluíram que os grãos de arroz podem ser desestruturados pela irradiação gama, ocasionando quebras (grânulos de menor tamanho) com o aumento das doses empregadas. Esta afirmação, aliada à justificativa de Parizzi (1993) de que uma maior percentagem de perda de sólidos solúveis pode estar relacionada ao caráter empírico do método, uma vez que minúsculas partículas do grão poderiam ter sido pipetadas juntamente com os componentes solúveis presentes na água de cocção, favorecendo erros na medição do parâmetro em questão, alicerça os resultados do presente estudo.

3.4 Características de pasta

Os perfis viscoamilográficos das amostras de arroz branco polido não irradiadas e irradiadas, avaliadas pelo Rapid Visco Analyser (RVA), são apresentados na Figuras 4.

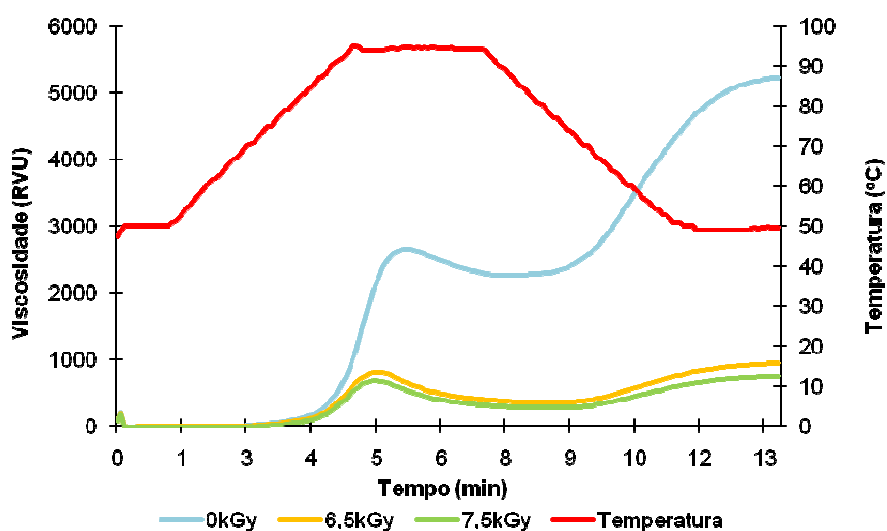


FIGURA 4 Perfis viscoamilográficos do arroz branco polido, não irradiado (0kGy) e irradiados com doses de 6,5kGy e 7,5kGy, avaliados pelo Rapid Visc Analyser (3g ml⁻¹).

A irradiação gama (Co⁶⁰) provocou intensas alterações nos amidos do arroz branco polido, modificando o seu perfil de comportamento quando a suspensão foi submetida às alterações de temperatura e à agitação mecânica. As curvas de viscosidade apresentaram redução mais intensa com a utilização de doses mais altas de irradiação. Os valores referentes às propriedades de pasta do

arroz branco polido submetido a diferentes doses de irradiação (0kGy, 6,5kGy e 7,5kGy), obtidos a partir dos amilogramas, são apresentados na Tabela 9.

TABELA 9 Propriedades de pasta do arroz branco polido submetido a diferentes doses de irradiação gama (0kGy, 6,5kGy e 7,5kGy)

Parâmetros	Valores médios *		
	Propriedades de pasta do amido do arroz branco polido*		
	0kGy	6,5kGy	7,5kGy
Temperatura inicial de pasta (°C)	83,32	84,96	85,41
Viscosidade máxima (RVU)	2651,43	808,86	691,57
Quebra (RVU)	402,85	464,43	417,28
Viscosidade final (RVU)	5217,57	936,00	743,28
Tendência a retrogradação (RVU)	2969,00	591,57	469,00
Tempo para alcançar a viscosidade máxima (min.)	5,77	5,17	5,12

* Média de 7 observações

Todas as características de pasta do amido do arroz branco polido se alteraram com a função da exposição à irradiação gama (Co^{60}).

Dentre as alterações reológicas ocasionadas pelo aumento gradual das doses de irradiação gama, destaca-se o decréscimo da viscosidade máxima e viscosidade final, também reportado por autores que estudaram as características de pasta do arroz irradiado (Zanão, 2007; Yu & Wang, 2007; Sirisoontaralak & Noomhorm, 2006; Bao et al., 2005) e correlacionaram ao menor tempo de cozimento para as amostras submetidas a este tratamento.

