

**CARACTERIZAÇÃO E IRRADIAÇÃO GAMA ( $^{60}\text{CO}$ ) DE  
DIFERENTES CULTIVARES DE ARROZ NO CONTROLE DE  
INSETOS-PRAGAS DE GRÃOS ARMAZENADOS E DE  
FUNGOS.**

**NATANIELLI ALVES DE SOUSA E SILVA**

**2010**

# **Livros Grátis**

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

**NATANIELLI ALVES DE SOUSA E SILVA**

**CARACTERIZAÇÃO E IRRADIAÇÃO GAMA ( $^{60}\text{CO}$ ) DE DIFERENTES  
CULTIVARES DE ARROZ NO CONTROLE DE INSETOS-PRAGAS DE GRÃOS  
ARMAZENADOS E DE FUNGOS.**

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  
2010

**NATANIELLI ALVES DE SOUSA E SILVA**

**CARACTERIZAÇÃO E IRRADIAÇÃO GAMA (<sup>60</sup>CO) DE DIFERENTES  
CULTIVARES DE ARROZ NO CONTROLE DE INSETOS-PRAGAS DE GRÃOS  
ARMAZENADOS E DE FUNGOS.**

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 19 de fevereiro de 2010

Dra. Vanda Maria de Oliveira Cornélio

EPAMIG/CTSM

Dra. Adriana Régia Marques de Souza

UFG

Profa. Dra. Joelma Pereira  
UFLA  
(Orientadora)

LAVRAS  
MINAS GERAIS – BRASIL

*Aos meus queridos e amados pais, Altino e Margarida,  
a meu querido irmão, Natanael,  
e a meu amado marido Giovane,  
exemplos de vida, de amor e de amizade  
pelo apoio incondicional.*

DEDICO

*A Deus,  
pela presença constante  
e pelo conforto de todas as horas,  
OFEREÇO*

## *Agradecimentos*

*À Deus, pela inspiração e conforto e, principalmente por realizar mais um sonho;*

*À Santa Teresinha do Menino Jesus pela 'chuva de rosas';*

*A meus pais Altino e Margarida pela compreensão, apoio e incentivo, por renunciarem à própria vida em prol da minha e por fazerem de mim quem sou hoje;*

*A meu irmão Natanael e a Cristiane pelo apoio, pelos momentos de descontração e pelos favorzinhos de sempre;*

*A meu marido Giovane pelo incentivo e, principalmente, por pautar a sua vida em função da minha;*

*A Tia Soraya, Reinaldo e Júlia, que possibilitaram minha vinda a Lavras, pela presença e apoio constantes;*

*A todos meus tios e primos pela torcida e orações;*

*A Sr. Darcy e D. Goret pela compreensão;*

*A Irene Milagres e família pelo apoio em Belo Horizonte;*

*A Universidade Federal de Lavras, ao Departamento de Ciência dos Alimentos e a todos os professores e funcionários, que com carinho e destreza se fizeram presentes em minha vida na busca do conhecimento, em especial à Profa. Ana Carla, Prof. Jaime, Prof. Luís*

Roberto e Prof. Eduardo Valério pelas análises, equipamentos, laboratórios e orientações À Lucilene, secretária da pós-graduação, pelo sorriso de sempre, por toda disponibilidade e esforço em ajudar. À Tina, Flávia, Cleusinha, Cidinha e Tales pelas ajudas em todas as análises, sem as quais este trabalho não seria possível, agradeço também pelos momentos de descontração e pela alegria com a qual me recebiam. A Sr. Miguel pelo socorro e concerto dos equipamentos. E às meninas da limpeza, especialmente Denise, Heloísa e Ângela que tornavam nossos dias mais felizes.

,A minha orientadora, Profa. Joelma Pereira, minha mãe acadêmica, exemplo de vida, sempre presente e disposta a ajudar, pela confiança, apoio, dedicação, preocupação, amizade e, principalmente pelos ensinamentos a mim transferidos.

Aos meus estimados Co-orientadores Vanda Maria da EPAMIG e Paulo Roberto Ceccon da Universidade Federal de Viçosa, pelo socorro nas horas difíceis e pela imensurável contribuição; À Adriana Régia da Universidade Federal de Goiás pela disponibilidade e carinho;

A meus queridos amigos do Laboratório de Grãos Raízes e Tubérculos Jany, Sandra, Betânia, Lucinéia, Delúbio, Tatiane, João Renato, Letícia, Simone, Antônia, Ívina e Tânia, pela amizade e carinho, pela importante contribuição na pesquisa e pela troca de

*experiências, vocês ficarão para sempre em meu coração;*

*A Lili e Fausto que muito além da ajuda, ensinamentos, carinho e amizade se mostraram verdadeiros irmãos e conselheiros, aqueles de todas as horas, vocês são o tipo de pessoa que marca quem os conhece e por isto também ficarão para sempre em meu coração porque são mais que especiais;*

*A meus amigos e colegas do DCA, Gustavo Mariana Mirelle, Camila Fante, Júlia, Letícia, Daiane, Rodrigo, Taís, Sabrina e Camila Menezes pela amizade e pela ajuda nos trabalhos e análises;*

*A EPAMIG/CTSM, nas pessoas de Moisés de Souza Reis, Rogério, Janir e Claudinha pela ajuda e disponibilidade;*

*Ao Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento, nas pessoas de Júlio Garcia e José Maurício Pereira, pelo apoio e carinho;*

*Ao presidente do SINDARROZ/MG, Jorge Tadeu Araújo Meirelles, pelo apoio;*

*A Cerealista Capitólio Ltda, na pessoa de Gilson dos Santos Guerra e Ao André do laboratório de qualidade da Cocal Cereais Ltda pela contribuição e disponibilidade;*

*Aos pesquisadores e funcionários do CDTN/CNEN, Dr. Fausto, Dr. Alexandre Leal e, especialmente Dr. Márcio Tadeu Pereira, pela receptividade e por viabilizar a irradiação do arroz. Aos funcionários*

*José Timóteo e Perpétua, pelo carinho e conversas prazerosas;*

*Ao Prof. Klaus Krambrock do Departamento de Física da UFMG; Ao Carlos Wanderlei Piler da EMBRAPA/RJ, pelas análises.*

*Ao Prof. José Tarcísio do Departamento de Engenharia Florestal da UFLA, pela câmara climatizada, e sua esposa Zoraia pelo apoio de todas as horas;*

*Ao Prof. Messias do Departamento de Agricultura pelo exemplo e apoio;*

*Ao Pepe, Silvia, Leandro e, especialmente, à Taíse da EPAMIG e Patologia de Sementes por toda contribuição à pesquisa, sempre empenhados em ajudar e a solucionar os problemas que apareceram no caminho, sem vocês este trabalho também não teria sido possível;*

*E por último, mas não menos importantes, a meus amigos de Viçosa Carla, Juliano, Jujú e Gigi; Fabrícia, Cor-Maria e João Pedro; Ana Lúcia, Adauto, Lalá e Gustavo; Junice, Léo, Leon e Luis Felipe; Manú, Juliana, Gardênia, Kamila, Kátia e família pelo apoio, pela torcida e principalmente, por entenderem minha 'correria'. E àqueles que direta ou indiretamente contribuíram para que este trabalho fosse possível e que a emoção do momento impede-me de citá-los, o meu muito obrigado!*



"Quando amamos e acreditamos do fundo de nossa alma em algo, nos sentimos mais fortes que o mundo, e somos tomados de uma serenidade que vem da certeza de que nada poderá vencer nossa fé.

Esta força faz com que sempre tomemos as decisões certas, na hora exata, e quando atingimos o nosso objetivo ficamos surpresos com nossa própria capacidade."

Paulo Coelho

## Sumário

RESUMO GERAL.....	14
CAPÍTULO 1 .....	15
1. INTRODUÇÃO GERAL .....	16
2. REFERENCIAL TEÓRICO .....	19
2.1. ORIGEM, PRODUÇÃO, CONSUMO E IMPORTÂNCIA DO ARROZ.....	19
2.2. QUALIDADE DO ARROZ.....	22
2.2.1. ASPECTOS TECNOLÓGICOS.....	23
2.3. ASPECTOS NUTRICIONAIS .....	28
2.3.1. Carboidratos.....	28
2.3.2. Proteínas	29
2.3.3. Lipídeos	29

2.3.4.	Vitaminas e Minerais	30
2.3.5.	Fitatos ou Ácido Fítico	30
2.4.	ARMAZENAMENTO .....	31
2.4.1.	INSETOS-PRAGA DE GRÃOS ARMAZENADOS	31
2.4.2.	FUNGOS DE ARMAZENAMENTO	34
2.5.	IRRADIAÇÃO DE ALIMENTOS .....	36
2.5.1.	Princípios e Efeitos da Irradiação	36
2.5.2.	Histórico	39
2.5.3.	Formação de Radicais Livres	40
3.	REFERÊNCIAS .....	42
CAPÍTULO 2 .....		54
RESUMO .....		55
1.	INTRODUÇÃO .....	56
2.	MATERIAL E MÉTODOS .....	59
2.1.	LOCAL DO EXPERIMENTO.....	59
2.2.	PREPARO E CARACTERIZAÇÃO DA MATÉRIA-PRIMA .....	59
2.2.1.	OBTENÇÃO DA MATÉRIA-PRIMA	59
2.2.2.	PREPARO DA MATÉRIA-PRIMA	60
2.3.	BENEFICIAMENTO DA MATÉRIA-PRIMA .....	60
2.3.1.	RENDA DO BENEFÍCIO	60
2.4.	ANÁLISES QUÍMICAS .....	61
2.4.1.	COMPOSIÇÃO CENTESIMAL	61
2.5.	QUALIDADE TECNOLÓGICA .....	63
2.5.1.	TESTE DE COCÇÃO TRADICIONAL	63
2.5.2.	TESTE DE COCÇÃO DE PANELA OU CONVENCIONAL	65
2.6.	QUALIDADE SENSORIAL .....	65
2.6.1.	ANÁLISE SENSORIAL	65

2.7.	DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E ANÁLISE DOS RESULTADOS .....	66
3.	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	66
3.1.	RENDA DO BENEFÍCIO .....	66
3.2.	COMPOSIÇÃO CENTESIMAL E VALOR CALÓRICO .....	68
3.3.	TESTE DE COCÇÃO .....	72
3.4.	TESTE DE COCÇÃO DE PANELA .....	74
3.5.	ANÁLISE SENSORIAL .....	75
4.	CONCLUSÕES .....	77
5.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	77
CAPÍTULO 3 .....		81
Efeito da irradiação gama Co <sup>60</sup> na desinfestação de grãos de arroz .....		81
RESUMO .....		81
1.	INTRODUÇÃO .....	82
2.	MATERIAL E MÉTODOS .....	84
2.1.	Local do Experimento .....	84
2.2.	Amostras .....	85
2.2.1.	Beneficiamento das amostras .....	85
2.2.2.	Teste de sanidade .....	85
2.3.	Processo de Irradiação .....	86
2.3.1.	Preparação das amostras .....	86
2.3.2.	Processo de irradiação e acondicionamento das amostras .....	86
2.4.	Análises de infestação por insetos-pragas de grãos armazenados .....	87
2.4.1.	Longevidade e reprodução de gorgulhos de arroz ( <i>Sitophilus oryzae</i> ) .....	87
2.4.2.	Longevidade e reprodução de traças dos cereais ( <i>Sitotroga cerealella</i> ) .....	87
2.5.	Análises microbiológicas .....	87
2.5.1.	Quantificação de <i>Aspergillus spp</i> e <i>Penicillium spp</i> .....	87
2.6.	Análises Físicas .....	88

2.6.1.	Avaliação de Cor.....	88
2.6.2.	Determinação dos níveis de radicais livres (oxidação) .....	89
2.6.2.1.	Ressonância Paramagnética Eletrônica (RPE)	89
2.7.	Análises das Propriedades Reológicas .....	89
2.7.1.	Extração do amido	89
2.7.2.	Caracterização da viscosidade da pasta	90
2.8.	Análises das Propriedades Microestruturais.....	91
2.8.1.	Microscopia ótica sob luz polarizada	91
2.9.	Delineamento experimental.....	91
3.	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	92
3.1.	Análises de infestação por insetos-pragas de grãos armazenados.....	92
3.1.1.	Longevidade e reprodução de gorgulhos de arroz	92
3.1.2.	Longevidade e reprodução de traças dos cereais	93
3.2.	Análises microbiológicas .....	95
3.2.1.	Quantificação de <i>Aspergillus spp</i>	95
3.2.2.	Quantificação de <i>Penicillium spp</i>	97
3.3.	Análises Físicas .....	99
3.3.1.	Avaliação de Cor	99
3.3.2.	Ressonância Paramagnética Eletrônica (RPE)	106
3.4.	Análises das Propriedades Reológicas .....	108
3.4.1.	Caracterização da viscosidade da pasta	108
3.5.	Análises das Propriedades Microestruturais.....	111
3.5.1.	Microscopia ótica sob luz polarizada	111
4.	CONCLUSÕES.....	113
6.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	114

## RESUMO GERAL

SOUSA E SILVA, Natanielli Alves de. **Caracterização e Irradiação Gama ( $^{60}\text{Co}$ ) de Diferentes Cultivares de Arroz no Controle de Insetos-Pragas de Grãos Armazenados e de fungos.** 2010. 113p. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG\*.

O arroz é um grão de grande importância econômica e social, presente nas mesas de toda a população, é o alimento mais tradicionalmente consumido no mundo. Apesar da relevância nutricional e da capacidade de atender a demandas públicas, as cultivares deste grão apresenta grande variação na qualidade entre as cultivares consumidas, além disso, apresenta cadeia produtiva susceptíveis à infestação por insetos e pragas e contaminação por fungos, especialmente os produtores de toxinas. Como técnica eficaz na conservação de alimentos principalmente no controle insetos e fungos, a irradiação ionizante apresenta-se como alternativa para garantir a qualidade dos grãos do ponto de vista da segurança alimentar. Dessa forma, o presente trabalho objetivou avaliar as qualidades tecnológicas, químicas e sensoriais de quatro cultivares de arroz: BRSMG Caravera, BRSMG Relâmpago, BRS Primavera e BRSMG Seleta, Além de avaliar o efeito da irradiação gama ( $^{60}\text{Co}$ ) na desinfestação e descontaminação dos grãos, bem como na formação de radicais livres e nas características físicas, reológicas e microestruturais de quatro cultivares de arroz branco

---

\* Comitê orientador: Profª. Joelma Pereira – UFLA (Orientadora), Vanda Maria de Oliveira Cornélio – EPAMIG (Co-orientadora), Paulo Roberto Cecon – UFV (Co-orientador).

polido submetido à irradiação. As propriedades tecnológicas, químicas e sensoriais foram utilizadas, através de análises de renda do benefício, composição centesimal, teste de cocção e análise sensorial, para determinar a qualidade das cultivares de arroz que seriam submetidas ao processo de irradiação gama ( $^{60}\text{Co}$ ). Após a irradiação, a contagem de insetos vivos e de fungos foi realizada para determinar o efeito das doses (6,5kGy e 7,5kGy) de irradiação na desinfestação e descontaminação dos grãos. As propriedades físicas, reológicas e microestruturais foram utilizadas, através das análises de cor, radicais livres, viscosidade e microscopia ótica, para a determinação da qualidade do arroz irradiado. Os resultados demonstraram que a cultivar BRSMG Seleta apresentou melhor qualidade química e sensorial, além disso, a utilização da irradiação gama, reduziu significativamente a população de insetos e fungos presentes no arroz e que, apesar de ter alterado parcialmente alguns dos parâmetros de qualidade, não interferiu significativamente nas características decisivas para aceitabilidade e consumo do produto. Neste sentido, inferimos que a irradiação gama é eficiente na conservação dos grãos, além de contribuir para melhorar suas propriedades tecnológicas, principalmente no que se refere à cocção e viscosidade.

## **CAPÍTULO 1**

## **1. INTRODUÇÃO GERAL**

O arroz é um dos cereais mais consumidos pela população mundial, principalmente em países da Ásia, África e América Latina onde seu consumo cotidiano faz parte de um hábito alimentar secular. Segundo Gomes et al., (2004), no Brasil o grão só é menos consumido que o trigo e o milho, talvez porque seu consumo seja, na maioria das vezes, apenas na forma de grãos inteiros enquanto que o trigo e o milho são consumidos na forma de diversos subprodutos encontrados facilmente nas prateleiras de supermercados e presentes em quase todos os produtos ricos em carboidratos.

O arroz é fonte de carboidratos complexos, de digestão lenta e baixo índice glicêmico (IG), é capaz de fornecer aproximadamente 20% da energia e 15% de proteínas necessárias ao homem, quando consumido diariamente e em quantidades recomendadas pelo Ministério da Saúde. O trigo e o milho, por sua vez, quando consumidos nas mesmas quantidades que o arroz, fornecem, respectivamente, 19% e 5% da energia necessária ao homem. Deste modo, o arroz tem sido importante instrumento no combate à fome do mundo (Juliano & Goddard, 1986; Yokoyama et al.,1998; Gomes et al, 2004).

A produção nacional deste grão no triênio 2006, 2007 e 2008, atingiu uma média de aproximadamente 11,5 milhões de toneladas, o que representa um capital de mais de R\$ 4,5 bilhões. A estimativa do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento era que até o final do ano de 2009 a produção atingisse 12,6 milhões de toneladas e movimentasse a economia brasileira com mais de R\$ 5 bilhões (IBGE, 2007; IBGE, 2008).

Entretanto, para garantir todo este retorno financeiro, os produtores estão buscando garantir a qualidade dos grãos de arroz exigida pelo mercado consumidor. Segundo Castro et al. (1999), os aspectos ligados à qualidade de grãos em arroz são mais amplos e complexos que aqueles considerados em outros cereais, principalmente porque é comumente consumido na forma de grãos inteiros, descascados e, muito das vezes, polidos. Assim, aspectos determinantes da qualidade como rendimento, aparência dos grãos antes e após cozimento, odor, consistência e sabor são rigorosamente avaliados antes da comercialização das cultivares. A qualidade dos grãos de uma cultivar de arroz é determinada não somente pelas características físico-químicas e tecnológicas necessárias ao consumo como também pela perfeita interação entre os vários componentes ao longo da cadeia produtiva da cultura. (Castro et al, 1999)

Os testes mais comumente usados para determinar a qualidade do arroz, são aqueles que simulam seu processamento nas indústrias e seu consumo nas residências e restaurantes. São realizadas avaliações para determinar a qualidade do arroz como a qualidade do beneficiamento, a translucidez dos grãos, o valor nutricional, a qualidade microbiológica, características como tempo de cozimento, volume de água necessário à cocção, absorção de água e expansão de volume e as características sensoriais como textura, sabor, aroma e aparência. Assim, estes testes avaliam todos os parâmetros que são de grande importância para o consumidor, são estes parâmetros que vão interferir diretamente no valor de mercado e na aceitação do produto pelo consumidor (Bassinelo et al., 2004).

Sabe-se que fatores como condições agronômicas, secagem, armazenamento, beneficiamento e polimento dos grãos interferem diretamente na qualidade dos mesmos. Contudo, os testes realizados são utilizados não apenas para determinar o valor de mercado do arroz pela indústria, como também para que os programas de melhoramento genético possam avaliar o comportamento culinário das novas linhagens lançadas (Bassinelo et al., 2004).

Contudo, Gomes et al. (2004) mostram que a perda da qualidade, bem como, as perdas econômicas dos grãos são atribuídas às perdas de 20% de toda produção nacional do arroz anualmente, ocorridas entre a colheita, o transporte e o armazenamento, sendo esta

última etapa a maior responsável pelo prejuízo. É durante a etapa de armazenamento, necessária para o envelhecimento do grão tornando-o ótimo para consumo, que o arroz é contaminado por insetos-pragas de grãos armazenados e fungos toxigênicos.

Os insetos, quando infestam o arroz, trazem prejuízos maiores às características sensoriais e ao valor econômico do grão, podendo também ser veículo para contaminação fúngica (Ferreira et al, 2005a). Os fungos contaminantes são responsáveis pela produção de micotoxinas que causam sérios danos à saúde podendo levar à morte por intoxicação em casos mais extremos. Além dos prejuízos para saúde humana a presença de insetos e fungos acarreta um prejuízo econômico muito grande, já que sua presença implica na não comercialização do produto (Gomes et al., 2004)

Segundo a Instrução Normativa nº6, de 16 de Fevereiro de 2009 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Brasil, 2009), que regulamenta a classificação, identidade e qualidade tecnológica do arroz, serão desclassificados e considerados impróprios para o consumo humano, com a comercialização proibida, o arroz, de qualquer dos subgrupos de ocorrência, que apresente mau estado de conservação; presença na amostra de sementes tóxicas, insetos vivos, tais como carunchos ou gorgulhos e outras pragas de grãos armazenados, além de percentual de insetos mortos superior a 0,10% e percentual de grãos mofados, ardidos e enegrecidos, por contaminação fúngica, igual ou superior a 5%.