De acordo com a justificativa de Yu & Wang (2007), a irradiação gama pode gerar radicais livres nas macromoléculas de amido, que são capazes de hidrolisar ligações químicas e, com isso, quebrar grandes moléculas em pequenos fragmentos de dextrina, alterando sua estrutura e, conseqüentemente, suas funcionalidades.

A temperatura inicial de pasta indica a temperatura mínima necessária para o cozimento de determinada amostra, o que pode ter implicações na estabilidade de outros componentes presentes em uma formulação, como afetar a

energia a ser consumida neste processo (Newport, 1995). Assim, variações nesse parâmetro podem alterar a qualidade de alimentos, bem como os custos com a energia gasta nos processos. No presente estudo, pôde-se observar que a temperatura inicial de pasta (83,32°C para 0kGy, 84,96°C para 6,5kGy e 85,41°C para 7,5kGy) do arroz branco polido apresentou alteração ínfima com a exposição à irradiação, indicando um aspecto favorável à utilização deste tratamento. Zañão (2007) encontrou resultados opostos em seu estudo: a temperatura de pasta do arroz irradiado diminuiu com doses de 1,0kGy, 3,0 kGy e 5,0 kGy.

Outro fato a ser considerado foi a diminuição gradual do tempo para ocorrência da viscosidade máxima com o aumento das doses de irradiação (5,77 minutos em 0kGy, 5,17minutos em 6,5kGy e 5,12 minutos em 7,5kGy), concordando com os resultados obtidos por Zañão (2007), com diminuição do tempo de 5,9 minutos para 5,2 minutos para o amido do arroz analisado com doses até 2kGy. Este acontecimento se correlaciona à tendência de redução gradual da viscosidade de pasta, máxima e final, com a elevação das doses de irradiação.

Sung (2005) e Zañão (2007), estudando o efeito da irradiação nas propriedades de pasta do arroz, observaram que mesmo doses baixas de irradiação gama (até 1,0kGy) culminaram na modificação da microestrutura do amido, resultando em significativa redução da viscosidade da pasta. Segundo Sung (2005), o armazenamento também pode diminuir a viscosidade de pasta do arroz e, por isso, passa ser a razão que a indústria alimentícia tenha preferência em usar arroz mais “velho” (menos pegajoso no cozimento) para fazer produtos derivados do arroz.

A quebra indica a facilidade com que os grânulos inchados se desintegram durante o cozimento (Sirissontarak & Noomhorn, 2006). Na presente pesquisa, os grânulos de amido do arroz irradiado se apresentaram mais

susceptíveis à ruptura (quebra de viscosidade) que os não irradiados. Isso quer dizer que os grânulos de amido do arroz irradiado tornaram-se menos estáveis ao cisalhamento. Este fato justifica a maior perda de sólidos solúveis e menor expansão do volume do arroz irradiado, de acordo com os resultados do teste de cocção. Zanão (2007) também encontrou maior quebra de viscosidade para o arroz exposto à irradiação (de 220 para o controle e 440 para o irradiado).

Outra alteração relevante neste estudo foi a diminuição da tendência à retrogradação dos grânulos do amido do arroz submetido à irradiação, também concordando com o estudo de Zanão (2007), que encontrou redução de 59,5% da tendência do amido de arroz irradiado de retrogradar. Sabendo que a retrogradação pode conduzir ao aumento da dureza dos grãos devido à recristalização das macromoléculas do amido, o tratamento com irradiação se torna interessante para o arroz cozido e armazenado sob refrigeração ou congelamento, pois, quanto menor a retrogradação menor a alteração da textura do produto.

Segundo Wu et al. (2002), o parâmetro retrogradação é frequentemente utilizado 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 esse processamento abranda a textura do arroz cozido, tornando-o mais macio. Esta alteração correlaciona-se aos menores valores obtidos para o tempo de cozimento do arroz branco polido irradiado, no presente estudo (Item 3.3.).

3.5 Microscopia óptica sob luz polarizada

A microscopia com luz polarizada é muito utilizada para determinar o tamanho, forma e posição do hilum do amido (Amante, 1986).

As fotomicrografias obtidas para o amido do arroz branco polido avaliado em razão das doses de irradiação gama (Co^{60}), controle (0kGy), 6,5Gy e 7,5kGy são apresentadas as Figuras 5, 6 e 7, respectivamente.

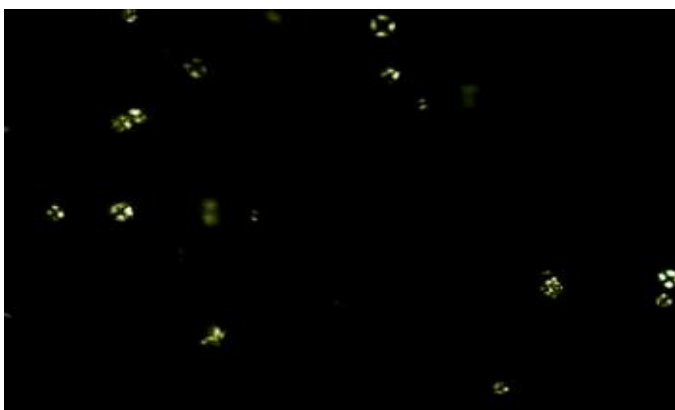


FIGURA 5 Fotomicrografia dos grânulos de amido do arroz não irradiado (0kGy) observados em microscópio óptico sob luz polarizada (1000x)

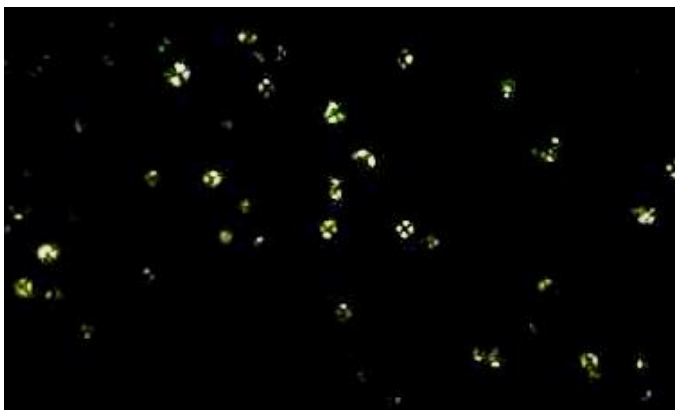


FIGURA 6 Fotomicrografia dos grânulos de amido do arroz irradiado (Co^{60}) a 6,5kGy, observados em microscópio óptico sob luz polarizada (1000x)

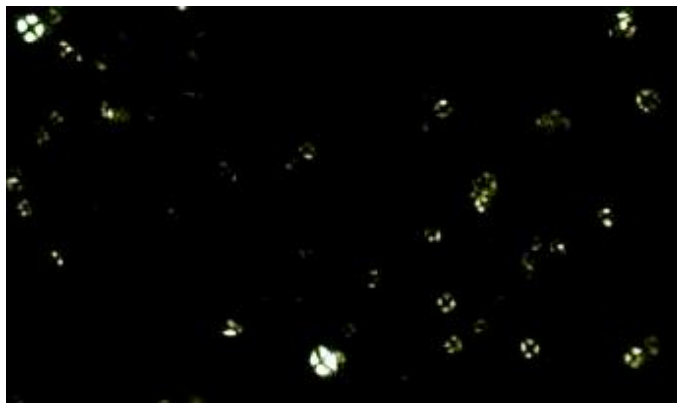


FIGURA 7 Fotomicrografia dos grânulos do amido do arroz irradiado (Co^{60}) a 7,5kGy observados em microscópio óptico sob luz polarizada (1000x)

Foi verificado que a birrefringência permaneceu em todos os grânulos de amido íntegros, por meio da presença da cruz de malta bem definida e centrada no hilum (excêntrico).

O grânulo de amido é birrefringente e, sob luz polarizada, apresenta a típica cruz de malta. Sabendo que a birrefringência implica em um alto grau de organização molecular nos grânulos de amido (Amante, 1986), a irradiação gama utilizada no presente estudo, nas doses 6,5kGy e 7,5kGy, não alterou a microestrutura dos grânulos de amido do arroz branco polido, contrariando Yu & Wang (2007) que observaram alterações na microestrutura dos grânulos de amido deste cereal, ocasionadas pela irradiação.