Nesta perspectiva, se faz necessário a busca por novos métodos seguros de conservação de alimentos com o intuito de eliminar os insetos e fungos do arroz, diminuindo assim os prejuízos para a economia, bem como, para a saúde humana. Entretanto, a escassez de informações sobre esses métodos e as análises necessárias para comprovar a eficiência destes, dificultam o trabalho e sua aplicabilidade.

Estudos sobre segurança alimentar comprovaram a eficiência da irradiação gama ( $\text{Co}^{60}$ ) na conservação e proteção dos alimentos já que é capaz de eliminar e degradar insetos-pragas de grãos armazenados e fungos toxigênicos produtores de micotoxinas de maneira significativa. Ainda segundo estes estudos a irradiação com raios gama, nas frequências estabelecidas pela legislação, ou seja, até 10 kGy, não é prejudicial à saúde porque o alimento nunca entra em contato direto com a fonte de radiação, por isso não se torna radioativo e porque as possíveis alterações nos alimentos após a irradiação não são nocivas ou perigosas, elas apenas formam produtos radiolíticos como glicose, ácido fórmico, dióxido de carbono e radicais livres, embora estes últimos sejam encontrados durante um curto período de tempo

após a irradiação, devido a sua facilidade de rearranjar-se com outras moléculas (Zanão, 2007 e Guimarães, 2009).

Deste modo, estudar os efeitos da irradiação gama em grãos de arroz pode contribuir para a promoção e obtenção de um alimento seguro, que em condições normais seria infestado por insetos e fungos, o que significaria um avanço para a economia do arroz e para a segurança alimentar. Além disso, o método, por se tratar de uma tecnologia usada mundialmente, poderia introduzir e difundir a inovação tecnológica.

Nesta perspectiva, o presente estudo, objetivou dar continuidade ao trabalho de Guimarães (2009) que testou várias doses de irradiação gama ( $\text{Co}^{60}$ ) no arroz com o objetivo de eliminar fungos toxigênicos e comprovou que as melhores doses no controle de fungos foram de 6,5 kGy e 7,5 kGy. Além disso, o autor comprovou ainda que estas doses de irradiação não causaram nenhuma alteração drástica na composição química e na conformação dos grânulos de amido do arroz.

Deste modo, o presente trabalho objetivou:

- ✓ avaliar aspectos físicos, físico-químicos, tecnológicos e nutricionais relacionados à qualidade dos grãos de arroz de quatro diferentes linhagens antes de serem submetidas á irradiação gama ( $\text{Co}^{60}$ );
- ✓ avaliar a eficiência da irradiação gama ( $\text{Co}^{60}$ ) nas doses 6,5 kGy e 7,5 kGy, no controle de insetos-pragas de grãos armazenados e fungos toxigênicos, durante seis meses de armazenamento;
- ✓ avaliar os efeitos da irradiação gama ( $\text{Co}^{60}$ ) nas doses 6,5 kGy e 7,5 kGy nas propriedades, físicas, reológicas e microestruturais das variedades de arroz.

## **2. REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1. ORIGEM, PRODUÇÃO, CONSUMO E IMPORTÂNCIA DO ARROZ**

Atualmente, em todo o mundo, a espécie de arroz mais cultivada é a *Oryza sativa L.* Segundo a EMBRAPA Arroz e Feijão (2009) a referida espécie é descendente das espécies

silvestres *Oryza rufipogon*, de origem asiática, e *Oryza barthii*, de origem africana. O gênero *Oryza* compreende mais de 20 espécies diferentes, entretanto, apenas as espécies *Oryza glaberrima* S. e *Oryza sativa* L. são cultivadas (Pereira, 2002).

O arroz asiático foi cultivado pela primeira vez na China, em virtude da sua grande aceitação, foi difundido primeiramente para as Filipinas, onde é cultivado desde 2000 a.C e depois para o resto do mundo. No Brasil, o cultivo e consumo do grão remontam à época do descobrimento quando, além de fazer parte do cardápio dos portugueses, já era utilizado na alimentação pela população nativa (Pereira, 2002).

A espécie de arroz *Oryza sativa* L. após processo evolutivo e de domesticação ao longo do tempo, chegou a apresentar inúmeros tipos geneticamente divergentes adaptando-se às mais variadas condições agroecológicas. Assim, atualmente a espécie apresenta três subespécies, com base na distribuição geográfica, morfologia da planta e do grão e na reação sorológica (Pereira, 2002).

As principais subespécies, grupos ou raças ecogeográficas são: Índica, Japônica e Javânica, conforme Figura 1. O grupo Índica é cultivado em regiões tropicais de um modo geral, especialmente, Sri Lanka, Índia, Filipinas e Brasil. O grupo Japônica, por sua vez, é cultivado nas regiões temperadas do Japão, China, Coreias, Itália, Espanha e Egito. E o grupo Javânica é cultivado nas regiões equatoriais da Indonésia, principalmente na Ilha de Java (Pereira, 2002; Webb, 1991).



FIGURA 1. Principais subespécies de arroz (adaptado de Becker, 2003)

A planta do arroz é caracterizada como uma gramínea de vida curta cultivada tanto em condições de quase permanente submersão, como no caso das variedades irrigadas, quanto em condições de sequeiro, caso das variedades cultivadas em sistemas de terras altas. O grão é formado pelo ovário maduro da planta e apresenta quatro camadas principais: casca, farelo, gérmen e endosperma, sendo a última, a parte do grão que consumimos, conforme Figura 2 (Vieira et al, 1999; Pereira, 2002).

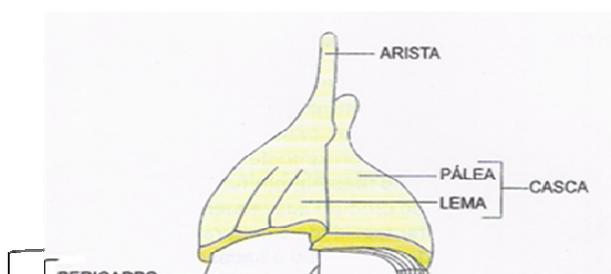


FIGURA 2. Estrutura do grão de arroz (adaptado de Vieira et al., 1999 e Juliano 1984)

O arroz, especialmente o da espécie *Oryza sativa*, é um cereal que pode ser cultivado em condições extremamente diversas, seja em *áreas secas* (arroz de Terras Altas), muitas vezes irrigadas por aspersão, ou em *áreas irrigadas* (arroz irrigado, alagado ou inundado) com até 6 metros de profundidade. Alguns estudos afirmam que as áreas irrigadas são mais produtivas, porém mais propensas a doenças na planta, embora apresente melhor qualidade dos grãos quando comparada aos grãos produzidos em áreas secas (Doesthale, 1979 Okada et al., 2007).

O cultivo do grão no Brasil é distribuído em três grandes pólos produtivos: i) *Sul*, com destaque para o Estado do Rio Grande do Sul; ii) *Central*, abrangendo os Estados de São Paulo, Minas Gerais, Goiás e Mato Grosso; iii) *Maranhense*, estado do Maranhão que, além da importância histórica na produção, na década de 90 foi o terceiro maior estado produtor deste cereal (IBGE, 2008; Ferreira et al., 2005b).

De acordo com a FAO (2006), a produção mundial anual de arroz é de aproximadamente 606 milhões de toneladas, destas, mais de 75% são oriundas de áreas irrigadas. Nesse cenário, o Brasil, em 2006 participou com mais de 11 milhões de toneladas, aproximadamente 2% da produção mundial daquele ano, e destacou-se como o único país não-asiático entre os 10 maiores produtores do grão.

Os grãos do arroz são colhidos com casca que o protege contra alguns insetos, sendo também uma barreira contra variações ambientais de umidade. A remoção da casca para o consumo, assim como a retirada do farelo, camada rica em nutriente que se encontra entre a casca e o grão, é realizada durante o beneficiamento e polimento dos grãos, respectivamente. Entretanto existem muitas variações neste processo porque são usados em todo o mundo desde pequenos moinhos por bateladas até moinhos contínuos para grandes quantidades de arroz. Contudo, os procedimentos seguem o mesmo planejamento: inicialmente remover a casca através do beneficiamento e posteriormente remover o farelo com o polimento dos grãos, obtendo-se o conhecido “arroz branco polido” (Doesthale, 1979; Okada et al., 2007)

Entretanto, o processo de polimento dos grãos tem como consequência a redução no conteúdo nutricional do arroz, principalmente nutrientes inorgânicos como Ca, P, Mg, K, Fe, Zn, Cu e Mn, vitaminas como tiamina, piridoxina, niacina e riboflavina, além de diminuir a quantidade de fibras (Doesthale, 1979; Okada et al., 2007).

O arroz é o produto agrícola mais consumido pela população mundial, especialmente no Oriente e na América Latina, que tem seu valor de comercialização dependente mais da qualidade física dos grãos verificada após o beneficiamento do que a qualidade nutricional. O percentual de grãos inteiros é o parâmetro de maior importância para a indústria do arroz, ou seja, quanto maior o percentual de grãos inteiros, maior a renda do benefício e maior o valor de comercialização do produto (Barber, 1972).

## 2.2. QUALIDADE DO ARROZ

As características determinantes da qualidade do arroz influenciam diretamente no valor de mercado do grão, bem como, na aceitação do produto pelo consumidor. Entretanto, o padrão de qualidade pode variar de região para região segundo tradições e costumes regionais. Felizmente, o padrão de qualidade do grão exigido pelo mercado consumidor brasileiro é bem homogêneo se comparado a outros países. De maneira geral, a qualidade de um produto agrícola é determinada segundo os aspectos comerciais, como a renda do benefício e qualidade de cocção, tecnológicos, nutricionais e sensoriais (Castro et al., 1999).

## 2.2.1. ASPECTOS TECNOLÓGICOS

### 2.2.1.1. Beneficiamento

Embora a preferência do consumidor em relação ao tipo de grão, aroma e aparência do arroz antes e após o cozimento sejam bastante variadas, grãos inteiros e uniformes, do tipo longo fino são usualmente preferidos. Deste modo, um beneficiamento com bons rendimentos de grãos inteiros, é um fator determinante para a qualidade do arroz, o que pode acarretar num maior preço de mercado e na maior aceitação do consumidor. Além disso, o beneficiamento é uma análise importante antes do lançamento de novas cultivares no mercado (Cueveas-Perez & Peske, 1990).

O beneficiamento dos grãos de arroz tem cinco objetivos principais: i) remoção de impurezas advindas do campo; ii) mínimo de perdas dos grãos; iii) melhoramento da qualidade através da remoção de grãos danificados; iv) eficiência na classificação e separação dos grãos inteiros dos quebrados; v) diminuição de mão de obra, agilidade do processo e aumento da produtividade da indústria arroseira (Vaughan et al., 1976).

As etapas do beneficiamento compreendem a recepção, pré-limpeza e acondicionamento a granel, limpeza, separação da casca e dos grãos, classificação dos grãos em inteiros e quebrados e a separação por tipo (longo-fino, longo e médio), a embalagem, armazenagem, transporte e comercialização. A limpeza é realizada por máquina de ar e peneiras para separar as impurezas e os grãos ruins (defeituosos) dos grãos bons, a classificação dos grãos em inteiros e quebrados normalmente é feita por classificadores dimensionais e a separação por tipo por separadores de comprimento. (Vaughan et al., 1976).

Segundo a Portaria nº 269 de 17 de novembro de 1988, do Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (Brasil, 1988), para que o grão obtenha bom valor comercial ele deve apresentar uma renda de benefício de no mínimo 40% de grãos inteiros e de no máximo 28% de grãos quebrados e quirera, 32% de casca, gérmen e farelo. Além disso, a legislação define ainda, critérios para classificação do arroz enquanto grupos, subgrupos, classes e tipos.

Entretanto, cabe ressaltar que, fatores como variedade da semente, tipo e manejo do solo, colheita e armazenamento podem influenciar diretamente na qualidade de beneficiamento dos grãos de arroz (Juliano, 1984).

#### 2.2.1.2. Qualidade de cocção

A qualidade de cocção está diretamente relacionada ao tempo de cozimento, ao índice de absorção de água, a perda de sólidos solúveis e ao ganho de volume durante a cocção, enquanto que a qualidade comestível ou palatabilidade do grão está mais relacionada com o aspecto, o aroma, a consistência e a textura do arroz cozido (Vieira & Carvalho, 1999).

Algumas características de qualidade são destacadas pelos testes de cocção, os quais compreendem vários testes normalmente realizados para se ter uma idéia do comportamento do arroz quando cozido. O teste de cocção em arroz é um parâmetro de qualidade muito utilizado por programas de melhoramento genético que objetivam a obtenção de cultivares com adaptação a condições geoclimáticas diversificadas e que possam ser igualmente utilizadas para consumo de mesa ou processamento industrial, como parbolização. Além de ser utilizado por indústrias de beneficiamento como forma de avaliar o comportamento culinário das cultivares lançadas e/ou novas linhagens em estudo (Bassinello et al., 2004).

Os fatores que controlam o comportamento culinário e de processamento do arroz são, fundamentalmente, ligados às características físico-químicas do produto. Ocorrem, contudo, uma série de alterações no período de pós-maturação do grão para consumo, durante o armazenamento, que modificam as propriedades organolépticas do arroz. Modificações na solubilidade e no teor de amilose e amilopectina do amido no arroz armazenado de três a cinco meses são responsáveis pela obtenção de grãos cozidos macios, mais secos e soltos, características preferidas pelo consumidor (Vieira & Carvalho, 1999).

A expansão do volume, a absorção de água e a resistência à desintegração do arroz beneficiado durante o cozimento, estão diretamente relacionadas com a proporção de amilose/amilopectina do amido que, no caso de cereais, normalmente é de 1:6 a 1:3 (Castro et al., 1999).

Embora as características do arroz durante o processo de cocção, possa ser influenciada por fatores como maturação do grão na época da colheita, condições e tempo de armazenamento, maturação pós-colheita, grau de polimento dos grãos, dentre outros, seu comportamento é extremamente dependente de sua composição química, predominantemente composta por amido, que corresponde a 90% do grão de arroz branco polido (Simpson et al., 1965).

### 2.2.1.3. Propriedades do amido

Conforme Van Der Burgt et al., (2000), o amido é a principal substância de reserva nas plantas superiores e fornece de 70 a 80% das calorias consumidas pelo homem. Sua estrutura macroscópica tem conformação helicoidal linear onde camadas dos polissacarídeos amilose e amilopectina associadas entre si por ligações de hidrogênio são depositadas radialmente em torno de um ponto central, denominado hilo. A razão amilose/amilopectina varia geralmente entre 1:6 e 1:3, embora haja situações de uma total ausência de amilopectina. A deposição continuada faz crescer a estrutura e dá origem ao grânulo semi-cristalino. O armazenamento do amido é feito pela planta sob forma de grânulos em depósitos transitórios (folhas) ou permanentes (órgãos de reserva). No caso de grãos como arroz, milho e trigo, os depósitos de amido são permanentes.

#### 2.2.1.3.1. Amilose e Amilopectina

O amido é um polissacarídeo, de estrutura helicoidal, composto de duas estruturas moleculares: amilose e amilopectina. Devido à conformação das moléculas de amido, elas tendem a agrupar-se em grânulos (Raven et al., 1992).

Segundo Juliano (1984), por serem estruturas complementares, o aumento ou decréscimo de amilose reflete inversamente no teor de amilopectina, conseqüentemente esta relação inversa resulta em tendências de comportamento igualmente inverso em relação às propriedades de cocção ou de processamento do arroz.

O teor da amilose do arroz exerce importante influência em seu desempenho de cocção. O Programa de Seleção de Linhagens da Embrapa Arroz e Feijão, classifica o teor de amilose do arroz em alto (28 a 32% de amilose), intermediário (23 e 37%) e baixo (8 e 22%) Neste sentido, um teor de amilose intermediário a alto resultará em grãos com propriedades de cocção preferidas pelo consumidor por apresentarem grãos mais macios, secos e soltos após o cozimento, mesmo quando reaquecidos (Martinez & Cuevas-Perez, 1989; Bassinello et al., 2000).

Juliano & Pascual (1980), citados por Vieira & Carvalho (1999), num levantamento das características de qualidade do arroz cultivado em diversos países, reportam que variedades com alto teor de amilose são encontradas, principalmente, em países tropicais, enquanto aquelas de baixo teor amilótico predominam em países de clima temperado que, tradicionalmente, cultivam arroz do grupo *Japônica*.

#### 2.2.1.3.2. Gelatinização do amido

Durante o cozimento acontece o aumento e solubilização dos grânulos de amido do arroz, resultando em alterações, como expansão do volume, abertura ou fragmentação dos grãos, além de desenvolvimento de texturas diferenciadas no arroz cozido, ocasionado pela gelatinização dos grânulos de amido. A temperatura de gelatinização do amido varia de produto para produto e refere-se à temperatura de cocção na qual a água é absorvida e os grânulos de amido aumentam irreversivelmente de tamanho com simultânea perda de cristalinidade e da birrefringência. O inchamento dos grânulos e a solubilização da amilose e amilopectina induzem à gradual perda da integridade granular, ou seja, a ordem estrutural desaparece formando uma pasta viscosa. A determinação da temperatura de gelatinização do amido é uma importante análise na avaliação do comportamento culinário do arroz (Vieira & Carvalho, 1999).

Quando a temperatura é suficientemente elevada, ambas as regiões do grânulo de amido, amorfas e cristalinas (Figura 3), são gelatinizadas. Assim, as regiões amorfas podem ser interpretadas como “promotoras” da gelatinização das regiões cristalinas do grânulo, já que é a região que mais absorve água (Fundação Cargil, 2002).

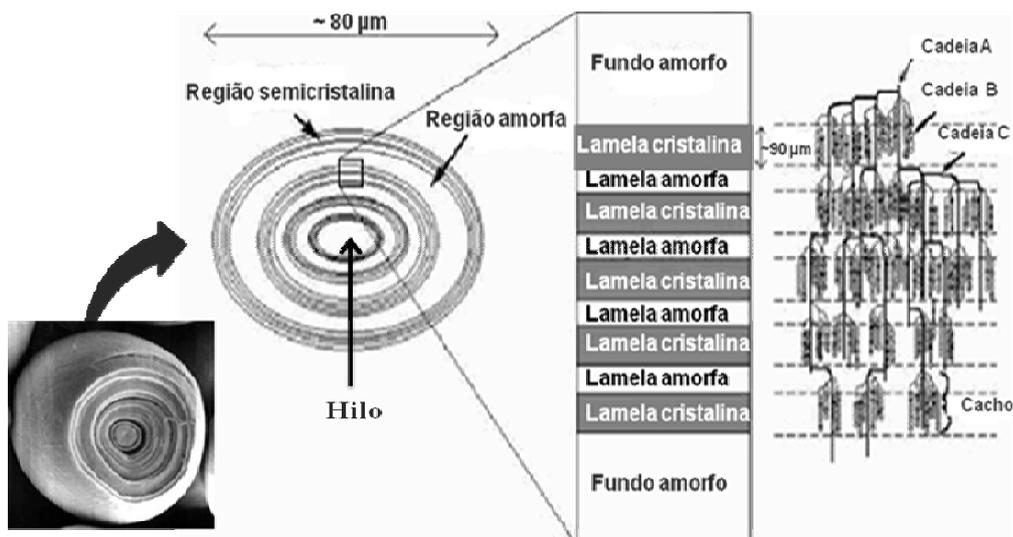


Figura 3 – Estrutura do grânulo de amido (corte transversal).

Fonte: (adaptado de Waigh et al., 1997)

A temperatura de gelatinização de amidos nativos é geralmente de 65°C, mas pode variar segundo ao tipo de planta, a variedade e as condições de campo. Para o amido de arroz, em particular, existe uma variação da temperatura de gelatinização de 65°C a 75°C (Fundação Cargil, 2002).

#### 2.2.1.4. Alteração pós-colheita

As alterações progressivas das propriedades físico-químicas do arroz após a colheita ocorrem, principalmente, nos três ou quatro primeiros meses de armazenagem e, independente das condições ambientais, são sempre mais intensas no arroz beneficiado que no arroz em casca (Vieira & Carvalho, 1999).

Durante a cocção, o arroz envelhecido apresentar maior índice de absorção de água, de expansão do volume e menor índice de perda de sólidos solúveis. Além disso, é mais resistente à desintegração dos grãos e apresenta baixa viscosidade em relação ao arroz recém-colhido. Esse comportamento é atribuído à elevação da insolubilidade da proteína e do amido durante o armazenamento, o que, naturalmente, eleva o tempo de cocção (Juliano, 1980, 1985a, 1985b).

Embora, na sua maioria, essas modificações sejam positivas e desejáveis, especialmente em função das preferências do consumidor, sob condições inadequadas de armazenamento podem ocorrer alterações prejudiciais a qualidade do arroz ao ponto de inviabilizar sua comercialização como alimento, em decorrência do ataque de insetos,

desenvolvimento de fungos e de processos de fermentação ou rancificação no produto armazenado (Juliano 1984).

### 2.3. ASPECTOS NUTRICIONAIS

O arroz é uma excelente fonte de energia, devido à alta concentração de amido, fornecendo também boa quantidade de proteínas, vitaminas e minerais, além de baixo teor de lipídios. Nos países em desenvolvimento, onde o arroz é um dos principais alimentos da dieta, ele é responsável por fornecer, em média, 715 kcal per capita por dia, 27% dos carboidratos, 20% das proteínas e 3% dos lipídios da alimentação. No Brasil, o consumo per capita é de 108g por dia, fornecendo 14% dos carboidratos, 10% das proteínas e 0,8% dos lipídios da dieta (Kennedy et al., 2002). Entretanto, a composição do grão e de suas frações está sujeita as diferenças nas variedades, variações ambientais, de manejo, de processamento e de armazenamento dos grãos (Juliano, 1984).

Além disso, os nutrientes não estão uniformemente distribuídos nas diferentes frações do grão. As camadas externas apresentam maiores concentrações de proteínas, lipídios, fibra, minerais e vitaminas, enquanto o centro é rico em amido. Dessa forma, o polimento resulta em redução no teor de nutrientes originando as diferenças na composição entre o arroz integral e o polido (Juliano, 1993).

Do ponto de vista nutricional, o arroz polido caracteriza-se por uma alta porcentagem de amido ( $80 \text{ g } 100\text{g}^{-1}$ ), baixo teor lipídico ( $0,6 \text{ g } 100\text{g}^{-1}$ ), protéico ( $6,5 \text{ g } 100\text{g}^{-1}$  a  $7,1 \text{ g } 100\text{g}^{-1}$ ), e de fibra alimentar ( $1,3 \text{ g } 100\text{g}^{-1}$ ). Embora o arroz não seja uma fonte rica em nutrientes inorgânicos, o seu consumo diário pode contribuir significativamente na Ingestão Diária Recomendada (IDR) de alguns nutrientes, principalmente se considerarmos a ingestão diária brasileira, que é superior a 100 gramas (Juliano, 1993; Okada, 2007).

#### 2.3.1. Carboidratos

O arroz é uma excelente fonte de carboidratos complexos, os quais, por serem de absorção lenta, promovem baixo índice glicêmico e é capaz de fornecer ao organismo energia por períodos prolongados. Carboidratos complexos são recomendados para substituir a

ingestão de açúcares simples e gorduras contribuindo para a redução dos riscos de cardiopatias e diabetes (Juliano & Coddard, 1986).

A presença de carboidratos na dieta evita que o organismo utilize suas reservas calóricas, bem como, reservas protéicas para obtenção de energia. Neste sentido, em indivíduos com Índice de Massa Corpórea (IMC) normal, a não ingestão de carboidratos implicará em deficiência protéica (Vieira & Carvalho, 1999).

### 2.3.2. Proteínas

A proteína do arroz, embora em baixas quantidades, são classificadas como as proteínas mais nobres encontradas entre os cereais. Além disso, a fração protéica apresenta a melhor composição de aminoácidos para o metabolismo humano. A proteína do arroz é de boa qualidade, porque contém os oito aminoácidos essenciais ao homem: leucina, isoleucina, valina, teronina, metionina, fenilalanina, lisina e triptofano. Quando combinado com leguminosas, como o feijão, ou com proteína animal, como leite ou carne, torna-se uma fonte protéica ainda mais valiosa (Treichel, 2006).

O conteúdo protéico do arroz é grandemente influenciado pelo ambiente. Altos níveis de radiação solar, durante o período de maturação, diminuem o teor de proteína do grão e, sob condições tropicais, esse teor é geralmente menor na temporada seca que na temporada úmida (Nanda & Coffman, 1979). Do mesmo modo, o manejo da cultura (a baixa densidade de semeadura) afeta o acúmulo de proteína na cariopse do grão. Além disso, fatores como uma boa disponibilidade de nitrogênio no solo, o controle adequado de doenças e um bom manejo de água contribuirá para o aumento do teor protéico do arroz (Gomez, 1979).

De maneira geral, o conteúdo protéico da cariopse atinge cerca de 7% no arroz polido e de 8% no grão integral. O balanço de aminoácidos da proteína do arroz é excepcionalmente bom. O conteúdo de lisina perfaz, em média, 3,8% a 4,0% da proteína (Jennings et al., 1979).

### 2.3.3. Lipídeos

Segundo Okada (2007), o conteúdo médio lipídico do arroz branco polido não atinge 1% dos nutrientes encontrados neste grão. A fração lipídica do arroz concentra-se na cariopse do grão, especificamente no farelo que contém aproximadamente 20% de lipídeos em sua

composição. Deste modo, estudos a respeito da extração do óleo de farelo de arroz com o objetivo de usá-lo, principalmente, na fabricação de rações, já vêm sendo desenvolvidos. Estes estudos identificaram a presença do  $\gamma$ -orizanol no óleo de farelo de arroz, um composto nutracêutico com propriedades antioxidantes, antiinflamatórias, capaz de inibir a biossíntese hepática do colesterol (Paucar-Menacho et al., 2007).

#### 2.3.4. Vitaminas e Minerais

O arroz integral é uma importante fonte de minerais e vitaminas, contendo quantidades apreciáveis de tiamina, riboflavina e niacina, bem como, de fósforo, ferro e potássio. Durante o polimento, o efeito abrasivo causa a remoção do pericarpo, da camada de aleurona e do embrião, tendo como consequência a redução drástica dos teores de vitaminas e sais minerais presentes nessas camadas que compõem o arroz integral. Neste sentido, o processo de parboilização do arroz, bem como, o de enriquecimento, tem sido alternativas para evitar estas perdas vitamínicas consideráveis (Juliano, 1985a).

Mesmo possuindo pequenos teores de vitaminas A, C, D e E, os grãos de arroz podem ser importantes fontes de tiamina, niacina, pirodoxina, biotina e riboflavina (Gomes et al., 2004). Segundo Vieira et al.(1999), o arroz é deficiente em lisina e relativamente rico em aminoácidos sulfurados, já o feijão é deficiente em aminoácidos sulfurados e ricos em lisina, sendo então, considerados complementares.

#### 2.3.5. Fitatos ou Ácido Fítico

Os fitatos, também conhecidos como ácido fítico, são compostos químicos utilizados pelas plantas para armazenar o fósforo no interior de suas células. São considerados fatores anti-nutricionais, pois reduzem a biodisponibilidade de minerais divalentes como: cálcio, ferro, magnésio, manganês, cobre e zinco (Vieira & Carvalho, 1999)

Apesar destes fatores antinutricionais, os fitatos também atuam como potentes agentes antioxidantes reduzindo assim os riscos de inúmeras doenças crônico-degenerativas, como alguns tipos de câncer e artrite. (Ferreira et al., 2003; Treichel, 2006).

## 2.4. ARMAZENAMENTO

O armazenamento, de três a seis meses, é uma etapa pós-colheita do sistema de produção, cujo objetivo principal é o de preservar a qualidade do produto para plantio, no caso de sementes, ou de maturação/envelhecimento necessário para adquirir boa qualidade culinária para a industrialização ou consumo, no caso de grãos. O arroz armazenado, como grão ou semente, representa um produto de valor agregado considerável, o que deve ser sempre levado em consideração (Hara, 1999)

O armazenamento também pode ocorrer após a comercialização, chamado de armazenamento estratégico e pode ser usado tanto para o abastecimento nacional em caso de guerras e tragédias, como para ser comercializado em momentos entre safra quando os preços são melhores (Ferreira, 2005a).

O produto armazenado constitui um sistema biológico onde interagem fatores bióticos e abióticos. Assim, a deterioração de grãos armazenados é o resultado de interações entre diversas variáveis físicas, químicas e biológicas. Além das características intrínsecas do produto, as variáveis biológicas que contribuem para a deterioração e depreciação da qualidade de grãos e sementes armazenadas, são representadas por fungos, bactérias, insetos-pragas de grãos armazenados, ácaros, pássaros e roedores. As variáveis físico-químicas são influenciadas principalmente pela umidade e temperatura, tanto dos compostos orgânicos como dos inorgânicos, destacando-se os importantes papéis exercidos pela  $H_2O$ ,  $CO_2$  e  $N_2$  (Hara, 1999).

Os efeitos deletérios causados pela interação das variáveis físicas, químicas e biológicas podem ser: redução da longevidade da semente; aquecimento e redução da massa; degeneração das proteínas; rancificação; desenvolvimento de odor estranho; mudança de coloração; fermentação; contaminação com dejetos animais; aumento do percentual de grãos danificados; dentre outras. Na sua maioria, esses problemas, no entanto, podem ser minimizados pelo controle da temperatura e do teor de umidade do produto, bem como, do controle integrado de insetos-pragas e vetores (Hara, 1999).

### 2.4.1. INSETOS-PRAGA DE GRÃOS ARMAZENADOS

Estima-se que cerca de 20% dos grãos produzidos anualmente no país são perdidos nas etapas de colheita, transporte e armazenamento, trazendo um prejuízo de

aproximadamente R\$1 bilhão ao país. A etapa de armazenamento é a maior responsável pelas perdas, pois é nesta etapa que os grãos são mais atacados por insetos-pragas de grãos armazenados e fungos de armazenamento (Gomes et al. 2004).

Os grãos de arroz, quando armazenados, podem ser atacados por mais de 30 espécies de insetos, e os que causam maiores danos são popularmente conhecidos como gorgulhos (*Sitophilus zeamais* e *Sitophilus oryzae*) e traças dos cereais (*Sitotroga cerealella*). Pode se considerar que existem dois grupos principais de insetos de armazenamento, os que possuem capacidade de se alimentar de grãos íntegros e saudáveis, e os que só conseguem se alimentar de grãos previamente danificados por insetos primários e/ou grãos partidos e que apresentem defeitos na casca ou infecção por microrganismos (Ferreira, 1998).

As traças dos cereais, *Sitotroga cerealella* (Lepidóptera: Gelechiidae), descobertas e batizadas por Olivier em 1819, são mariposas de aproximadamente 8mm de comprimento que vivem de seis a dez dias após atingirem a vida adulta, conforme Figura 4. Cada fêmea coloca de 40 a 280 ovos durante a vida adulta, sendo um ovo por grão. As fases de desenvolvimento de ovo e lagarta acontecem dentro dos grãos. Geralmente o ciclo evolutivo das traças dos cereais varia de 31 a 64 dias (ovo: 4 a 28 dias; lagarta: 15 a 24 dias e pupa: 12 dias). Os lepidópteros têm a forma adulta mais frágil e são de tamanho maior em relação aos coleópteros, permanecendo nas camadas superficiais da massa de grãos, onde concentram suas atividades, como alimentação e oviposição. Apresentam quatro asas providas de escamas e aparelho bucal adaptado à sucção (Ferreira, 1998).

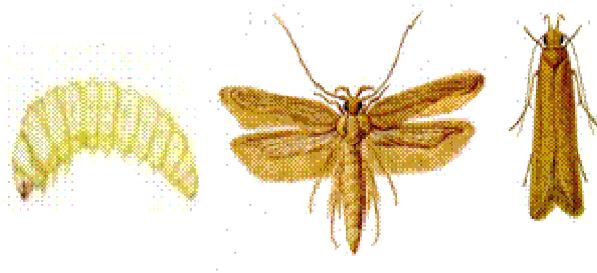


FIGURA 4 – Fases de desenvolvimento da traça dos cereais (*Sitotroga cerealella*) – lagarta e inseto adulto

Já os gorgulhos, *Sitophilus oryzae*, batizado por Linnaeus, 1763 e *Sitophilus zeamais*, batizado por Motschulsky em 1855, (Coleóptera: Curculionidae), são besouros de

aproximadamente 4 mm, com coloração escura, que vivem aproximadamente 140 dias, conforme figura 5. Cada fêmea pode colocar, durante os 34 dias de vida adulta, cerca de 282 a 400 ovos. O ciclo evolutivo do inseto ocorre todo dentro do grão, podendo o adulto sair ou não. Os coleópteros, por sua vez, têm a forma adulta bem resistente, devido à presença dos élitros (asas anteriores grossas), são de dimensões reduzidas, o que facilita sua movimentação ao longo da massa de grãos, permitindo sua ocorrência em grandes profundidades. Caracterizam-se pela presença de aparelho bucal mastigador e por quatro asas, cujo par anterior se apresenta na forma de élitro e o posterior na forma membranosa (Ferreira, 1998).

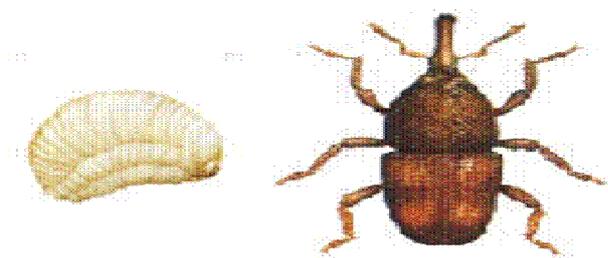


FIGURA 5 – Fases de desenvolvimento da traça dos cereais (*Sitophilus oryzae*,) – ovo e inseto adulto

Esses insetos levam a perdas quantitativas e qualitativas nos lotes de grãos armazenados. Os danos quantitativos caracterizam-se pela perda de peso nos lotes e os danos qualitativos são caracterizados por alterações na qualidade dos produtos, como diminuição do valor nutritivo, desvalorização comercial e perda das propriedades industriais. O gorgulho de arroz causa danos aos grãos interferindo no “flavor”, sendo responsabilizado pelo arroz dito “sem sabor” pelo consumidor, quando estes grãos são comercializados. Portanto, a infestação pelo gorgulho acarreta um prejuízo econômico para o produtor e para a indústria (Gomes et al., 2004; Zanão, 2007).

O método convencional mais usado atualmente para controlar os insetos-pragas de grãos armazenados tem sido os inseticidas químicos que além de causar problemas maiores de resistência dos insetos aos inseticidas, onde mais de 540 espécies de insetos foram declarados resistentes, eles possuem alta periculosidade para os seres humanos e períodos de carência específicos que nem sempre são respeitados (Lorini, 1998; Vassanachoen et al., 2007).

Os insetos-pragas de grãos armazenados se desenvolvem, de maneira geral, numa faixa ótima de temperatura entre 27°C e 35°C, sendo valores acima de 35°C e abaixo de 23°C geralmente letais para os insetos. A umidade da massa de grãos entre 12 e 15% favorece o desenvolvimento da maioria dos insetos, sendo que valores abaixo de 10% inviabilizam a sua ocorrência (Gallo et al., 1988).

#### 2.4.2. FUNGOS DE ARMAZENAMENTO

Além de insetos-pragas de grãos armazenados, os grãos de arroz podem ser atacados por diversos fungos durante o cultivo no campo, pelos “fungos de campo” (*Pyricularia grisea*, *Drechslera oryzae*, *Gerlachia oryzae* e *Phoma sp.*) ou durante o período de armazenamento, pelos “fungos de armazenamento” (*Aspergillus*, *Penicilium* e *Fusarium*), conforme Figura 6. Os microrganismos denominados “fungos de campo”, são chamados assim por contaminarem os grãos durante o cultivo, eles necessitam de ambientes com umidade relativa superior a 80% e tendem a diminuir e até mesmo desaparecer durante o processo de beneficiamento do arroz. Já os “fungos de armazenamento”, encontrados durante o armazenamento dos grãos, têm a capacidade de proliferar em maior intensidade nos grãos no período de pós-colheita porque demandam menor quantidade de água, são eles os principais responsáveis pela deterioração dos grãos armazenados. Os principais danos causados por estes microrganismos são: diminuição do poder germinativo das sementes, descoloração e manchas nos grãos, aquecimento e emboloramento, alterações da composição química dos grãos, produção de toxinas e perdas da matéria seca (Cornélio, et al., 2006)

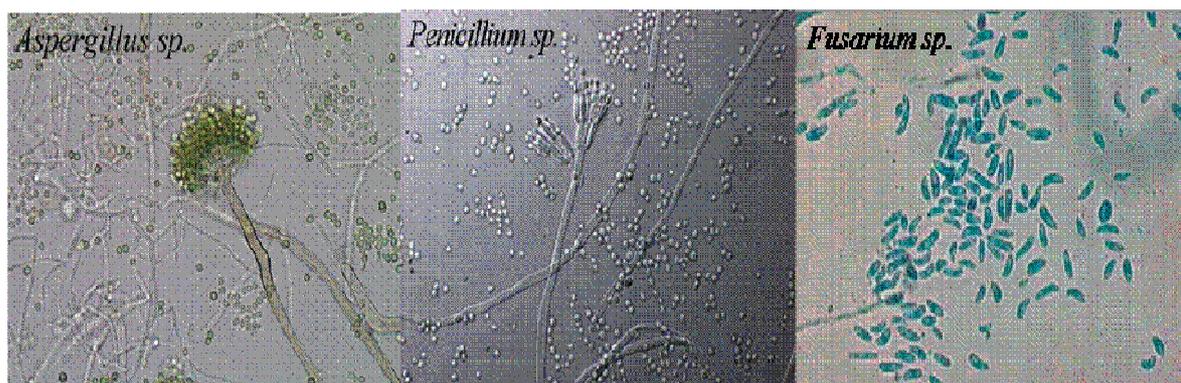


FIGURA 6 – Principais fungos de armazenamento: *Aspergillus sp.*, *Penicillium sp.* e *Fusarium sp.*

Os fungos, de forma especial os filamentosos, apresentam capacidade de crescer em ambientes com baixa umidade relativa e na ausência de água livre, ou seja, na faixa de umidade entre 13,5% e 19%, portanto é um risco potencial para o arroz, visto que o mesmo é colhido com umidade entre 18% a 23% e armazenado até a umidade atingir aproximadamente entre 13% e 14% dependendo das condições de armazenamento e da própria cultivar (Manual, 2006).

Os fungos podem produzir substâncias tóxicas tais como micotoxinas. Micotoxinas são metabólitos secundários tóxicos produzidos principalmente por fungos dos gêneros *Aspergillus*, *Penicillium* e *Fusarium*, sendo alguns desses compostos potenciais agentes carcinogênicos a humanos e animais. As micotoxinas mais comumente encontradas são as aflatoxinas, ocratoxina A, citrinina, sterigmatocistina, fumonisinas e zearalenona. Embora seja menos comum em arroz do que em outros cereais, a contaminação por micotoxinas já foi detectada nos grãos de arroz em diversas partes do mundo (Hussein & Brasel, 2001; Lima et al., 2000; Bianchini, 2003; Simionato et al., 2003; Park et al., 2005; Tanaka et al., 2007).

As micotoxinas ao serem ingeridas, inaladas ou absorvidas pela pele podem causar estado de letargia, perda de peso, intoxicações, câncer e óbito em homens e animais (Manual, 2006). Segundo Dilkin & Mallmann (2006), as micotoxinas quando ingeridas causam diversos efeitos deletérios à saúde, induzindo diferentes sinais clínicos e lesões. Os tipos de sinais clínicos e lesões são intimamente relacionados ao tipo de micotoxina, à dose ingerida, ao período de incubação e à espécie animal envolvida. Dentre as micotoxinas existentes, as aflatoxinas, metabólitos secundários de algumas cepas de fungos do gênero *Aspergillus*, são as que podem causar maiores danos aos seres humanos e animais, pela sua alta toxicidade e

ampla ocorrência. As aflatoxinas formam o grupo de toxinas fúngicas mais estudadas até hoje, sendo descobertas pela primeira vez em 1960 quando uma grande mortalidade de perus na Inglaterra foi relacionada com a contaminação do farelo de amendoim importado do Brasil.

Recentemente, casos de intoxicação por citreoviridina, uma micotoxina, foram diagnosticados no Brasil, no Estado do Maranhão a partir do consumo de arroz contaminado, provocando quadros clínicos de beribéri e levando dezenas de pessoas à morte pela deficiência de vitamina B1 (Lira & Andrade, 2008; Hoeltz et al., 2008)

Considerando-se a ocorrência de micotoxinas em alimentos é importante ressaltar que nem todas as cepas da mesma espécie são toxigênicas. A presença de fungo viável produtor de toxina não indica necessariamente que a toxina esteja presente, portanto, pode-se detectar micotoxina na ausência ou na inativação de fungos viáveis, pois esta não é facilmente degradada (ICMSF, 2000). O desenvolvimento de fungos toxigênicos e a produção de micotoxinas dependem de um complexo conjunto de fatores. Os principais são 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 em produzir micotoxinas (Scussel, 2000).