4 CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos e nas condições em que essa pesquisa foi conduzida, pode-se concluir que:

- a utilização da irradiação gama (Co^{60}) não altera a composição centesimal, a acidez total titulável e atividade de água do arroz branco polido;
- o pH diminui significativamente e a cor se intensifica quando o arroz branco polido é exposto à irradiação;
- os radicais livres produzidos durante o processo de irradiação não são mais detectados nas amostras de arroz branco polido irradiadas, após quatro meses;
- quanto à qualidade de cocção do arroz, o coeficiente de expansão do volume diminui e a perda de sólidos solúveis aumenta, em função do tratamento empregado;
- com o aumento das doses de irradiação, os perfis e os valores de propriedade de pasta dos amidos de arroz se modificam, ocorrendo redução da viscosidade máxima, da viscosidade final e da tendência à retrogradação;
- a microestrutura dos grânulos do amido do arroz não é afetada em razão da irradiação gama, mantendo a cristalinidade e a birrefringência;
- apesar de a irradiação ter alterado algumas características do arroz branco polido, as mesmas se assemelham aos valores citados na literatura como desejáveis para a qualidade deste cereal, não interferindo, portanto, nas principais características decisivas para a aceitabilidade do mesmo, além de contribuir por abrandar sua textura, tornando-o mais macio.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMANTE, E. R. **Caracterização de amidos de mandioca (*Manihot esculenta*, Crantz) e Batata-doce (*Ipomoea batatas*)**. 1986. 109p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

ASCHERI, D.P.R.; ANDRADE, C.T.; CARVALHO, C.W.P.; ASCHERI, J.L.R. Obtenção de farinhas mistas pré gelatinizadas a partir de arroz e bagaço de jabuticaba: efeito das variáveis de extrusão nas propriedades de pasta. **Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimento**, Curitiba, v.24, n.1, p.1-60, jan./jun. 2006.

ASCHERI, J. L. R.; SPEHAR, C.R.; NASCIMENTO, R.E. Caracterization comparativa de harinas instantâneas por extrusion de quinoa, maiz y arroz. **Revista Alimentaria**, Madrid, v. 39, n. 331, p. 9-82, 2002.

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

AUGUSTO-RUIZ, W.; BONATO, S.R.; ARRIECHE, L.S.; ALVES, F.V. Caracterização da farinha pré-gelatinizada de arroz integral produzida a partir de grãos quebrados. **Vetor**, Porto Alegre, v.13, p. 25-46, 2003.

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, n. 10, p. 480-487, Oct. 2005.

BIANCHI, M. L. P.; ANTUNES, L. M. G. Radicais livres e os principais antioxidantes da dieta. **Revista Nutrição**, Campinas, v. 12, n. 2, p. 123- 130, maio/ago. 1999.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC-n. 21, de 26 de janeiro de 2001. Regulamento técnico para irradiação de alimentos. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 29 jan. 2001.

BRASIL. **Portaria n. 27**, de 13 de janeiro de 1998. Regulamento técnico referente à informação nutricional complementar. Disponível em: <<http://e-legis.bvs.br/leisref/public/showAct.php?id=97>>. Acesso em: 10 out. 2006.

CASTRO, E. M.; VIEIRA, N.R.A.; RABELO, R.R.; SILVA, S.A. **Qualidade de grãos de arroz**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão. 30 p. 1999.

CATTANI, M.M. **Estudo por ressonância paramagnética eletrônica (RPE) em grãos e farináceos irradiados com Co⁶⁰**. Disponível em: <<http://www.unicamp.br/nepa/taco>>. Acesso em: 20 jan. 2009.

CECCHI, H.M. **Fundamentos teóricos e práticos em análise de alimentos**. 2. ed. Campinas: Unicamp, 2003.

CHRISTENSEN, C. M.; KAUFMANN, H. H. Microflora. In: CHRISTENSEN, C. M. **Storage of cereal grain and their products**. St. Paul: American Association of Cereal Chemists, 1974. p. 158-192.

CIACCO, C.F.; CHANG, Y.K. **Massas: tecnologia e qualidade**. Campinas: Unicamp, 1986. 127p.

COELHO, C.S.P. **Migração de micotoxinas durante o processo de parboilização do arroz**. 1998. 105 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) - Universidade do Rio Grande, Porto Alegre.

DESROSIERS, M.F. Current status of the EPR Method to detect irradiated food. **Applied Radiation and Isotopes**, Oxford, v. 47, n. 11/12, p.1621-1628, Nov./Dec. 1996.

DONNELL, Y. B.J. Pasta products: raw material, technology, evaluation. **Macaroni Journal**, Minneapolis, v.61, n.1, p.6-18, Jan. 1979.

ELIASSON, A.C. **Starch in food: structure, function and applications**. New York: CRC, 2004.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Codex alimentarius: requisitos generales**. 2. ed. Roma, 2000. v. 1, 400 p.

FRANCO, C.M.L.; DAIUTO, E.R.; DEMIATE, I.M.; CARVALHO, L.J.C.; LEONEL, M.; CEREDA, M.P.; VILPOUX, O.F.; SARMENTO, S.B.S **Propriedades gerais do amido**. Campinas: Fundação Cargill, 2002. v.1, 224p.

GUIMARÃES, C de O. G.; CORNÉLIO, V.M.O.; PEREIRA, J.; SOARES, A.A.; REIS, M.S.; SOARES, P.C. Qualidade de cocção dos grãos de arroz de diferentes cultivares. In: SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA, 11., 2006, Curitiba. **Anais...** Curitiba: FAPEMIG/ EPAMIG, 2006 . p.100-104.

HUMMEL, C. **Macaroni products, manufacture, processing and packing**. 2.ed. London: Food Trade, 1996. 287p.

IMBERTY, A.; BULEON, A.; TRAN, V.; PEREZ, S. Recent advances in knowledge of starch structure. **Starch/Starke**, Deerfield Beach, v. 43, n.10, p. 375–384, Oct. 1991.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz: métodos químicos e físicos para análise de alimentos**. 3. ed. São Paulo: IMESP, 1985. p. 17-18.

KAMER, J.H.van.; GINKEL, L. van. Rapid determination of cruder fiber in cereals. **Cereal Chemistry**, St. Paul, v.29, n.4, p.239-251, July/Aug. 1952.

KIESSLING, K.H. Biochemical mechanism of action of mycotoxins. **Pure and App Lied Chemistry**, Oxford, v.58, n.2, p.327-338, Feb. 1986.

LEAL, A.S.; KRAMBROCK, K.; GUEDES, K.; RODRIGUES,R.R. Ressonância paramagnética eletrônica - RPE aplicada à análise de especiarias irradiadas (com radiação gama). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.24, n.3, p.427-430, jul./set. 2004.

LEE, J.; OH, S.; KIM, J.; BYUN, E.H.; KIM, M.R.; BAEK, M.; BYUN, M. The effect of irradiation temperature on the non-enzymatic browning reaction in cooked rice. **Radiation Physics and Chemistry**, Oxford, v.76, n.11/12, p.886-892, Nov./Dec. 2007.

LI, J.; VASANTHAN, T.; HOOVER, R.; ROSSNAGEL, B.G. Starch from hull-less barley: V. in vitro susceptibility of waxy, normal and high amylose starches towards hydrolysis by alpha-amylases and amyloglucosidase. **Food Chemistry**, Oxford, v.84, n.4, p.621-632, Mar. 2004.

LIMA, C. A. P.; ORSI, R. B.; DILKIN, P.; CORRÊA, B. Mycoflora and aflatoxigenic in derivatives of milled rice. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.20, n.1, p.37-39, jan./abr. 2000.

MAIA, L. H.; WANG, S.H.; ASCHERI, J.L.R.; CABRAL, L.C.; FERNANDES, M.S. Viscosidade de pasta, absorção de água e índice de solubilidade em água dos mingaus desidratados de arroz e soja. **Ciência e Tecnologia de Alimentos** Campinas, v.19, n.3 , p.391-396, set./dez. 1999.

MARADINI FILHO, A.M. **Influência das condições de secagem e do uso de triticale na qualidade do macarrão**. 1983. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

MINOLTA. **Precise color communication: color control from feeling to instrumentation**. Tokyo, 1997. 49f.