Desde a descoberta das aflatoxinas, diversos países adotaram limites de tolerância para essas toxinas em produtos destinados ao consumo humano. O Brasil, através da Resolução nº34 de 1976, redigida pela Comissão Nacional de Normas e Padrões para Alimentos, estabeleceu em janeiro de 1977, com a publicação desta norma no Diário Oficial, o limite de  $30 \mu\text{g kg}^{-1}$  para a soma das aflatoxinas B1 e G1 em qualquer tipo de alimento. Entretanto, em 1996, com os avanços da ciência e dos estudos relacionados à micotoxinas, a Portaria nº 183 de 1996 do Ministério da Agricultura e do Abastecimento (Brasil, 1996) reestabeleceu um limite máximo de  $20 \mu\text{g kg}^{-1}$  para aflatoxinas B1 + B2+ G1+ G2 e, um limite máximo de  $50\mu\text{g kg}^{-1}$  para ração animal (BRASIL, 1977, 1996).

## 2.5. IRRADIAÇÃO DE ALIMENTOS

### 2.5.1. Princípios e Efeitos da Irradiação

A radiação ionizante vem sendo aplicada em diversos produtos como método de conservação. Refere-se à energia radiante que se move através do espaço na forma de ondas

eletromagnéticas, enquanto que irradiação é um processo onde uma faixa de energia eletromagnética conhecida como radiação ionizante, penetra o produto exposto às fontes de radiação. Assim, radiações ionizantes são partículas ou fótons com energia suficiente para produzir íons (partículas eletricamente carregadas) nos materiais com os quais entram em contato (Hernandes et al., 2003; Souza, 2006).

Existem três tipos de energia radiante utilizada para a irradiação de alimentos: feixe de elétrons, raios X e raios gama. Os dois primeiros utilizam eletricidade como fonte de energia, enquanto para a radiação gama são utilizadas fontes radioativas como Cobalto 60 e Césio 137. O mecanismo de ação da radiação gama e raios-X envolvem os processos de: *i*) efeito fotoelétrico; *ii*) produção de pares e; *iii*) efeito Compton. O efeito Compton é o principal mecanismo de transferência de energia em alimentos irradiados. Neste processo, um fóton incidente interage com o átomo e transfere sua energia, provocando a ejeção de elétrons. Os elétrons ejetados contêm energia suficiente para causar excitação e ionização nos átomos restantes. A radiação penetra profundamente no alimento e, por meios físicos, interage com átomos e moléculas, provocando transformações químicas e biológicas (Urbain, 1986).

A energia gama do  $\text{Co}^{60}$  pode penetrar no alimento causando pequenas e inofensivas mudanças moleculares que também ocorrem no ato de cozinhar, enlatar ou congelar. De fato, a energia simplesmente passa através do alimento que está sendo tratado e, diferentemente dos tratamentos químicos, não deixa resíduo. A irradiação é chamada de "processo frio" porque a variação de temperatura dos alimentos processados é insignificante (CDTN, 2009).

A irradiação funciona pela interrupção dos processos orgânicos que levam o alimento ao apodrecimento. Raios gama, raios X ou elétrons são absorvidos pela água ou outras moléculas constituintes dos alimentos, com as quais entram em contato. No processo, são rompidas células microbianas, tais como bactérias, leveduras e fungos. Além disso, parasitas, insetos e seus ovos e larvas são mortos ou se tornam estéreis (CDTN, 2009).

A radiação ionizante penetra no alimento e pode agir diretamente sobre os componentes essenciais da célula ou, indiretamente, proporcionando a formação de produtos radiolíticos, particularmente os radicais livres formados a partir da água. Entretanto, processo de formação de radicais livres é rápido e o rearranjo entre as moléculas acontece na mesma velocidade. O DNA cromossômico é o alvo principal do processo de irradiação, embora os efeitos sobre a membrana citoplasmática também apresentem um papel adicional importante no dano celular, especialmente de insetos e microorganismos (Worcman-Barninka & Langraf, 2003, citado por Souza, 2006).

Deste modo, a irradiação de alimentos é o tratamento do alimento por energia expondo o mesmo a uma quantidade controlada de radiação ionizante, o que implica um tempo específico para obter objetivos desejáveis. O processo não aumenta o nível normal de radioatividade do alimento, independentemente do tempo durante o qual o alimento é exposto à radiação, visto que o mesmo não entra em contato direto com a fonte radioativa, mas com a energia emitida pela fonte. Este processo pode oferecer uma larga faixa de benefícios para a indústria alimentícia e ao consumidor, podendo ser classificado em irradiação de dose baixa (até 1kGy) suficiente para inibir brotamentos, atrasar maturação, desinfestação e inativação de parasitas; irradiação de dose média (1 a 10kGy), eficiente na redução do número de microrganismos decompositores, redução ou eliminação de patógenos não formadores de esporos; irradiação de alta dose (acima de 10 kGy), capaz de reduzir o nível de microrganismos dos alimentos a ponto da esterilidade. Porém a dose alta de irradiação não é recomendada por não ser segura (ICGFI, 2000).

Alguns estudos anteriores afirmam que a irradiação de alimentos, assim como, outras técnicas de processamento de alimentos, induzem a certas alterações que podem modificar a composição química e o valor nutritivo dos alimentos, principalmente em se tratando de carboidratos, proteína, aminoácidos e lipídeos (Wiendl, 1984; Nisizawa, 1988; Kilcast, 1994).

Entretanto, estudos recentes com irradiação gama de grãos de arroz mostraram o contrário. Antes e depois de serem irradiadas, por diferentes doses de  $^{60}\text{CO}$ , as amostras de arroz foram submetidas à análise de composição centesimal que confirmou a não alteração dos valores nutricionais pelo processo de irradiação. Além disso, a conformação dos grânulos de amido do arroz também não sofreu alterações drásticas (Zanão, 2007; Guimarães, 2009).

Portanto de acordo com o GCIIA (1990), o processo de irradiação acarreta poucas alterações químicas nos alimentos, não sendo conhecidas, reações nocivas ou perigosas. Ou seja, o valor nutricional e sensorial dos alimentos não é significativamente afetado pela irradiação, onde os macronutrientes são relativamente estáveis.

Sob o ponto de vista alimentar, a irradiação visa destruir os microrganismos e insetos que provocam deterioração nos alimentos (Arruda, 1999). Pode ser empregada, isoladamente ou em combinação com outros métodos de preservação de alimentos, como refrigeração, atmosfera controlada, cura, aditivos químicos e sacos de polietileno (Guimarães, 2009).

Em Cuba, o controle de insetos com uso da irradiação, mostrou-se satisfatório durante armazenamento de farinha de trigo, milho, arroz, cacau e feijão de soja (Alvarez et al., 1996). Em Taiwan, alguns produtos como batata, batata doce, cebolinha, cebola, alho, gengibre,

manga, mamão, arroz, feijão, soja, trigo, farinha e alguns condimentos são irradiados e testes de aceitação realizados entre os consumidores confirmaram a aprovação do uso destes alimentos (Yang, 1998).

### 2.5.2. Histórico

A irradiação ionizante vem sendo conhecida no Brasil como uma nova tecnologia de conservação de alimentos. Entretanto, a prática de irradiar alimentos com o propósito de conservação é utilizada desde 1905, quando foi patenteada pelos ingleses (Patente nº. 1609 de 26 de janeiro de 1905) e passou a ser pesquisada também pelos Estados Unidos e França. Contudo, o emprego da radiação ionizante na conservação de alimentos específicos só foi patenteado pelos norte-americanos em 1929 para o uso da radiação na inativação do parasita *Trichinella spiralis* em carnes e posteriormente em hambúrgueres, e pelos franceses em 1930 para uso da radiação na eliminação de bactérias em alimentos enlatados (FAO/IAEA, 1999).

Com o avanço das pesquisas, entre os anos de 1950 e 1960, e a corrida desenfreada por patentes, fez-se necessário o desenvolvimento de Programas de Irradiação de Alimentos pelos governos dos Estados Unidos, Bélgica, Alemanha, Canadá, França, União Soviética e Polônia, a fim de unificar os esforços em busca de um bem comum para segurança alimentar (FAO/IAEA, 1999).

Esta união contribuiu para que em 1963 a FDA (U.S. Food and Drug Administration) aprovasse “bacon” esterilizado por radiação ionizante para consumo humano. Outra contribuição importante do Programa em parceria com a NASA (National Aeronautics and Space Administration) foi à introdução de alimentos irradiados aos astronautas americanos do programa espacial Apollo em 1967. Em 1969 o homem vai à lua, consumindo alimentos irradiados (FAO/IAEA, 1999; FAO, 1996).

Em 1980, um comitê formado pela Organização das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação (FAO), Organização Mundial de Saúde (OMS) e a Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA) concluíram que a irradiação com raios gama de qualquer alimento, com uma dose total média de até 10 kGy, não apresentaria riscos toxicológicos e não requereria testes toxicológicos adicionais. Em 1996 a OMS determina que alimentos irradiados com doses superiores a 10 kGy podem ser comercializados e consumidos. Atualmente não há restrição quanto à dose da irradiação, a recomendação da OMS é que seja utilizada a menor dose possível necessária para eliminar o parasito desejado (FAO, 1996).

Neste sentido, as fontes de radiação devem ser limitadas e controladas para evitar a possibilidade física de indução à radioatividade nos alimentos. Assim, segundo o Comitê de Especialistas da Food and Agriculture Organization, International Atomic Energy Agency e a World Health Organization (FAO/IAEA/WHO), são permitidos para radiação de alimentos, somente os seguintes tipos de radiação ionizante: raios gama de  $^{60}\text{Co}$  e  $^{137}\text{Cs}$  limitada em nível de 1,33 e 0,66 MeV (megaeletron volts), respectivamente (ICGFI, 2000).

No Brasil, em 2001 foi criada uma legislação sobre irradiação de alimentos, trata-se de uma resolução da Agência Nacional de Vigilância Sanitária - RDC nº 21 de 26 janeiro 2001- que determina que qualquer alimento pode ser tratado por irradiação ionizante com raios gama desde que a dose mínima absorvida seja suficiente para alcançar a finalidade pretendida e que a dose máxima absorvida seja inferior aquela capaz de comprometer as propriedades funcionais e ou atributos sensoriais do alimento. Além disso, a legislação estabelece, que quando um produto ou ingrediente de um produto for irradiado, a embalagem do produto final deve conter 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. No caso de produto irradiado a embalagem deve possuir o símbolo internacional da radiação ionizante, denominado “radura” (Figura 7). Entretanto, esta resolução só recomenda estas informações e não as obriga ou prevê punições, fato este que contribui para que o consumidor ingira alimentos irradiados sem saber.



Figura 7 – Radura (símbolo internacional de alimentos irradiados)

### 2.5.3. Formação de Radicais Livres

A formação de radicais livres nos alimentos oriunda do processo de irradiação se dá através da absorção da radiação pela água sofrendo radiólise, com formação de íons e radicais. O radical hidroxila (OH) formado é um poderoso agente oxidante e reage preferencialmente com compostos insaturados presentes nos alimentos, especialmente com políenos conjugados e com hidrogênio presente em ligações C-H e S-H. Os radicais livres e íons formados, por efeito primário, são muito reativos, podendo interagir entre si ou com constituintes do alimento. Estas reações ocorrem rapidamente e são denominadas de efeitos secundários, responsáveis por 80% dos efeitos provocados pela radiação (Souza, 2006).

A reatividade dos radicais livres depende da sua capacidade de se difundir no meio. Em alimentos sólidos secos ou congelados, a difusão é bem restrita. Quando o material absorve umidade ou ocorre descongelamento, esses radicais começam a se movimentar reagindo entre si ou com os constituintes do alimento, resultando na formação de produtos finais estáveis. Embora este processo de formação de produtos estáveis seja realizado em fração de segundos, algumas reações continuam durante a estocagem do alimento (Lagunas-Solar, 1995).

O processo de irradiação pode induzir à alteração química em alguns alimentos, como a formação de radicais livres que em si é o foco de muitas pesquisas (Yu & Wang, 2007; Guimarães, 2009). As substâncias resultantes dessas reações são denominadas produtos radiolíticos e alguns deles, como a glicose, ácido fórmico, acetaldeído e dióxido de carbono, estão naturalmente presentes nos alimentos ou são produzidos a partir de outros processos, como o aquecimento. Já os radicais livres, que também são produzidos em outros tratamentos (fritura, torrefação) e durante a oxidação natural dos alimentos, são normalmente substâncias bastante reativas e instáveis, que reagem com outras substâncias para formarem produtos estáveis. Conseqüentemente, sua ingestão não causa nenhum dano ou efeito toxicológico. (IAEA, 2004).

Um método que vem sendo amplamente utilizado para a determinação de radicais livres é a ressonância paramagnética eletrônica (RPE). Ela é capaz de absorver as microondas emitidas 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 das moléculas. A leitura na RPE é transformada em um espectro sob a forma matemática numa curva de absorção e concentração. O valor final é calculado pela área sob a curva resultante (Schreiber et al., 1993).

Nesta perspectiva, faz-se importante estudar os efeitos da irradiação gama ( $\text{Co}^{60}$ ) na desinfestação de grãos de arroz, nas características reológicas e microestruturais dos grânulos de amido, bem como, na formação de radicais livres.

### 3. REFERÊNCIAS

AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS - AACC. Rice. **Chemistry of Technology**. D.F.Houston. Minnesota, 1972. 517p.

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

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION - APHA. **Compendium of methods for the microbiological examination of foods**. 47ed. Washington, 2006.

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

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

ASAOKA, M.; BLANSHARD, J.M.V.; RICKARD, J.E. Effects of cultivar and growth season on the gelatinisation properties of cassava (*Manihot esculenta*) starch. *J. Sci. Food Agric.*, v.59, p.53-58, 1992.

ASSOCIATION OF OFFICIAL AGRICULTURAL CHEMISTS AOAC. **Official methods of the Association of the Agricultural Chemists**. 17.ed. Washington, 2000. v.2.

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

AZIZ, N. H.; MAHROUS, S. R. Effects of gamma irradiation and chemical composition of some crop seeds on aflatoxin B1 production by *Asperrgillus flavus*. **Journal of Agricultural Sciences Mansoura University**, Cairo, v. 28, n. 1, p. 649-661, 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, p. 480-487, 2005.

BARBER, S. Milled Rice and changes during aging. In: HOUSTON, D.F. **Rice: chemistry and technology**. St Paul: American Association of Cereal Chemists, 1972. P. 215 -263.

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. Embrapa Arroz e Feijão. Comunicado Técnico, 84.

BATISTA, A. S. et al. Formas termolisada e viva de leveduras na redução de toxicidade causada por aflatoxinas. **Scientia agrícola**. v.59, n.2, p.257-260, abr./jun, 2002.

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.

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

BRASIL. Portaria nº 269 de 17 de novembro de 1988. Regulamento técnico para classificação de arroz. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento, Brasília, DF. **Diário Oficial da União**, 21 de novembro de 1988.

BRASIL. Resolução RDC-nº 12, de 12 de janeiro de 2001. Estabelece padrões microbiológicos sanitários para alimentos. AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA, Brasília, DF. **Diário Oficial da União**, 14 de janeiro de 2001.

BRASIL. Resolução RDC-nº 21, de 26 de janeiro de 2001. Regulamento Técnico para Irradiação de Alimentos. AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA, Brasília, DF. **Diário Oficial da União**, 29 de janeiro de 2001.

BRASIL. Instrução Normativa nº6, de 16 de fevereiro de 2009. Norma para classificação, identidade e qualidade de arroz – Regulamento técnico do arroz. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Brasília, DF. **Diário Oficial da União**, 19 de fevereiro de 2009.

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

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. (Embrapa Arroz e Feijão. Circular Técnica, 34).

CIACCO, C.F.; CRUZ, R. **Fabricação de amido e sua utilização**. São Paulo: Secretaria da Indústria, Comércio, Ciência e Tecnologia, [1982]. 152p.

COELHO, C.S.P. et al. Migração de micotoxinas durante a parboilização do arroz. **Brazilian Journal of Food Technology**, v.1, n.2, p.39-44, 1999.

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR - CNEN. A Irradiação de alimentos: ficção e realidade. **Apostila**. 1990.

CORNÉLIO, V.M.O., GUIMARÃES, I.C.O., SOARES, P.C., CUNHA, R.L., REIS, M.S., SOARES, A.A. FUNGOS ASSOCIADOS A GRÃOS DE ARROZ. In: **2º Congresso Brasileiro da Cadeia Produtiva do Arroz. VIII Reunião Nacional de Pesquisa de Arroz – RENAPA**, Brasília/DF, 26 a 28 de abril de 2006. Santo Antônio de Goiás: EMBRAPA Arroz e Feijão, 2006. CBC – Trab – 4-3.

CORRÊA, B. Fungos toxigênicos: panorama nacional. In: **Encontro Nacional de Micotoxinas e Simpósio de Armazenamento Qualitativas de Grãos do Mercosul**, 1998, Florianópolis. Atualidades em micotoxinas e armazenagem de grãos. Florianópolis: Vildes Mº. Scussel, 2000. p.162-168.

CRUSCIOL, C.A.C.; MACHADO, J.R.; ARF, O.; RODRIGUES, R.A.F. Rendimento de benefício e de grãos inteiros em função do espaçamento e da densidade de semeadura do arroz de sequeiro. **Scientia Agricola**, v.56, p.47-52, 1999.

CUEVAS-PEREZ, F.; PESKE, S.T. Milling performance of rice varieties under different moisture absorption environments. **Tropical Science**, London, v.30, p-142-152, 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, 5:e457. **Food Science Nutrition**, v.30, p. 403-39, 1991.

DESROSIERS, M. Current Status of the EPR Method to Detect Irradiated Food. **Applied Radiation and Isotopes**. v. 47, n. 11/12, p. 1621-1628, 1996.

DOESTHALE, Y. G. et al. Effect of milling on mineral and trace element composition of raw and parboiled rice. *J. Sci. Food Agric.*, v. 30, n. 1, p. 40-46, 1979.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA Arroz e Feijão. **Origem e história do arroz**. Disponível em: <[www.cnpaf.embrapa.br/arroz/historia.htm](http://www.cnpaf.embrapa.br/arroz/historia.htm)>. Acesso em: 25 de abril de 2009.

F.M. WIENDL; V. ARTHUR; J.A. WIENDL; F.G. PELUTZEN. **LONGEVIDADE E REPRODUÇÃO DE *Cryptolestes pusillus*(SCHOENHERR) (COL., CUCUJIDAE) APÓS IRRADIAÇÃO GAMA**. *Sci. Agr.*, Piracicaba/SP, 51 (2):222-225, maio/ago.,1994.

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Statistical databases**. Publicado em 15 abr. 2006. Disponível em: <<http://www.fao.org>>. Acessado em 25 de junho de 2009.

FAO, IOEA, OMS. **Bases técnicas para la legislación referente a los alimentos irradiados**. Roma: FAO/WHO. 1996. 62p.

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

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

FERREIRA, C.M.; YOKOYAMA, L.P. **Cadeia produtiva do arroz na região Centro-Oeste**. Brasília, DF: Embrapa Produção de Informação, 1999.

FERREIRA, C. M.; PINHEIRO, B. D. S.; SOUSA, I. S. F. D.; MORAIS, O. P. D. **Qualidade de arroz no Brasil: Evolução e padronização**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2005a.

FERREIRA, C.M; SOUSA, I.S.F; DEL VILLAR, P.M. **Desenvolvimento tecnológico e dinâmica da produção do arroz de terras altas no Brasil**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2005b.

FONSECA, J.R.; CASTRO, E. da M.; MORAIS, O.P. MATURAÇÃO PÓS-COLHEITA DE CULTIVARES DE ARROZ (*Oryza sativa L.*) DE TERRAS ALTAS. In: **2º Congresso Brasileiro da Cadeia Produtiva do Arroz. VIII Reunião Nacional de Pesquisa de Arroz – RENAPA**, Brasília/DF, 26 a 28 de abril de 2006. Santo Antônio de Goiás: EMBRAPA Arroz e Feijão, 2006. CBC – Trab – 125-1.

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

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS - FAO. **Rice around the world**. Disponível em: <<http://www.fao.org/rice2004>> Acesso em: 11 de março de 2010.

FOOD AND DRUG ADMINISTRATION. **Food irradiation**: the treatment of foods with ionizing radiation. Disponível em: <<A:\FDA\Federal%20Register%2062%20FR%207834%20Februry%20199ProcessingandHandlingofFood.htm>> Acesso em: 11 de março de 2010.

FORNASIERI FILHO, D.; FORNASIERI, J.L. **Manual da cultura do arroz**. Jaboticabal: Funep,. p.221, 1993.

FRANCO, Daniel F.; RIBEIRO, Alcêu S.; NUNES, Cley D.; FERREIRA, Ernande. FUNGOS ASSOCIADOS A SEMENTES DE ARROZ IRRIGADO NO RIO GRANDE DO SUL. **Rev. Bras. de AGROCIÊNCIA**, v.7 n 3, p.235-236, set-dez, 2001.

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

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

GALLO, D.; NAKANO, O.; NETO, S, S.;CARVALHO, R.P.L.; BAPTISTA, G. C.; BERTI FILHO, E.; PARRA. J. R. P.; ZUCCHI, R. A.; ALVES, S. B.; VENDRAMIN, J. D.; MARCHINI, L. C.; LOPES, J. R. S.; OMOTO, C. **Entomologia Agrícola**. Piracicaba, SP: FEALQ, 2002.

GARCIA, M. J. M.; FERREIRA, W.A.; BIAGGIONI, A.M. Sucessão de espécies de fungos em milho armazenado em sistema aerado. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, v.27, n.2, p.105-111, 2002.

GOMES, A.S.; MAGALHÃES JUNIOR, A. M.; **Arroz irrigado no sul do Brasil**. Brasília, DF: EMBRAPA. Informação tecnológica, 2004.

GOMEZ, K.A. Effect of environment on protein and amylose content of Rice. In: WORKSHOP ON CHEMICAL ASPECTS OF RICE GRAIN QUALITY, 1979, Los Baños, Philippines. **Proceedings**. Los Baños: IRRI, 1979.pp-91-111.

GRUPO CONSULTIVO INTERNACIONAL SOBRE IRRADIAÇÃO DE ALIMENTOS - GCIIA. **A irradiação de alimentos: ficção e realidade**. Ficha Descritiva 1-14. 1990.

GRUPO CONSULTIVO INTERNACIONAL SOBRE IRRADIAÇÃO DE ALIMENTOS (ICGFI). Fatos sobre irradiação de alimentos. 1999 (**Série de Fichas Descritivas**).

GUIMARÃES, I.C.O. **Efeito da irradiação gama (co-60) na qualidade e segurança do arroz**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Lavras. Lavras/MG. 2009.

GURGEL, M.S. de C.C. do A. **Efeito da radiação gama na resistência do Staphylococcus aureus (Rosembach, 1884) e nas propriedades físico-químicas e sensoriais do queijo Minas Frescal**. Piracicaba, 2000.81p.Tese (Doutorado)- Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo.

HARA, Tetuo. Armazenamento. In: VIEIRA, Noris Regina de Almeida, SANTOS, Alberto Baêta dos, SANT'ANA, Evaldo Pacheco. **A cultura do arroz no Brasil**. São Antonio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 1999. pp. 540 – 549.

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, 2005.

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**, v.167, p.101-134, 2001.

IBGE. **Produção agrícola Municipal: Cereais, Leguminosas e Oleaginosas – 2006**. Rio de Janeiro/RJ. 2007.

IBGE. **Produção agrícola Municipal: Cereais, Leguminosas e Oleaginosas – 2007**. Rio de Janeiro/RJ. 2008.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz: Métodos químicos e físicos para análise de alimentos**. v.1, 3ed. São Paulo: IMESP, 1985. p. 17-18.

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

JAY, M.J. **Modern food microbiology: mycotoxins**. 5.ed. New York : Chapman and Hall, 1996. p.595-611.

JENNINGS, P.R.; GOFFMAN, W.R.; KAUFFMAN, H.E. **Rice improvement**. Los Baños: IRRI, 1979.pp 101-120.

JULIANO, B.O. Properties of the rice caryopsis. In; LUH, B.S. **Rice: production and utilization**. Westport; AVI Publishing, 1980. pp.403-438.

JULIANO, B.O. Rice starch: production, properties and uses. In: WHISTLER, R.L; MILLER, J.N; PASCHALL, E.F. In: **Starch: chemistry and technology**. 2 ed. Orlando: Academic Press, 1984. pp. 507-527

JULIANO, B.O. Criteria and tests for rice grain qualities. In: JULIANO, B.O **Rice: chemistry and technology**, 2 ed. St. Paul: American Association of Cereal Chemists, 1985a. pp – 443-524.

JULIANO, B.O. Polysaccharides, proteins, and lipids of rice. In: JULIANO, B.O **Rice: chemistry and technology**, 2 ed. St. Paul: American Association of Cereal Chemists, 1985b. pp – 443-524.

JULIANO, B.O. **Rice in human nutrition**. Rome: FAO, 1993.p.35-59. (FAO Food and Nutrition Series. No. 26)

JULIANO, B.O.; GODDARD, M.S. Cause of varietal difference in insulin and glucose responses to ingested rice. **Qualitas Plantarum Plant Foods for Human Nutrition**, Dordrecht, v.36, p.35-41,1986.

JULIANO, B.O.; PASCUAL, C.G. **Quality characteristics of milled Rice grown in different countries**. Los Baños: IRRI, 1980. 24p. (IRRI, Research Paper Series, 48).

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

KILCAST, D. Effect of irradiation on vitamins. **Food Chemistry**, v. 49, p. 157-164, 1994.

LACEY, J. Factors affecting mycotoxins production. In: STEYN, P.S. & VLEGGAAR, R. Eds. **Mycotoxins and Phycotoxins**. New York: Elsevier, p. 65-76, 1986

LAGUNAS-SOLAR, M.C. Radiation Processing of foods: An overview of scientific principles and current status. **Journal of Food Protection**, Des Moines, v. 58, n. 2, p.186-192, 1995.

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, p.886-892, 2007.

LIRA, P.I.C.; ANDRADE, S.L.L.S. Epidemia de beribéri na Maranhão, Brasil. **Cadernos de Saúde Pública**, v.24, n.6, doi: 10.1590/S0102-311X2008000600001, 2008.

LORINI, I. **Controle integrado de pragas de grãos armazenados**. Passo Fundo, RS:EMBRAPA – CNPT, 1998.

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

LUH, B.; BARBERS, S.; BARBER, C. B. Rice bran: chemistry and technology. In: LUH, B.S. **Rice: utilization**. 2 ed. New York: Van Nostrand Reinhold, 1991. cap. 14, p.313-363.

MALONE, E. **Caracterização Morfológica e Molecular em Mutantes de Arroz (*Oryza Sativa L.*) quanto a Tolerância a Toxidez por Alumínio**. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia Agrícola). Universidade Federal de Pelotas. Pelotas/RS, 2005.

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

MANUAL SOBRE A PREVENÇÃO DAS PERDAS DE GRÃOS DEPOIS DA COLHEITA. Fungos e micotoxinas. Cap. 6. Disponível em: <http://www.fao.org/inpho/content/documents/vlibrary/gtzhtml/x0065p/X0065POc.htm>. Acesso em 10 de março de 2010.

MARCHEZAN, E. Grãos inteiros em arroz. **Lavoura Arrozeira**, Porto Alegre, v.44, p.3-8, 1991.

MARTINEZ C & CUEVAS-PEREZ F. **Evaluación de la calidad culinária y molinera del arroz**, 3 ed. Cali, CIAT. 75p. (CIAT. Serie 04SR-07.01).1989.

MARTIN-NETO, L. M; RODRIGUES, H. R.; TRAGHETTA, D. G. **Uso de radiação ionizante para esterilizar alimentos e detecção de formação de radicais livres por EPR**. Embrapa. Circular Interna, n. 2, p. 1-9, 1996.

NANDA, J.S.; GOFFMAN, W.R..IRRI's efforts to improve the protein content of rice: In: WORKSHOP ON CHEMICAL ASPECTS OF RICE GRAIN QUALITY, 1979, Los Baños, Philippines. **Proceedings**. Los Baños: IRRI, 1979.pp.33-47.

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. **J. Sci. Food Agric.** 76,p.250-256, 1998.

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

NAVES, M.M.V.; SILVA, M.S., CERQUEIRA, F.M; PAES, M.C.D. **Avaliação química e biológica da proteína do grão em cultivares de milho de alta qualidade protéica**. Pesquisa Agropecuária Tropical, Goiânia, v.34, n.1, p-1-8, jan/abr. 2004.

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

NUNES, I. L; MAGAGNIN, G.; BERTOLIN, T. E.; FURLONG E. B. **Arroz comercializado na região sul do Brasil: aspectos micotoxicológicos e microscópicos**. Ciênc. Tecnol. aliment. vol.23 no.2 Campinas Maio/Ago. 2003

OKADA, I. A. et al.. Validação e aplicação de metodologia analítica na determinação de nutrientes inorgânicos em arroz polido. Ciênc. Tecnol. Aliment., Campinas, 27(3): 492-497, jul.-set. 2007

ORNELLAS, C. B. D.; GONÇALVES, M. P. J.; SILVA, P. R.; MARTINS, R. T. Atitude do consumidor frente à irradiação de alimentos. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 26, p. 211-213, 2006.

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

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, p. 70-75, 2004.

PASTER, N.; MENASHEROV, M. Inhibition of t-2 toxin production on high- moisture corn kernels by modified atmospheres. **Applied and Environmental Microbiology**, v.54, n.2, p.540-543, 1988.

PAUCAR-MENACHO, L.M., SILVA, L.H., SANT'ANA, A.S., GONÇALVES, L.A.G. Refino de óleo de farelo de arroz (*Oryza sativa* L.) em condições brandas para preservação do  $\gamma$ -orizanol. Ciênc. Tecnol. Aliment., Campinas, 27(supl.): 45-53, ago. 2007

PEREIRA, J. ; CRUZ, R. ; SOARES, N. F. F. ; SOARES, Plínio César . Efeito da armazenagem sobre o beneficiamento do arroz (*Oryza sativa* L.). **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, v. 23, p. 28-32, 1998.

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

PEREIRA, José Almeida. **Cultura do arroz no Brasil**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2002. 226p

PHILIPPINES. University of Philippines Los Baños, International Rice Research Institute. Rice supply/utilization balances, by country and geographical region, selected years-Table17. Disponível em <<http://www.irri.org/science/ricestat/pdfs/Table%2017.pdf>> Acesso em 15 de maio de 2009.

PITT, J. I.; HOCKING, A. D. **Fungi and Food Spoilage**. 2.ed. Maryland: Aspen Publishers Inc.; 1999. 593 p.

PIVA, C.P., ZANÃO, C.F.P., SILVA, M.V.C., PIGOSO, A.A., VILLELA, S. H. M. Análise físico-química de grãos de arroz com diferentes níveis de brunimento no processo de beneficiamento. In: **2º Congresso Brasileiro da Cadeia Produtiva do Arroz. VIII Reunião Nacional de Pesquisa de Arroz – RENAPA**, Brasília/DF, 26 a 28 de abril de 2006. Santo Antônio de Goiás: EMBRAPA Arroz e Feijão, 2006. CBC – Trab – 33-1.

PORTUGAL, A.D. O recente sucesso da dobradinha “feijão com arroz”. **Revista de Política Agrícola**, Brasília, DF, v.5, n.1, p.7-8, jan./mar. 1996.

PRADO, G.; CARVALHO, E.P.; MADEIRA, J.E.G.C.; MORAIS, V.A.D.; OLIVEIRA, M.S., CORRÊA, R.F.; CARDOSO, V.N. **Efeito da irradiação gama (<sup>60</sup>Co) na frequência fúngica de amendoim *in natura* em função do tempo de prateleira**. Ciênc. agrotec., Lavras, v. 30, n. 5, p. 930-936, set./out., 2006.

PRIMAVESI, A. **Manejo ecológico do solo: a agricultura em regiões tropicais**. São Paulo: Nobel, 2002.

RAVEN, P.H.; EVERT, R.F.; EICHHORN, S.E. *Biology of plants*. 5 ed. New York: Worth Publishers, 1992. pp.47-61

RODRIGUES, L.R.F; ANDO, A. **Uso da sensibilidade à radiação gama na discriminação de variedades de arroz-de-sequeiro dos grupos Índica e Japônica**. Bragantia, Campinas, v.62, n.2, p.179-188, 2003.

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.

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

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.f

SANTURIO, J.M. Micotoxinas e Micotoxicoses na Avicultura. **Revista Brasileira de Ciência Avícola**. 2000.

SANZ, E. **Irradiação de alimentos pode aumentar exportações de frutas brasileiras**. Disponível em: <[http://www.radiobras.gov.br/ct/1996/materia\\_270996\\_12.htm](http://www.radiobras.gov.br/ct/1996/materia_270996_12.htm)> Acesso em 11 de abril de 2009.

SCHOLZ, M. B. S. Qualidade tecnológica do arroz. In: INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. **Arroz irrigado: práticas de cultivo**. Londrina, 2001, p.190-196 (Circular, 119)

SILVA, C. A. S. **Avaliação da adesão bacteriana em polímeros empregados na indústria de alimentos irradiados com Cobalto 60**. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2006.

SIMPSON, J.E; ADAIR, C.R; KHOLER, G.O; DAWSON, E.H; DEOBALD, H.J.; KESTER, E.B; HOGAN, J.T.; BATCHER, O.M.; HALICK, J.V. **Quality evaluation studies of foreign and domestic rices**. Washigton: USDA, 1965, 183p

SIQUEIRA, A.A.Z.C. **Efeitos da irradiação e refrigeração na qualidade e no valor nutritivo da Tilápia**. Dissertação (Mestrado) 2001. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – Universidade de São Paulo.

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.

SOARES, N. de F.F.; CRUZ, R.; REZENDE, S.T.; SOARES, P.C.; CRISPIM, S.A. Efeitos de variedade, tipo de embalagem e tempo de estocagem na qualidade do arroz integral. **Arquivos de Biologia e Tecnologia**, Curitiba, v.36, n.3, p.425-439, 1993.

SOUZA, A.S. **Efeitos da irradiação na composição e propriedades funcionais da soja**. Tese (doutorado) – Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia de Alimentos. Campinas, SP, 2006.

SOUZA, A.S.; NETTO, F.M. **Influência da Irradiação e do Armazenamento nas Características Estruturais da Proteína de Soja**. Braz. J. Food Technol., III JIPCA, janeiro, 2006.

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

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

TANAKA, M.A.S. Fungos Associados a Sementes de Arroz com Descoloração de Grãos em Minas Gerais. **Revista Brasileira de Sementes**, vol. 8, no 2, p. 85-90, 1986.

TANIWAKI, M. H.; SILVA, N. **Fungos em alimentos: ocorrência e detecção**. Campinas: Instituto de Tecnologia de Alimentos, 2001. 82 p.

TREICHEL, A. **Arroz: um alimento nobre e saudável**. Postado em 2006. Disponível em: <<http://www.abiap.com.br/>>. Acesso em 10 de março de 2010.

TSAI, D.; RELA P.R.; TSAI S.M.;SAMPA, M.H.O. Radiação por feixe de elétrons e sua aplicação como agente esterilizante de microrganismos em substrato turfoso. In:

**International Nuclear Atlantic Conference – INAC 2005.** ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA NUCLEAR – ABEN: Santos/SP, Brazil, August 20 to September 2, 2005.

USDA - United States of America (Beltsville, Maryland). United States Department of Agriculture. USDA nutrient database for standard reference. Disponível em <<http://www.nal.usda.gov/fnic/foodcomp/>>. Acesso em 18 jan. 2010.

VAN DER BURGT, Y. E. M. ; BERGSMA, J. ; BLEEKER, I. P. ; MIJLAND, P. J. H. C.; KAMERLING, J. P.; VLIEGENHART, J. F.G. Structural studies on methylated starch granules. *Starch/ Stärke*, v.52, n.2-3, p.40-43, 2000.

VAN EGMOND, H.P., JONKER, M.A., 2004. Worldwide Regulations for Mycotoxins in Food and Feed in 2004. Food and Agriculture Organizations of the United Nations, Rome. 2004.

VASSANACHAROEN, P.; PATTANAPO, W.; LÜCKE, W.; VEARASILP, S. Control *Sitophilus orizae* (L.) by Radio Frequency Heat Treatment as Alternative Phytosanitary Processing in Milled Rice. In: Conference on International Agricultural Research for Development. Tropentag 2007. University of Kassel-kitzenhausen and University of Göttingen, October 9-11, 2007.

VAUGHAN, C.E., GREGG, B.R., DELOUCHE, J.C. **Beneficiamento e Manuseio de Sementes.** Ministério da Agricultura/AGIPLAN. Brasília, 1976.

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.

VIEIRA, Noris Regina de Almeida, SANTOS, Alberto Baêta dos, SANT'ANA, Evaldo Pacheco. *A cultura do arroz no Brasil.* São Antonio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 1999. 633p.

WAIGH, T.A, HOPKINSON, I., DONALD, A.M.. Analysis of the native structure of starch granules with X-ray microfocus diffraction. In: **Macromolecules**, v. 30, 1997, p. 3813-3820

WALDER, J.M.M., FOLEGATTI, M.V., WILDNER, M., SILVA, A.S.S., MARTINS, J.M. **Divulgação dos benefícios da irradiação dos alimentos e outros materiais.** Pesquisa de Opinião. 32 p. Novembro – 2001.

WALTER. M. MARCHEZAN, E., AVILA, L.A.. Arroz: composição e características nutricionais. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.38, n.4, p.1184-1192, jul, 2008

WEBB, B.D. Rice quality and grades. In: LUH, B.S. **Rice: production and utilization.** Westport: AVI, 1980. p.543-565.

WEBB, B.D. Rice quality and grades. In: LUH, B.S. **Rice: production and utilization.** Westport: 2.ed. Davis: University of California, 1991. V.2, pp.89-119

WIENDL, F.M. A Salubridade dos alimentos irradiados. **Boletim da Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.18, n1, pp.48-56, 1984.

WORLD HEALTH ORGANIZATION - WHO. **Diet, nutrition and the prevention of chronic diseases**. Geneva, 2003.149p. (WHO Technical Report Series, 916)

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

XIA, M. et al. Supplementation of diets with the black rice pigment fraction attenuates atherosclerotic plaque formation in apolipoprotein E deficient mice. **Journal of Nutrition**, v.133, n.3, p.744-751, 2003.

YOKOHAMA, L.P.; RUCATTI, E.G.; KLUTHCOUSK, J. Economia da produção: conjuntura, mercados e custos. In: VIEIRA, Noris Regina de Almeida, SANTOS, Alberto Baêta dos, SANT'ANA, Evaldo Pacheco. **A cultura do arroz no Brasil**. São Antonio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 1999. pp. 54

YOKOYAMA, L.P.; RUCATTI, E.G., KLUTHCOUSK, I.J. Aspectos conjunturais e socioeconômicos da cultura do arroz. In: **Reunião Nacional de Pesquisa de Arroz**, 1998, Goiânia. Resumos. Goiânia: EMBRAPA-CNPAF, 1998.v.1.p.488-491.

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, may.1994.

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

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

ZANÃO, C.F.P., CANNIATTI-BRAZACA, S.G.C., PIVA, C.P., ARTHUR, V. Avaliação das características sensoriais do arroz comum (*Oryza sativa* L.) irradiado. In: **2º Congresso Brasileiro da Cadeia Produtiva do Arroz. VIII Reunião Nacional de Pesquisa de Arroz – RENAPA**, Brasília/DF, 26 a 28 de abril de 2006. Santo Antônio de Goiás: EMBRAPA Arroz e Feijão, 2006. CBC – Trab –33 – 3

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.

## **CAPÍTULO 2**

# **Análise da qualidade tecnológica e das características químicas e sensoriais do arroz**

## **RESUMO**

O arroz é o alimento mais consumido pelas populações no mundo, além de representar fonte de nutrientes necessários ao bom funcionamento do organismo humano, desempenha importante papel econômico. Considerando que devido a sua importância a qualidade dos grãos seja fator preponderante para comercialização e consumo, o presente trabalho objetivou avaliar a qualidade tecnológica, referente ao beneficiamento, à perda do benefício e características de cocção; a qualidade química, referente à composição centesimal e a qualidade sensorial de quatro cultivares de arroz: Caravera, Relâmpago, Primavera e Seleta.

Deste modo, a cultivar Primavera obteve melhor rendimento de grãos inteiros enquanto que a cultivar Seleta apresentou melhores níveis de proteína, fibra e cinzas. Já as cultivares Caravera e Relâmpago apresentaram melhor rendimento de panela e menor tempo de cocção. Para os consumidores, as cultivares Primavera e Seleta foram as preferidas. Nesta perspectiva, podemos concluir que, embora todas as cultivares tenham apresentado resultados esperados de composição centesimal, cocção e análise sensorial, no geral, a cultivar Seleta foi a melhor do ponto de vista nutricional e sensorial.