NEWPORT SCIENTIFIC – N.S. PTY. LTD. **Operation Manual for the Series 4 Rapid Visco Analyser**. Vienna: Instrument Support Group, 1995.

OATES, C.G. Towards and understanding of starch granule structure and hydrolysis. **Trends Food Science & Technology**, Oxford, v.8, p.375-382, 1997.

OMI, N.M. A irradiação de alimentos e os hábitos alimentares atuais. In: INTERNATIONAL NUCLEAR ATLANTIC CONFERENCE , 14., 2005, Santos. **Anais...** Santos: Inderscience News, 2005.

OSBORNE, D.R.; VOOGT, P. **The analysis of nutrient in foods**. London: Academic, 1978. p.47, 156-158.

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

PARK, J.W.; KIM, E.K.; KIM, Y.B. Estimation of the daily exposure of Koreans to aflatoxin B1 through food composition. **Food Additives and Contaminants**, Sidney, v.21, n.1, p.70-75, Jan. 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, MG.

PITT, J.I.; MISCAMBLE, B.F. Water relations of *Aspergillus flavus* and closely related species. **Journal of Food Protection**, Ames, v.58, n.1, p.86-90, Jan. 1994.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R**: a language and environment for statistical computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2009. Disponível em: <<http://www.R-project.org>>. Acesso em: 13 jan. 2009.

ROY, M.K.; GHOSH, S.K.; CHARTTERJEE, S.R. Gamma-irradiation of rice grains. **Journal of Food Science and Technology**, Mysore, v.28, n.6, p.337-340, Nov./Dec. 1991.

SCHREIBER, G.A.; HELLE, N.; BÖGL, K.W. Detection of irradiated food methods and routine applications. **International Journal of Radiation Biology**. London, v. 6, n. 1, p.105-130, Jan. 1993.

SILVA, R.F.; ASCHIERI, J.L.R.; PEREIRA, R.G.F.A. Composição centesimal e perfil de aminoácidos de arroz e pó de café. **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v.18, n.3, p. 325-330, jul./set. 2007.

SILVA, L.P.; DENARDIN, C.C.; EMANUELLI, T.; FAGUNDES, C.A.A.; NÖRNBERG, J.L.; ORTOLAN, F. Efeito da parboilização do arroz em medidas bromatológicas de interesse nutricional. In: CONFERÊNCIA INTERNACIONAL DE CLIMA TEMPLADO, 3., 2003, Punta Del Este. **Anais...** Punta Del Este: INA, 2003.

SINGH, N.; KAUR, L.; SODHI, N.S.; SEKHON, K.S. Physicochemical, cooking and textural properties of milled rice from different Indian rice cultivars. **Food Chemistry**, Oxford, v.89, n.2, p.433-439, Feb. 2005.

SIRISSONTARALAK, P.; NOOMHORM, A. Changes to physicochemical properties and aroma of irradiated rice. **Journal of Stored Products Research**, Oxford, v. 42, n3, p- 264-276, 2006.

SUNG, W.C. Effect of gamma irradiation on rice and its food products. **Radiation Physics and Chemistry**, Oxford, v.73, n. 4, p.224-228, July 2005.

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

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. Faculdade de Ciências Farmacêuticas. **Tabela Brasileira de composição de alimentos**: projeto integrado de composição de alimentos. Disponível em: <<http://jaj.usp.br/tabela>>. Acesso em: 15 mar. 2006.

WIENDL, F.M. A Salubridade dos alimentos irradiados. **Boletim da Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.18, n.1, p.48-56, jan./abr. 1984.

WU, D.X.; SHU, Q.Y.; WANG, Z.H.; XIA, Y.W. Effect of gama irradiation on starch viscosity and physicochemical properties of different rice. **Radiation Physics and Chemistry**, Oxford, v. 65, N.1, p. 29-86, Aug. 2002.

YU, Y.; WANG, J. Effect of γ -ray irradiation on starch granule structure and physicochemical properties of rice. **Food Research International**, Amsterdam, v. 40, n.2, p. 297-303, 2007.

ZANÃO, C. F.O. **Características físico-químicas e sensoriais do arroz (*Oryza sativa* L.) irradiado e o efeito no desenvolvimento de *Sitophilus oryzae* L.** 2007. 79p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Escola Superior de Agricultura Luis de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

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.