## 1. INTRODUÇÃO

O arroz é uma excelente fonte de energia, devido à alta concentração de amido, fornecendo também boa quantidade de proteínas, vitaminas e minerais, além de baixo teor de lipídios. Nos países em desenvolvimento, onde o arroz é um dos principais alimentos da dieta, ele é responsável por fornecer, em média, 715 kcal per capita por dia, 27% dos carboidratos, 20% das proteínas e 3% dos lipídios da alimentação. No Brasil, o consumo per capita é de 108g por dia, fornecendo 14% dos carboidratos, 10% das proteínas e 0,8% dos lipídios da dieta (Kennedy et al., 2002). O arroz é composto por casca, película (farelo), embrião e endosperma amiláceo (Castro, et al., 1999). Entretanto, a composição do grão e de suas frações está sujeita as diferenças nas variedades, tratamentos, variações ambientais, de manejo, de processamento e de armazenamento dos grãos, conforme Tabela 1.

TABELA 1 – Composição média do arroz branco polido, arroz parboilizado e das frações casca e farelo do arroz.

Energia (Kcal)	Proteína (g)	Lipídeos (g)	Fibra (g)	Cinzas (g)	Carboidratos (g)	Cálcio (mg)
-------------------	-----------------	-----------------	--------------	---------------	---------------------	----------------

	100g <sup>-1</sup>						
<b>Arroz branco polido</b>	358,00	7,20	0,30	1,80	0,50	78,80	4,00
<b>Arroz parboilizado</b>	372,00	8,60	0,60	2,00	0,95	80,30	14,00
<b>Casca do arroz</b>	330,20	2,80	0,80	45,90	21,00	34,00	48,30
<b>Farelo do arroz</b>	442,00	14,00	22,00	29,00	8,96	49,50	3,00

Fonte: Unicamp (2006)

Para que o arroz seja consumido ele é submetido ao beneficiamento, ou seja, ao descascamento ou descascamento e brunição. Os grãos passam por um processo de limpeza com retirada de impurezas leves e grãos chochos, ardidos ou mofados mediante o uso de máquinas de ar e peneira, separadores de metais e outras máquinas de limpeza. Além disso, os grãos devem ter no máximo 14% de umidade. A retirada da casca do arroz é feita por descascador de rolos de borracha onde dois rolos de mesmo diâmetro giram em direções opostas, a diferentes velocidades submetendo os grãos a uma torção que os separa da casca. Para cada tamanho e forma dos grãos de arroz é necessária a regulagem entre a distância dos rolos (Vaughan, 1976).

O arroz em casca ainda pode ser descascado pelo descascador de discos, um equipamento antigo, constituído por dois discos de pedra, os quais descascam o arroz por abrasão. Este tipo de descascador apresenta maior dificuldade de regulagem e maior quebra de grãos devido à agressividade do processo (Vaughan, 1976).

Os grãos que não foram descascados (grãos menores) são colocados no separador de marinheiros que com movimentos articulados das peneiras vai separando, por densidade, os grãos inteiros descascados dos marinheiros (Webb, 1980), esses últimos voltam ao equipamento de descascamento para serem beneficiados.

Após o descascamento os grãos são submetidos à brunição, para retirada do germe e do farelo, através do brunidor que é constituído de cone metálico com a superfície revestida de esmeril e montado em posição invertida. A separação da casca e do farelo é feita por um sistema de aspiração que os elimina passando por meio de uma coluna de ventilação (Vaughan, 1976). Logo em seguida, os grãos passam pelo polimento, num polidor de cone

metálico revestido de fibras vegetais, tiras de couro ou de flanela especial para a remoção de algum resto de farelo, pelo polidor (Webb, 1980).

A classificação pode ser feita por classificador com movimento oscilatório o qual separa o arroz quebrado do arroz inteiro, chamado “separador de bica corrida” e também por separador de alvéolos, chamado “trieur de alvéolos”, ainda por separador de discos (Webb, 1980).

A renda do benefício, ou seja, o percentual de arroz inteiro e quebrado beneficiado ou beneficiado e polido é um dos mais importantes critérios da qualidade do arroz. Outro critério importante é o rendimento dos grãos que se refere ao percentual de grãos inteiros oriundos do beneficiamento (Webb, 1980).

Segundo a Portaria nº 269 de 17 de novembro de 1988, do Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (Brasil, 1988), para que o grão obtenha bom valor comercial ele deve apresentar uma renda de benefício de no mínimo 40% de grãos inteiros e de no máximo 28% de grãos quebrados e quirera, 32% de casca, germen e farelo. Além disso, a legislação define ainda, critérios para classificação do arroz enquanto grupos, subgrupos, classes e tipos.

Numerosos fatores afetam o rendimento total e de grãos inteiros no beneficiamento. Alguns desse, como a presença de matéria estranha e de impurezas, o percentual de grãos gessados e de grãos danificados. Outros fatores que afetam seriamente a renda do benefício são a variedade, o tipo de grão, as condições de crescimento, o método de colheita, o controle das operações de secagem e também os efeitos, em virtude da adsorção e da desorção de umidade, uma vez que o arroz pode ser facilmente danificado pela secagem rápida ou pela umidificação do grão (Juliano, 1985a).

No caso do arroz, algumas características de qualidade são destacadas pelos testes de cocção, os quais compreendem vários testes normalmente realizados para se ter uma idéia do comportamento do arroz quando cozido. O teste de cocção em arroz é um parâmetro de qualidade 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. Normalmente simula-se, na metodologia, o cozimento caseiro (Bassinello et al., 2004). Dentre estes testes podemos destacar o tempo de cozimento, o índice de absorção de água, o coeficiente de expansão do volume e a perda de sólidos solúveis.

A expansão do volume, a absorção de água e a resistência à desintegração do arroz beneficiado durante o cozimento, estão diretamente relacionadas com a proporção de

amilose/amilopectina do amido que, no caso de cereais, normalmente é de 1:3. As características determinantes da qualidade de grão em arroz refletem-se diretamente no valor de mercado e na aceitação do produto pelo consumidor. Tais características de qualidade do arroz são afetadas por fatores como condições agronômicas, características físico-químicas (do amido, por exemplo), etapas de processamento como secagem, armazenamento, polimento e condições de cozimento (Castro et al., 1999).

Nesta perspectiva, considerando que as características determinantes da qualidade dos grãos de arroz refletem diretamente no valor de mercado do grão, bem como, na sua aceitação pelo consumidor, objetivamos:

- ✓ avaliar a qualidade tecnológica de diferentes cultivares de arroz referente ao beneficiamento, à renda do benefício e características de cocção;
- ✓ analisar a qualidade química do arroz referente à composição centesimal e;
- ✓ avaliar a qualidade sensorial de diferentes cultivares de arroz.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1. LOCAL DO EXPERIMENTO**

O experimento foi conduzido no Departamento de Ciência dos Alimentos, Departamento de Agricultura da Universidade Federal de Lavras (UFLA) e na Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais /Centro Tecnológico do Sul de Minas Gerais (EPAMIG/CTSM) – Lavras/MG.

### **2.2. PREPARO E CARACTERIZAÇÃO DA MATÉRIA-PRIMA**

#### **2.2.1. OBTENÇÃO DA MATÉRIA-PRIMA**

Foram fornecidas pela EPAMIG/CTSM (Centro Tecnológico do Sul de Minas) de Lavras/MG quatro cultivares de arroz tipo longo fino, cultivadas em Fazendas Experimentais da EPAMIG, sendo três variedades cultivadas em terras altas, safra 2007/2008, conhecidas como arroz de sequeiro, identificadas como BRSMG – Primavera, BRSMG – Relâmpago, BRSMG – Caravera, cultivadas em Felixlândia/MG e uma variedade irrigada, safra 2007/2008: BRSMG Seleta, cultivada em Leopoldina/MG.

### 2.2.2. PREPARO DA MATÉRIA-PRIMA

As amostras foram colhidas e trazidas para a Fazenda Experimental da EPAMIG/CTSM em Lavras/MG, onde, manualmente, os grãos foram separados das panículas e limpos,. Amostras de 10 Kg de cada cultivar foram coletadas em sacos de papel e armazenadas em câmara climatizada a 22°C e 65% UR durante um tempo médio de 30 dias, para posterior beneficiamento.

### 2.3. BENEFICIAMENTO DA MATÉRIA-PRIMA

As amostras foram beneficiadas em engenho de provas (Suzuki, modelo MT96, Brasil) na Usina de Beneficiamento de Sementes (UBS), do Departamento de Agricultura da UFLA. As amostras foram submetidas ao descascamento ao passar entre os rolos de borracha do engenho de provas e posteriormente à brunição, retirada do gérmen e farelo, durante um minuto. O renda do benefício e o rendimento dos grãos foram determinados à partir da separação/classificação dos grãos inteiros e dos grãos quebrados utilizando um classificador ou “trieur de alvéolos” do próprio engenho.

#### 2.3.1. RENDA DO BENEFÍCIO

Para o teste de determinação da renda do benefício e do rendimento dos grãos de arroz, 100 g de arroz em casca e em triplicata, foram submetidos ao descascamento e à brunição por um minuto, em engenho de provas (Suzuki, modelo MT96, Brasil) na Usina de

Beneficiamento de Sementes (UBS), do Departamento de Agricultura da UFLA. A classificação foi feita neste mesmo equipamento utilizando “trieurs” de alvéolos (cavidades) de movimentos oscilatórios, em sentido horário, pelo mesmo tempo de um minuto.. O “trieur” de número 2 foi usado para separar os grãos inteiros dos demais grãos, os grãos quebrados ficaram retidos dentro de uma canaleta, enquanto que os grãos inteiros ficaram soltos dentro do “trieur”. Os grãos quebrados foram colocados no “trieur” de número 1, onde os grãos chamados de grãos  $\frac{3}{4}$  foram separados dos demais. O “trieur” de número 0 foi usado para separar os grãos  $\frac{1}{2}$  dos  $\frac{1}{4}$  + quirera. A renda do benefício foi expressa em percentagem.

## 2.4. ANÁLISES QUÍMICAS

### 2.4.1. COMPOSIÇÃO CENTESIMAL

As análises de composição centesimal do arroz foram realizadas, com base na matéria seca, no Laboratório de Grãos, Raízes e tubérculos e no Laboratório de Processamento de Vegetais no Departamento de Ciência dos Alimentos (DCA), na Universidade Federal de Lavras (UFLA), de acordo com a AOAC (2006).

#### **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. Os resultados foram expressos em g 100<sup>-1</sup> com base na matéria seca.

#### **b) Extrato etéreo**

O extrato etéreo foi determinado por extração contínua em aparelho tipo Soxhlet, utilizando o éter etílico como solvente orgânico. Os dados foram expressos em g 100<sup>-1</sup> com base na matéria seca.

#### **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. Os resultados foram expressos em g 100<sup>-1</sup> com base na matéria seca

#### **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 g 100<sup>-1</sup> com base na matéria seca

#### **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. Os resultados foram expressos em g 100<sup>-1</sup> com base na matéria seca.

#### **f) Fração glicídica (extrato não nitrogenado)**

O teor de carboidratos totais foi determinado, com base na matéria seca, por diferença, segundo a Equação 1:

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

em que:

FG = fração glicídica g 100<sup>-1</sup>;

U = umidade;

EE = extrato etéreo

P= proteína

F= fibra bruta

C= cinza

## 2.5. QUALIDADE TECNOLÓGICA

### 2.5.1. TESTE DE COCÇÃO TRADICIONAL

O teste de cocção tradicional é um importante método empregado para avaliar a qualidade culinária de grãos de arroz, ele é realizado em um béquer em laboratório. Esta análise foi conduzida no Laboratório de Grãos, Raízes e Tubérculos do Departamento de Ciência dos Alimentos da 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 num béquer e, após 15 minutos, foram tomados três grãos entre duas lâminas de vidro, comprimindo-os. Esta compressão foi repetida em intervalos de tempo de 1 minuto, até que os grãos de arroz estivessem totalmente transparentes, ou seja, não apresentassem nenhum núcleo amiláceo (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 Equação 2, conforme Bassinello et al. (2004); Hummel (1996) e Donnelly (1979).

$$\text{IAA \%} = (\text{peso do arroz cozido} \div \text{peso do arroz cru}) \times 100$$

Equação 2

#### 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 Equação 3, segundo Donnelly (1979) e Ciacco & Chang (1986).

$$\text{CEV}\% = (\text{VD arroz cozido} \div \text{VD arroz cru}) \times 100 \quad \text{Equação 3}$$

em que:

VD = volume deslocado

#### **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 drenado 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, determinando o resíduo seco, conforme Equação 4. A percentagem de perda de sólidos solúveis foi calculada segundo equação 5, de acordo com Maradini Filho (1983) e Ciacco & Chang (1986):

$$\text{RS (g)} = \{(\text{peso da placa de Petri (g)} + \text{alíquota da água de cozimento (ml)}) - (\text{peso da placa de Petri})\}$$

Equação 4

em que:

RS = resíduo seco

$$\text{PSS}\% = \frac{\text{V} \times \text{R.S} \times 100}{\text{P}} \quad \text{Equação 5}$$

em que:

PSS= perda de sólidos solúveis;

V= volume (ml) da água de cocção;

RS= resíduo seco,.

p = peso do arroz cru (g).

## 2.5.2. TESTE DE COCÇÃO DE PANELA OU CONVENCIONAL

O teste de cocção de panela ou convencional tem como objetivo simular a cocção do arroz na cozinha convencional (caseira) segundo descrito por Bassinello et al. (2004), e determina o tempo de cozimento e o volume de água necessário.

A cocção ocorreu em fogão de quatro bocas (marca Dako/Brasil), sendo usadas apenas as bocas pequenas do fogão, utilizando-se panelas de alumínio com capacidade para 2 (dois) litros. Foram lavado em água corrente, 300g de arroz (correspondente a duas xícaras de chá com capacidade de 250 ml). Os grãos lavados foram refogados em quatro colheres de sopa de óleo de soja, marca Sadia, até que começassem a fritar e a se separar (aproximadamente 5 minutos). Logo em seguida, foram acrescentadas três xícaras chá (750ml) de água fervente juntamente com ½ colher de sopa de sal de cozinha (8g), deixando-se em fogo alto. Cronometrou-se o tempo a partir da fervura da água, diminuindo a chama para fogo baixo e tampando metade da panela. Revolveu-se o arroz antes da água secar. Acrescentou-se água conforme a necessidade, tampando-se totalmente a panela. Para determinar a cocção dos grãos foram tomados três grãos entre duas lâminas de vidro, comprimindo-os, em intervalos de tempo de 1 minuto, até que os grãos de arroz estivessem totalmente transparentes. Verificou-se o tempo gasto para o cozimento e o volume de água gasto ao se desligar a chama do fogão (Bassinello et al., 2004)

## 2.6. QUALIDADE SENSORIAL

### 2.6.1. ANÁLISE SENSORIAL

Após a realização de todos os testes, foi utilizada a metodologia do Teste de Cocção de Panela e os parâmetros determinados por ela para preparar as amostras e submetê-las a análise sensorial, de acordo como as metodologias descritas por Chaves & Sproesser (1999), onde 50 provadores não treinados avaliaram atributos de aparência, aroma, sabor, textura e aspecto global, utilizando ficha com escala hedônica estruturada de nove pontos, variando entre os termos hedônicos “desgostei extremamente” (escore 1) e “gostei

extremamente”(escore 9). As amostras foram servidas em uma única seção e de forma balanceada. Os provadores receberam quantidades homogêneas de cada amostra à aproximadamente 30°C, simulando a temperatura de consumo, em copos plásticos devidamente codificados. A classificação da ficha foi transformada em valores numéricos, para que pudessem ser avaliados, pela análise de correspondência, para a detecção de diferenças significativas.

## 2.7. 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 repetições, para cada análise e cada uma das quatro cultivares de arroz, totalizando 12 tratamentos. Os dados obtidos foram analisados, estatisticamente, por meio de análise de variância (ANAVA) e as médias dos tratamentos, quando significativas, comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Para as análises utilizou-se o software SAEG 9.1 (2007) da Universidade Federal de Viçosa.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1. RENDA DO BENEFÍCIO

A Tabela 2 apresenta os resultados da análise de variância (ANAVA) para cada um dos parâmetros do beneficiamento. Todos os parâmetros foram significativos a 1% de probabilidade, ou seja, sofreram variações significativas pelas condições de colheita e pós-colheita.

TABELA 2 – Análise de variância, significância e coeficiente de variação as variáveis grãos inteiros  $\frac{3}{4}$ ,  $\frac{1}{2}$ ,  $\frac{1}{4}$  + quirera, casca e farelo envolvidas no beneficiamento em função das cultivares de arroz.

F.V	G.L	QUADRADOS MÉDIOS					
		Inteiros	$\frac{3}{4}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{4}$ + quirera	Casca	Farelo
Fonte	3	331,70*	7,18*	4,87*	183,78*	0,36*	8,50*

Resíduo	8	1,62	0,17	0,15	0,32	0,43	0,42
<b>CV (%)</b>		<b>3,34</b>	<b>8,63</b>	<b>16,88</b>	<b>2,71</b>	<b>3,19</b>	<b>11,92</b>

\* F significativo, a 1% de probabilidade;

A Tabela 3 apresenta os resultados da renda do benefício deste experimento, expressos em quantidade em gramas de grãos inteiros e quebrados.

TABELA 3 – Valores médios\* em percentagem das variáveis grãos inteiros,  $\frac{3}{4}$ ,  $\frac{1}{2}$ ,  $\frac{1}{4}$  + quirera, casca e farelo envolvidas no beneficiamento em função das cultivares de arroz.

	<b>Inteiros (%)</b>	<b><math>\frac{3}{4}</math> (%)</b>	<b><math>\frac{1}{2}</math> (%)</b>	<b><math>\frac{1}{4}</math> + quirera (%)</b>	<b>Casca (%)</b>	<b>Farelo (%)</b>
<b>Caravera<sup>1</sup></b>	41,70 b	3,71 c	3,45 a	23,79 b	20,54 a	6,43 a
<b>Relâmpago<sup>1</sup></b>	24,16 d	5,53 b	2,29 b	30,92 a	21,08 a	6,33 a
<b>Primavera<sup>1</sup></b>	49,20 a	3,34 c	3,00 ab	13,76 d	20,31 a	6,27 a
<b>Seleta<sup>2</sup></b>	37,07 c	6,63 a	0,55 c	15,97 c	20,37 a	2,95 b

\* Médias seguidas de mesma letra, na mesma coluna, não diferem significativamente entre si no teste de Tukey a 5% de probabilidade; <sup>1</sup> cultivar de cultura de terras altas; <sup>2</sup> cultivar de cultura irrigada.

Os resultados do beneficiamento mostram que houve uma diferença significativa entre as quatro cultivares analisadas em função dos grãos inteiros e quebrados. A cultivar Primavera embora não tenha apresentado melhor renda do benefício (69,30 %) em relação a cultivar Caravera (72,65 %), ela apresentou melhor qualidade de beneficiamento expressa em 49,20 % de grãos inteiros.

Segundo a Portaria nº 269 de 17 de novembro de 1988, do Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (Brasil, 1988), para que o grão obtenha bom valor comercial ele deve apresentar uma renda de benefício de 68% constituída de no mínimo 40% de grãos inteiros e de no máximo 28% de grãos quebrados e quirera, 32% de casca, gérmen e farelo.

Neste sentido, as cultivares analisadas apresentaram menor teor de casca, gérmen e farelo recomendadas pela legislação. Embora, a análise variância tenha determinado os valores da casca como significativos quando comparados em relação à variáveis, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, os valores não diferiram entre si, quando comparados em relação aos níveis de casca entre as cultivares.

Entretanto, as cultivares Primavera e Caravera obtiveram quantidade de grãos inteiros recomendado pela legislação. As médias de grãos inteiros foram de 53,4 a 57,5%, valores maiores que os encontrados por Crusciol, et al. (2003) que ao analisar o comportamento durante o benefício de distintas variedade de arroz de terras altas sob diferentes lâminas de água e níveis de adubação mineral, obteve médias entre 41,8 a 49,0g 100g<sup>-1</sup> de grãos inteiros.

Deste modo, podemos afirmar que as cultivares Relâmpago e Seleta, do ponto de vista da qualidade do benefício, não são cultivares boas para o mercado consumidor, tendo em vista que o percentual de arroz beneficiado, é um dos mais importantes critérios da qualidade do arroz. Segundo Pereira (1996) a preferência é pelo produto com maior quantidade de grãos inteiros, pois grãos quebrados resultam em cozimento desuniforme, aspecto pouco atrativo ao consumidor e é economicamente indesejável.

### 3.2. COMPOSIÇÃO CENTESIMAL E VALOR CALÓRICO

A Tabela 4 apresenta os resultados da análise de variância (ANAVA) para cada um dos parâmetros da composição centesimal.

TABELA 4 – Resumo da análise de variância, significância e coeficiente de variação das variáveis umidade, extrato etéreo, proteína bruta, fibra bruta, cinza, fração glicídica e valor calórico em função das cultivares de arroz.

F.V	G.L	QUADRADOS MÉDIOS						
		Umidade	Extrato Etéreo	Proteína	Fibra Bruta	Cinza	Fração glicídica	Valor calórico
Fonte	3	1,35**	0,098*	2,80**	0,264*	0,041*	2,06**	10,60 <sup>ns</sup>

Resíduo	8	0,22	0,011	0,56	0,0026	0,0008	0,46	2,85
<b>CV (%)</b>		<b>3,66</b>	<b>31,42</b>	<b>8,90</b>	<b>21,01</b>	<b>10,66</b>	<b>0,87</b>	<b>0,485</b>

\* F significativo, a 1% de probabilidade; \*\* F significativo, a 5% de probabilidade; ns – F não significativo a 5% de probabilidade

O valor calórico não foi afetado significativamente ( $p < 0,05$ ) pelo beneficiamento. O valor médio obtido por este estudo (348,2 Kcal) foi aproximado com os estudos de Guimarães (2009) e Juliano (1993) que obtiveram 351,81Kcal e 362 Kcal, respectivamente.

Na Tabela 5 são expressos os valores médios da composição centesimal do arroz.

TABELA 5 – Valores médios\*, em  $g\ 100^{-1}$ , das variáveis umidade, extrato etéreo, proteína bruta, fibra bruta, cinza, fração glicídica em função das cultivares de arroz..

	Umidade ( $g\ 100^{-1}$ )	Extrato etéreo ( $g\ 100^{-1}$ )	Proteína bruta ( $g\ 100^{-1}$ )	Fibra bruta ( $g\ 100^{-1}$ )	Cinza ( $g\ 100^{-1}$ )	Fração glicídica ( $g\ 100^{-1}$ )
<b>Caravera</b> <sup>1</sup>	13,31 a	0,18 b	8,68 b	0,21 b	0,19 b	77,43 a
<b>Relâmpago</b> <sup>1</sup>	12,92 ab	0,65 a	7,71 b	0,05 c	0,21 b	78,46 a
<b>Primavera</b> <sup>1</sup>	13,27 a	0,45 a	8,86 b	0,06 c	0,39 a	76,97 a
<b>Seleta</b> <sup>2</sup>	11,87 b	0,26 b	10,87 a	0,77 a	0,47 a	75,76 a

\* Médias seguidas de mesma letra, na mesma coluna, não diferem significativamente entre si no teste de Tukey a 5% de probabilidade; <sup>1</sup> cultivar de cultura de terras altas; <sup>2</sup> cultivar de cultura irrigada.

Embora tenha havido diferenças significativas entre alguns macronutrientes das cultivares analisadas, podemos afirmar que no geral todas apresentaram níveis esperados destes nutrientes. Merecendo destaque a cultivar Seleta que apresentou bons níveis de proteína e fibra quando comparada às demais cultivares.

O teor de umidade dos grãos é um importante fator de análise de qualidade, pois está diretamente ligado à composição centesimal e à sanidade dos grãos. Segundo a Instrução Normativa nº 6, de 16 de fevereiro de 2009, do Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (Brasil, 2009), os teores máximos de umidade, que garantem a segurança alimentar, para arroz branco polido é de  $14\ g\ 100g^{-1}$ .

O resultado médio deste estudo a cerca dos níveis de umidade dos grãos ( $12,84\text{g } 100\text{g}^{-1}$ ) estão dentro do padrão recomendado pela legislação e de acordo com os estudos de Guimarães (2009), que ao analisar a composição de grãos de arroz encontrados no mercado submetidos ou não à irradiação ionizante, encontrou uma média de  $12,01\text{g } 100\text{g}^{-1}$  de umidade. Porém estão um pouco inferiores ao encontrado por Walter et al. (2008) –  $14\text{g } 100\text{g}^{-1}$ , e superiores ao encontrado por Zanão (2007) –  $10,73\text{g } 100\text{g}^{-1}$ . Esta variação pode ter acontecido, possivelmente, devido às características inerentes às próprias cultivares e às características de manejo da cultura, incluindo disponibilidade de água por irrigação ou não e quantidade de umidade na colheita, pois apesar das condições de armazenamento também interferirem na umidade dos grãos, mas nesse caso isso não se justifica porque os grãos de arroz de todas as cultivares estudadas foram armazenados nas mesmas condições.

A respeito dos teores de lipídios os grãos de arroz das cultivares analisadas obtiveram diferenças significativas entre si, sendo os grãos da cultivar Relâmpago os que apresentaram maiores níveis lipídicos ( $0,65\text{g } 100\text{g}^{-1}$ ) em relação aos demais. No geral, a média encontrada foi de  $0,38\text{g } 100\text{g}^{-1}$  aproximando dos resultados encontrados por Zanão (2007) e por Walter et al. (2008) que obtiveram  $0,36\text{g } 100\text{g}^{-1}$ . Os corpos lipídicos são comumente encontrados no farelo dos grãos, especificamente na camada de aleurona, por isso apresentam maior concentração no arroz integral que no arroz polido. Com o beneficiamento do grão, geralmente as concentrações de lipídeos decrescem até  $1\text{g } 100\text{g}^{-1}$  (Lumen & Chow, 1995).

No que se refere a proteína bruta, as amostras analisadas diferiram significativamente entre si, no teste de Tukey a 5% de probabilidade. A cultivar Seleta, cultivada em solo irrigado, foi a que apresentou o maior teor de proteína bruta ( $10,87\text{g } 100\text{g}^{-1}$ ) em relação às demais. Em média, os resultados encontrados foram de  $9,03\text{g } 100\text{g}^{-1}$  de teor protéico, valor próximo aos encontrados por Walter et al. (2008) que obtiveram  $8,94\text{g } 100\text{g}^{-1}$  e por Zanão (2007) que obteve uma média de aproximadamente  $8,12\text{g } 100\text{g}^{-1}$ , e superior ao encontrado por Guimarães (2009) que foi de  $7,32\text{g } 100\text{g}^{-1}$ . Geralmente, o arroz apresenta quantidade de proteínas relativamente baixa (em média  $7\text{g } 100\text{g}^{-1}$  podendo variar entre  $4,3\text{g } 100\text{g}^{-1}$  e  $18,2\text{g } 100\text{g}^{-1}$ ) quando comparado a outros grãos, entretanto, o conteúdo protéico do arroz é grandemente influenciado pelo ambiente. Neste sentido, as variações dos teores de proteína podem ser influenciados pelos níveis de radiação solar, manejo e disponibilidade de nitrogênio no solo, além do controle integrado de pragas e doenças (Gomez, 1979; Juliano 1993).

Os resultados deste estudo em relação à fibra bruta ou total mostraram que a cultivar Seleta é a que apresentou maior valor da fração fibra ( $0,77\text{g } 100\text{g}^{-1}$ ) das cultivares analisadas, sendo que entre elas houve diferença significativa ( $p \leq 0,05$ ). Em média os níveis de fibra bruta atingiram  $0,27\text{g } 100\text{g}^{-1}$  corroborando com Guimarães (2009) que encontrou  $0,3\text{g } 100\text{g}^{-1}$  de fibra bruta e aproximando ao de Castro et al. (1999), que obteve  $0,5\text{g } 100\text{g}^{-1}$  de fração fibra. Fibras alimentares são carboidratos, polissacarídeos, solúveis e insolúveis, que não são digeridos pelas enzimas no trato gastrintestinal, como celulose, hemiceluloses, amido resistente e pectinas. Sua concentração é maior nas camadas externas do grão (casca e farelo) e diminuem em direção ao centro amiláceo (endosperma), resultando em baixa concentração desses componentes nos grãos submetidos ao polimento (Walter et al., 2008). Assim, os teores de fibra encontrados estão dentro do esperado o que indica a eficiência do engenho de provas utilizado no beneficiamento que retirou de forma adequada o farelo nos grãos de arroz.

Em relação ao teor de cinza ou resíduo mineral, as cultivares analisadas diferiram significativamente entre si, embora todas tenham apresentado baixíssimo nível mineral. Dentre elas a cultivar Seleta se destacou com apenas  $0,47\text{g } 100\text{g}^{-1}$  de minerais. O teor médio de minerais encontrados neste estudo foi de  $0,31\text{g } 100\text{g}^{-1}$ , confirmando o estudo feito por Walter et al. (2008) que obtiveram aproximadamente  $0,3\text{g } 100\text{g}^{-1}$ , um valor próximo ao de Zanão (2007) que encontrou níveis médios de cinzas igual a  $0,38\text{g } 100\text{g}^{-1}$ . Porém valores inferiores ao de Maia et al. (1999) que alcançaram  $0,75\text{g } 100\text{g}^{-1}$ . Sabendo que o conteúdo mineral é grandemente influenciado pelas condições de cultivo, adubação, fertilização e manejo do solo, além do processamento (Juliano, 1985b), podemos afirmar que foram estes fatores os responsáveis pelas variações dos resíduos minerais encontrados nos referidos estudos.

A respeito da fração glicídica, embora tenha sido significativa quando comparada entre as variáveis estudadas, não diferiram significativamente dentre si no teste de Tukey à 5% de probabilidade em relação ao teor de carboidratos presentes nos grãos, em relação as cultivares estudadas. A média encontrada foi  $77,15\text{g } 100\text{g}^{-1}$  de carboidratos, corroborando com os estudos de Guimarães (2009) e Zanão (2007) que obtiveram médias de  $78\text{g } 100\text{g}^{-1}$  e  $80,75\text{g } 100\text{g}^{-1}$ , respectivamente. Entretanto, os valores encontrados neste estudo apresentaram-se inferiores aos encontrados por Walter et al. (2008)  $87,58\text{g } 100\text{g}^{-1}$  e por Maia et al. (1999)  $87,47\text{g } 100\text{g}^{-1}$ . Considerando que os carboidratos se concentram no endosperma amiláceo dos grãos de arroz e que o engenho de provas utilizado no beneficiamento retirou com eficiência o farelo dos mesmo, afirmamos que as variações entre os teores carboidráticos

encontrados nos estudos apresentados possam ser relacionados à regulação da máquina descascadora responsável pelo beneficiamento dos grãos, estando mais ou menos ajustadas, conseqüentemente retirando ou não parte do endosperma amiláceo.

Nesta perspectiva, sob o ponto de vista do valor nutricional das cultivares de arroz, podemos afirmar que a cultivar Seleta é a mais nutritiva e por isso recomendada para comercialização, embora não tenha apresentado boa qualidade de benefício.

### 3.3. TESTE DE COCÇÃO

O teste de cocção é utilizado para determinar a qualidade culinária do arroz. A Tabela 7 expressa os resultados da análise de variância (ANAVA) para cada um dos parâmetros do teste de cocção encontrados neste estudo.

TABELA 7 – Análise de variância, significância e coeficiente de variação das variáveis tempo de cocção, índice de absorção de água, coeficiente de expansão de volume e perda de sólidos solúveis em função das cultivares de arroz.

F.V	G.L	QUADRADOS MÉDIOS			
		Tempo de cocção	Índice de absorção de água	Coeficiente de expansão de volume	Perda de sólidos solúveis
Fonte	3	8,75*	0,097 <sup>ns</sup>	0,23*	5,85*
Resíduo	8	0,00	0,028	0,01	0,46
<b>CV (%)</b>		<b>0,00</b>	<b>5,01</b>	<b>3,32</b>	<b>9,78</b>

\* F significativo, a 1% de probabilidade; ns – F não significativo a 5% de probabilidade

O índice de absorção de água não foi afetado significativamente ( $p < 0,05$ ) pelo beneficiamento. O valor médio encontrado neste estudo (339,78%) foi um valor muito superior a estudos anteriores que obtiveram, respectivamente, médias de 207,96% (Pereira, 1996), 229,00% (Bassinello et al., 2004) e 267,71% (Guimarães, 2009)

Na Tabela 8 são apresentados os valores médios do teste de cocção das cultivares de arroz analisadas deste estudo.

TABELA 8 – Valores médios\* das variáveis tempo de cocção, índice de absorção de água, coeficiente de expansão de volume e perda de sólidos solúveis em função dos tipos de arroz.

	<b>Tempo de cocção (min)</b>	<b>Coef. de expansão de volume (%)</b>	<b>Perda de sólidos solúveis (%)</b>
<b>Caravera<sup>1</sup></b>	21,12 b	331,00 a	7,88 a
<b>Relâmpago<sup>1</sup></b>	19,05 d	324,33 a	8,00 a
<b>Primavera<sup>1</sup></b>	20,22 c	275,10 b	7,02 a
<b>Seleta<sup>2</sup></b>	23,18 a	284,33 b	4,98 b

\* Médias seguidas de mesma letra, na mesma coluna, não diferem significativamente entre si a 5% de probabilidade; <sup>1</sup> cultivar de cultura de terras altas; <sup>2</sup> cultivar de cultura irrigada.

Os resultados obtidos neste estudo diferiram significativamente entre si, e mostram que as cultivares Relâmpago e Caravera apresentaram menor tempo de cozimento e maior rendimento de panela expresso no coeficiente de expansão de volume, embora tenham apresentado perda de sólidos solúveis superior a cultivar Seleta.

A média do tempo de cozimento para as amostras de arroz branco polido foi de 20,89 min., corroborando com os dados encontrados por autores que analisaram a qualidade culinária de diferentes variedades de arroz. Bassinello et al. (2004) obtiveram média de 21,39 min., Guimarães (2009) encontrou 17,38 min. e Pereira (1996) 13,4 min.

O coeficiente de expansão de volume que determina o rendimento de panela apresentou média de 303,69% correspondente à faixa encontrada de 365,65% a 263,3%, por Guimarães (2009) e Pereira (1996), respectivamente.

A perda de sólidos solúveis apresentou diferença significativa da cultivar Seleta para as demais cultivares. A média encontrada neste estudo foi de 6,97%, valor inferior ao encontrado por Guimarães (2009) que foi de 10,35%.

### 3.4. TESTE DE COCÇÃO DE PANELA

Os resultados da análise de variância (ANAVA) e os valores do teste de cocção de panela, em relação ao tempo de cocção e volume de água necessário ao cozimento estão expressos nas Tabelas 9 e 10.

TABELA 9 – Análise de variância, significância e coeficiente de variação das variáveis tempo de cocção e volume de água em função das cultivares de arroz.

F.V	G.L	QUADRADOS MÉDIOS	
		Tempo de cocção	Volume de água
Fonte	3	2,75*	0,00 <sup>ns</sup>
Resíduo	8	0,00	0,00
<b>CV (%)</b>		<b>0,00</b>	<b>0,00</b>

\* F significativo, a 1% de probabilidade; ns – F não significativo a 5% de probabilidade

TABELA 10 – Valores médios\* das variáveis tempo de cocção e volume de água em função das cultivares de arroz.

	Tempo de cocção (min.)	Volume de água (mL)
<b>Caravera<sup>1</sup></b>	34,10 a	1000 a
<b>Relâmpago<sup>1</sup></b>	32,06 c	1000 a
<b>Primavera<sup>1</sup></b>	32,20 c	1000 a
<b>Seleta<sup>2</sup></b>	33,48 b	1000 a

\* Médias seguidas de mesma letra, na mesma coluna, não diferem significativamente entre si a 5% de probabilidade; <sup>1</sup> cultivar de cultura de terras altas; <sup>2</sup> cultivar de cultura irrigada.

Segundo os dados da análise de variância o volume de água necessário ao cozimento não diferiram significativamente entre si. Os resultados encontrados no teste de cocção de panela, simulando o cozimento caseiro mostraram pequena variação apenas entre o tempo de cocção das amostras que não foi próximo ao teste de cocção anterior e não mantiveram a mesma ordem entre as cultivares, talvez devido à quantidade de grãos utilizada. Dentre as variedades analisadas as cultivares Relâmpago e Primavera apresentaram menor tempo de cocção. A média do tempo de cocção foi 32,96 min., concordando com Bassinello et al. (2004) que obteve um tempo de cocção de 32,57 min.

A nosso ver, a metodologia utilizada apresentou alguns problemas em função da determinação do grau de cozimento dos grãos. O método de compressão dos grãos entre duas lâminas até que eles estivessem totalmente transparentes resultou em grãos unidos/coesos, pegajosos e desuniformes, acentuando estas características após o resfriamento; a falta de controle preciso sobre a temperatura das chamas do fogão também se caracteriza como um problema.

### 3.5. ANÁLISE SENSORIAL

A análise sensorial é comumente utilizada para terminar a aceitação dos produtos pelo consumidor. A Tabela 11 apresenta os valores da análise de variância (ANAVA) dos parâmetros analisados na análise sensorial.

TABELA 11 – Análise de variância, significância e coeficiente de variação das variáveis aparência, aroma, sabor, textura e aspecto global em função dos tipos de arroz.

F.V	G.L	QUADRADOS MÉDIOS				
		Aparência	Aroma	Sabor	Textura	Aspecto Global
Fonte	3	5,64*	4,25*	4,64*	5,50*	3,89*
Resíduo	8	16,11	6,45	28,39	12,87	21,40
<b>CV (%)</b>		<b>20,63</b>	<b>17,63</b>	<b>24,03</b>	<b>22,32</b>	<b>19,16</b>

\* F significativo, a 1% de probabilidade;

As variáveis aparência, aroma, sabor, textura e aspecto global apresentaram variações significativas ( $p < 0,01$ ) entre si decorrentes do processo de beneficiamento dos grãos

Na Tabela 12 e Figura 8 são expressos os valores médios das notas atribuídas pelos consumidores aos atributos sensoriais.

TABELA 12 – Valores médios\* das notas atribuídas às variáveis aparência, aroma, sabor, textura e aspecto global em função das cultivares de arroz.

	Aparência	Aroma	Sabor	Textura	Aspecto Global
<b>Caravera</b> <sup>1</sup>	6,26 bc	6,46 b	5,52 b	6,28 b	6,14 b
<b>Relâmpago</b> <sup>1</sup>	6,02 c	6,62 b	6,08 b	6,18 b	6,36 b
<b>Primavera</b> <sup>1</sup>	6,76 ab	6,90 ab	6,90 a	6,66 ab	7,08 a
<b>Seleta</b> <sup>2</sup>	7,30 a	7,28 a	7,16 a	7,30 a	7,56 a

\* Médias seguidas de mesma letra, na mesma coluna, não diferem significativamente entre si a 5% de probabilidade; <sup>1</sup> cultivar de cultura de terras altas; <sup>2</sup> cultivar de cultura irrigada.

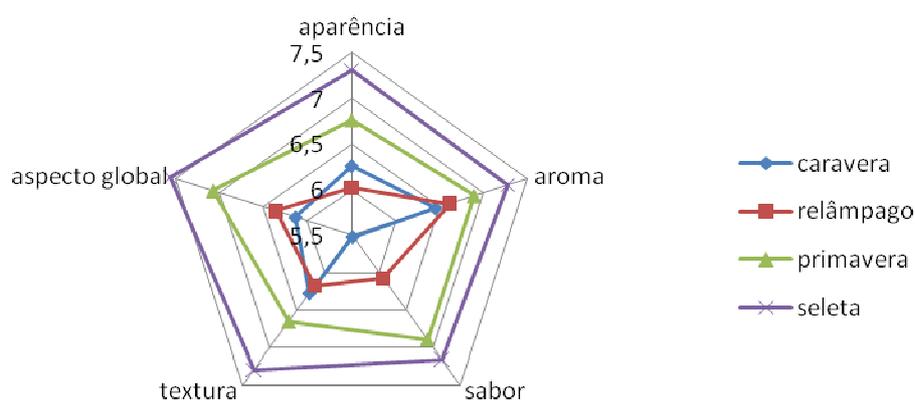


FIGURA 8 – Mapa de preferência dos consumidores em relação às notas dadas aos atributos sensoriais em função das cultivares de arroz

Com relação a análise sensorial do arroz cozido, as cultivares Seleta e Primavera obtiveram maior nota. As notas médias para aparência (6,58), aroma (6,81), sabor (6,34) e textura (6,6) obtidas por este estudo são superiores aos encontrados por Zanão (2007) que obteve 6,20; 6,08; 6,08 e 5,6 respectivamente.

#### 4. CONCLUSÕES

Segundo os resultados obtidos por essa pesquisa podemos afirmar que:

- ✓ A cultivar Primavera obteve melhor rendimento de grãos inteiros, embora nenhuma das cultivares analisadas tenham apresentado renda do benefício segundo a recomendada pela legislação;
- ✓ A cultivar Seleta apresentou melhores níveis de proteína, fibra e cinzas - embora todas as cultivares analisadas tenham obtido níveis esperados de macronutrientes;
- ✓ As cultivares Caravera e Relâmpago apresentaram melhor rendimento de panela e menor tempo de cocção;
- ✓ As cultivares Primavera e Seleta foram as preferidas pelos consumidores na análise sensorial;
- ✓ Embora todas as cultivares tenham apresentado resultados esperados de composição centesimal, cocção e análise sensorial, no geral, a cultivar Seleta foi a melhor do ponto de vista nutricional e sensorial.

#### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

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. Embrapa Arroz e Feijão. Comunicado Técnico, 84.

BRASIL. Instrução Normativa nº6, de 16 de fevereiro de 2009. Norma para classificação, identidade e qualidade de arroz – Regulamento técnico do arroz. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Brasília, DF. **Diário Oficial da União**, 19 de fevereiro de 2009.

BRASIL. Portaria nº 269 de 17 de novembro de 1988. Regulamento técnico para classificação de arroz. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento, Brasília, DF. **Diário Oficial da União**, 21 de novembro de 1988.

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. (Embrapa Arroz e Feijão. Circular Técnica, 34).

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

CHAVES, J. B. P.; SPROESSER, R. L. **Práticas de laboratório de análise sensorial de alimentos e bebidas**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1993. 81p. (Apostila, 325).

CRUSCIOL, C.A.C.; MACHADO, J.R.; ARF, O.; RODRIGUES, R.A.F. Rendimento de benefício e de grãos inteiros em função do espaçamento e da densidade de semeadura do arroz de sequeiro. **Scientia Agricola**, v.56, p.47-52, 1999

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

FERREIRA, C. M.; PINHEIRO, B. D. S.; SOUSA, I. S. F. D.; MORAIS, O. P. D. **Qualidade de arroz no Brasil: Evolução e padronização**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2005a.

FUNDAÇÃO CARGILL. **Culturas de Tuberosas Amiláceas Latino-Americanas**. São Paulo/SP, Vol.1- Propriedades gerais do amido, 2002.

GOMEZ, K.A. Effect of environment on protein and amylose content of Rice. In: WORKSHOP ON CHEMICAL ASPECTS OF RICE GRAIN QUALITY, 1979, Los Baños, Philippines. **Proceedings**. Los Baños: IRRI, 1979. pp-91-111.

GUIMARÃES, I.C.O. **Efeito da irradiação gama (co-60) na qualidade e segurança do arroz**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Lavras. Lavras/MG. 2009.

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

JULIANO, B.O. Criteria and tests for rice grain qualities. In: JULIANO, B.O **Rice: chemistry and technology**, 2 ed. St. Paul: American Association of Cereal Chemists, 1985a. pp – 443-524.

JULIANO, B.O. Polysaccharides, proteins, and lipids of rice. In: JULIANO, B.O **Rice: chemistry and technology**, 2 ed. St. Paul: American Association of Cereal Chemists, 1985b. pp – 443-524.

JULIANO, B.O. **Rice in human nutrition**. Rome: FAO, 1993.p.35-59. (FAO Food and Nutrition Series. No. 26)

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

LUMEN, B.O.; CHOW, H. Nutritional quality of rice endosperm. In: LUH, B. S. (Ed.). **Rice utilization**. 2.ed. New York: Van Nostrand Reinhold, 1995. V.2, cap.15, p.363-395.

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.

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

PEREIRA, José Almeida. **Cultura do arroz no Brasil**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2002. 226p

SAEG **Sistema para Análises Estatísticas**, Versão 9.1: Fundação Arthur Bernardes - UFV - Viçosa, 2007.

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS. **Tabela brasileira de composição de alimentos**, 2006.

VAUGHAN, C.E., GREGG, B.R., DELOUCHE, J.C. **Beneficiamento e Manuseio de Sementes**. Ministério da Agricultura/AGIPLAN. Brasília, 1976.

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.

Walter. M. Marchezan, E., Avila, L.A.. Arroz: composição e características nutricionais. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.38, n.4, p.1184-1192, jul, 2008

WEBB, B.D. Rice quality and grades. In: LUH, B.S. **Rice: production and utilization**. Westport: AVI, 1980. p.543-565.

ZANÃO, C.F.P. **Características físico-químicas e sensoriais do arroz (*Oryza sativa L.*) irradiado e o efeito no desenvolvimento de *Sitophilus oryzae L.*** Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos). Universidade de São Paulo. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Piracicaba/Sp, 2007.



## **CAPÍTULO 3**

### **Efeito da irradiação gama $\text{Co}^{60}$ na desinfestação de grãos de arroz.**

#### **RESUMO**

O uso da radiação ionizante é uma antiga prática usada na conservação de alimentos que, atualmente, vem ganhando visibilidade no Brasil. Sua eficiência da eliminação de fungos

e insetos vem sendo comprovada pelos pesquisadores. Entretanto, assim como as técnicas de processamento, a irradiação pode causar algumas alterações químicas nos alimentos. Considerando o problema da infestação e da contaminação fúngica de grãos de arroz e as Características da irradiação ionizante, o presente trabalho objetivou avaliar o efeito da irradiação gama ( $\text{Co}^{60}$ ) na desinfestação e descontaminação dos grãos, bem como na formação de radicais livres e nas características físicas, reológicas e microestruturais de quatro cultivares de arroz branco polido submetido à irradiação. Os resultados demonstraram que o emprego da irradiação gama ( $\text{Co}^{60}$ ), com doses de 6,5kGy e 7,5kGy, foi eficiente na desinfestação dos grãos eliminando por completo gorgulhos e traças, entretanto, apenas a dose 7,5 kGy foi eficiente no combate dos fungos do tipo *Aspergillus sp* e *Penicillium sp*. A irradiação resultou na formação de radicais livres no 6º e 7º dia após a irradiação, desaparecendo no 8º dia. Além disso, a irradiação alterou significativamente a viscosidade diminuindo a capacidade de pasta do arroz, entretanto, a microestrutura dos grânulos de amido não foi afetada. Nesta perspectiva, concluímos que a irradiação gama é eficiente na conservação dos grãos, além de contribuir para melhorar algumas de suas propriedades tecnológicas, como no caso da diminuição da capacidade de pasta proporcionando grãos mais soltos e macios após o cozimento.

## 1. INTRODUÇÃO

O arroz é um dos cereais mais consumidos e produzidos no mundo. A espécie produzida atualmente é a *Oryza sativa L.*, sendo o Brasil o maior produtor desta espécie na América Latina. Tradicionalmente faz parte da alimentação de boa parte da população brasileira, perdendo apenas para o trigo e o milho, por isso estudar este grão é tão importante (Gomes et al., 2004)

Estima-se que aproximadamente 20% da lavoura de arroz se percam ao longo da colheita, transporte e armazenamento. As perdas ao longo do armazenamento caracterizam-se como perdas físicas, químicas e biológicas, sendo a última referente à contaminação por insetos-pragas de grãos armazenados e por fungos potencialmente produtores de toxina, capazes de tornar um lote de grãos totalmente sem valor (Hussein & Brasel, 2001).

Os insetos, quando infestam o arroz, trazem prejuízos maiores às características sensoriais e ao valor econômico do grão, podendo também ser veículo para contaminação fúngica. Os fungos contaminantes são responsáveis pela produção de micotoxinas, substâncias termotolerantes oriundas do metabolismo secundário dos fungos produtores de toxina, que podem permanecer após o processamento dos alimentos e causar diversos efeitos tóxicos agudos e crônicos que ocasionam sérios danos à saúde podendo levar à morte por intoxicação ou por carcinogenicidade em casos mais extremos. Além dos prejuízos para saúde humana a presença de insetos e fungos acarreta um prejuízo econômico muito grande, já que sua presença implica na não comercialização do produto (Zanão, 2007).

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

A radiação ionizante pode ser aplicada, pelo processo de irradiação, em diversos alimentos com diferentes objetivos, tais como: esterilização de materiais, retardo do amadurecimento de frutas, descontaminação de especiarias, conservação de carnes, de tubérculos, de grãos e controle de insetos. As fontes de radiação são limitadas e controladas para evitar a possibilidade física de indução à radioatividade nos alimentos (Hackwood, 1991).

A radiação ionizante penetra no alimento agindo diretamente sobre os componentes essenciais da célula ou, indiretamente, proporcionando a formação de produtos radiolíticos, particularmente os radicais livres formados a partir da água. O DNA cromossômico é o alvo principal do processo de irradiação, embora os efeitos sobre a membrana citoplasmática também apresentem um papel adicional importante no dano celular, especialmente de insetos e microorganismos (Worcman-Barninka & Langraf, 2003, citado por Souza, 2006).

Nesta perspectiva, se faz necessário a busca por novos métodos seguros de conservação de alimentos com o intuito de eliminar os insetos e fungos do arroz, diminuindo

assim os prejuízos econômicos, bem como, para a saúde humana. Entretanto, a escassez de informações sobre esses métodos e as análises necessárias para comprovar a eficiência destes, dificultam o trabalho e sua aplicabilidade. Assim, possibilitar grãos de arroz seguros do ponto de vista alimentar, evitando perdas na qualidade física, química e nutricional, bem com, no armazenamento e na comercialização é um importante desafio para as pesquisas. Neste sentido, o presente estudo objetivou:

- ✓ Avaliar o efeito de diferentes doses de irradiação gama ( $\text{Co}^{60}$ ) no controle de insetos-pragas de quatro cultivares de arroz durante seis meses de armazenamento;
- ✓ Avaliar o efeito de diferentes doses de irradiação gama ( $\text{Co}^{60}$ ) no controle de fungos toxigênicos (*Penicillium spp* e *Aspergillus spp*), imediatamente após irradiação e durante seis meses de armazenamento;
- ✓ Avaliar os possíveis benefícios da irradiação gama ( $\text{Co}^{60}$ ) para a indústria de alimentos na conservação e proteção dos grãos de arroz, tanto para aumentar o tempo de prateleira quanto para garantir a segurança alimentar, além de garantir o valor econômico do produto;
- ✓ Monitorar a presença de radicais livres nas amostras após irradiação gama ( $\text{Co}^{60}$ ) por até seis meses, determinando assim, se há necessidade de período de carência após a irradiação;
- ✓ Avaliar possíveis alterações na estrutura dos grânulos de amido do arroz após a irradiação gama ( $\text{Co}^{60}$ );
- ✓ Avaliar as alterações na viscosidade da pasta das cultivares de arroz submetidas a diferentes doses de irradiação gama ( $\text{Co}^{60}$ ).

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. Local do Experimento

O experimento foi conduzido no Centro de Desenvolvimento de Tecnologia Nuclear (CDTN) do Centro Nacional de Tecnologia Nuclear (CNEN) e no Laboratório de Ressonância Magnética do Departamento de Física, ambos da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) no Laboratório de Grãos, Raízes e Tubérculos, no Laboratório de Produtos

Vegetais, na Planta Piloto de Processamento Mínimo de Frutas e Hortaliças e no Laboratório de Operações Unitárias, do Departamento de Ciência dos Alimentos da Universidade Federal de Lavras (UFLA); no Laboratório de Patologia de Sementes, do Departamento de Agricultura e no Departamento de Engenharia Florestal, também da UFLA; no Laboratório de Reologia de Cereais do Centro de Tecnologia Agrícola e Alimentar da EMBRAPA Agroindústria de Alimentos e; no Departamento de Estatística da Universidade Federal de Viçosa (UFV).

## 2.2. Amostras

Foram analisadas amostras de quatro cultivares de arroz tipo longo fino, fornecidas pela EPAMIG/CTSM de Lavras/MG, sendo três variedades cultivadas em terras altas, identificadas como BRSMG – Caravera, BRSMG – Relâmpago, BRSMG – Primavera, cultivadas em Felixlândia/MG e uma variedade irrigada, BRSMG Seleta, cultivada em Leopoldina/MG.

### 2.2.1. Beneficiamento das amostras

As amostras foram beneficiadas em engenho de provas (Suzuki, modelo MT96, Brasil) na Usina de Beneficiamento de Sementes (UBS), do Departamento de Agricultura da UFLA. As amostras foram submetidas ao descascamento e brunição. Devido à escassez de amostras e levando em consideração que todos os grãos obtidos no beneficiamento são comercializados, os grãos inteiros e os grãos quebrados não foram separados.

### 2.2.2. Teste de sanidade

Após beneficiamento as amostras foram submetidas a teste de sanidade segundo metodologia do “Blotter Test” (Neergard, 1977) sem assepsia prévia para não eliminar possíveis fungos advindos do campo, o que interferiria nos resultados, a fim de verificar a

presença de fungos. Apenas as amostras contaminadas por fungos foram utilizadas no experimento.

### 2.3. Processo de Irradiação

#### 2.3.1. Preparação das amostras

As amostras de arroz branco polido, foram homogeneizadas em pacotes de 5Kg e, logo em seguida, subdivididas em 45 parcelas de 10g referentes à 3 doses de irradiação (0 ky, 6,5 kGy e 7,5 kGy) e 15 tempos de análises (2, 15, 28, 41, 54, 67, 80, 93, 106, 119, 132, 145, 158, 171, 184 dias). As amostras foram embaladas em sacos de polipropileno de 15 X 21 cm, e seladas em seladora (modelo AP 450 TEC MAC/Brasil). As doses de irradiação foram definidas com base no trabalho de Guimarães (2009).

#### 2.3.2. Processo de irradiação e acondicionamento das amostras

As embalagens das amostras de arroz foram colocadas em duas caixas de papelão, devidamente identificadas segundo a dose de irradiação pretendida (6,5 kGy e 7,5 kGy). As amostras foram irradiadas usando irradiador Gammacell panorâmico GB-127, IR-214 (MDS Nordion, Canadá) com fonte de radiação de Cobalto 60 ( $\text{Co}^{60}$ ) armazenada a seco, localizado no Laboratório de Irradiação Gama (LIG) do Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN/UFMG). As amostras foram dispostas em base giratória localizada ao redor da fonte de  $\text{Co}^{60}$ , com distância à fonte de 14 cm, proporcionando a irradiação simultânea de todas as amostras. As amostras submetidas a dose de 6,5 kGy tiveram tempo de exposição de 62 minutos e as submetidas à 7,5 kGy ficaram expostas à fonte de radiação gama ( $\text{Co}^{60}$ ) por 72 minutos. Para a otimização do processo, utilizou-se a taxa de dose de 6,0 kGy/hora. O tempo de exposição para se obter cada uma das doses absorvidas desejadas foi calculado automaticamente pelo próprio equipamento responsável pela irradiação, conhecido como irradiador, e por todo o controle do processo, sendo apenas acionado pelo técnico.

Após a irradiação as amostras (0 kGy, 6,5 kGy e 7,5 kGy) foram armazenadas, nas mesmas caixas utilizadas durante a irradiação, em câmara climatizada controlada, do Departamento de Engenharia Florestal da UFLA, à temperatura de 22°C e 65% UR, durante

seis meses. As embalagens de 10g eram retiradas uma a uma de 13 em 13 dias para as análises.

#### 2.4. Análises de infestação por insetos-pragas de grãos armazenados

##### 2.4.1. Longevidade e reprodução de gorgulhos de arroz (*Sitophilus oryzae*)

A determinação de gorgulhos (*Sitophilus oryzae*) foi realizada em capela de fluxo laminar devidamente sanitizada, através da contagem de insetos vivos presentes nas amostras de 10g de arroz, naturalmente infestadas, de cada tratamento imediatamente após a irradiação e a cada 13 dias durante o período de seis meses de armazenamento, segundo o método descrito por Zanão, 2007.

##### 2.4.2. Longevidade e reprodução de traças dos cereais (*Sitotroga cerealella*)

A determinação de traças dos cereais (*Sitotroga cerealella*) foi realizada em capela de fluxo laminar devidamente sanitizada, através da contagem de insetos vivos presentes nas amostras de 10g de arroz, naturalmente infestadas, de cada tratamento imediatamente após a irradiação e a cada 13 dias durante o período de seis meses de armazenamento.

#### 2.5. Análises microbiológicas

##### 2.5.1. Quantificação de *Aspergillus spp* e *Penicillium spp*

As avaliações microbiológicas para isolamento de *Aspergillus spp* e *Penicillium spp* nas amostras de arroz foram conduzidas no Laboratório de Patologia de Sementes do Departamento de Agricultura da UFLA. A contagem foi feita a cada 13 dias após a irradiação, por meio da metodologia do Blotter Test (Neergaard, 1977), utilizando 100 grãos de arroz polido por amostra, sem desinfecção, em quatro repetições com 25 grãos cada.

O plaqueamento de 25 grãos de arroz polido de cada amostra foi realizado em placas de Petri de 15 cm de diâmetro, mergulhadas em formol a 10% durante 72h, contendo três papéis de filtro previamente esterilizados, umedecidos em água destilada esterilizada em autoclave e acrescidos com meio nutriente também esterilizado de 5 mL de ágar água 0,5%. Os grãos foram plaqueados em capela de fluxo laminar, com bico de Bunsen aceso, com o auxílio de pinças devidamente esterilizadas. Após o plaqueamento, as amostras foram conduzidas para a câmara de incubação com temperatura controlada a 25°C, onde permaneceram por cinco dias. Após o período de incubação, os grãos foram analisados com o auxílio de um microscópio estereoscópico, para identificação e contagem dos fungos. Os resultados foram expressos em percentagem de grãos contaminados (em 25 grãos) por placa.

## 2.6. Análises Físicas

### 2.6.1. Avaliação de Cor

A análise da cor instrumental foi realizada no Laboratório de Grãos, Raízes e Tubérculos do Departamento de Ciência dos Alimentos da UFLA, a cada 13 dias contados a partir da irradiação. A análise instrumental da cor foi realizada por meio da média de cinco determinações, sendo uma realizada no centro e as outras quatro no perímetro da circunferência da placa de Petri contendo cada amostra. Para tanto, utilizando-se colorímetro Minolta CR-3000 (Minolta Chromameter/Japão) com sistema “CIE Lab” com parâmetros L a\* b\* Color Spase, por reflectância (Minolta, 1997), trabalhando com D65 (luz do dia).

No sistema “CIE Lab” o parâmetro L indica a luminosidade, sua determinação varia de 0 (preto) a 100 (branco), ou seja, quanto mais próximo de 0 “mais escuro” e quanto mais próximo de 100 “mais claro”. Os parâmetros a\* e b\* são as coordenadas de cromaticidade, em que a\* varia do verde (- 60,00) ao vermelho (+ 60,00) e b\* varia do azul (- 60,00) ao amarelo (+60,00). Os parâmetros médios de cor, medidos em relação à placa de cor branca (padrão branco), usada na calibração do aparelho foram L= 90,23; a\* = 0,3252; b\* = 0,3426.

O cálculo para expressar a diferença da cor total foi obtido por meio da Equação 5:

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

em que:

$\Delta E^*$  = valor para diferença de cor;

$\Delta L^*$  = diferença da leitura em L do padrão branco e a leitura L da amostra;

$\Delta a^*$  = diferença da leitura em  $a^*$  do padrão branco e a leitura  $a^*$  da amostra;

$\Delta b^*$  = diferença da leitura em  $b^*$  do padrão branco e a leitura  $b^*$  da amostra;

## 2.6.2. Determinação dos níveis de radicais livres (oxidação)

### 2.6.2.1. Ressonância Paramagnética Eletrônica (RPE)

A quantificação dos níveis de radicais livres foi realizada no Departamento de Física da UFMG utilizando um espectro de Ressonância Paramagnética Eletrônica/RPE. As amostras foram moídas e analisadas imediatamente após a irradiação, uma vez por dia, sucessivamente até que não apresentasse radicais livres. Para tanto, as amostras foram introduzidas em tubos de quartzo de 0,2 x 10,0 mm, à temperatura ambiente em um espectrômetro equipado com uma cavidade cilíndrica (Bruker) que opera na faixa de frequências de microondas de 9 a 11GHz (Varian) e modulação do campo magnético em 100kHz.

## 2.7. Análises das Propriedades Reológicas

### 2.7.1. Extração do amido

Para a extração do amido de arroz, 300g de amostra de arroz branco polido de cada cultivar e de cada dose de irradiação gama  $Co^{60}$  (0 kGy, 6,5 kGy, 7,5 kGy) foram colocadas em béquer de vidro (1000 ml) juntamente com solução de 1,22g de meta-bissulfito de sódio anidro ( $NaHSO_2$ ) e 750 mL de água destilada. Os béqueres foram colocados em banho-maria

a 50°C ( $\pm 2^\circ\text{C}$ ) por 24h, com agitação leve e intermitente. Após este tempo as amostras foram drenadas e trituradas em liquidificador na velocidade mais alta por 5 minutos com 900 mL de água destilada. O fluido foi peneirado em peneiras de 80 mesh, 200 mesh e 400 mesh. O resíduo foi deixado em repouso por 1 hora e depois colocado em Centrífuga DP 2065 (Presvac/Brasil) com capacidade para 6 tubos, a 3000 rpm durante 10 minutos. O amido foi seco em estufa a 45°C por 24h, segundo metodologia descrita por Whistler (1964).

### 2.7.2. Caracterização da viscosidade da pasta

As amostras de amido de cada cultivar de arroz submetidas a diferentes doses de irradiação (0 kGy, 6,5 kGy e 7,5 kGy) foram avaliadas no Laboratório de Reologia de Cereais do Centro de Tecnologia Agrícola e Alimentar da EMBRAPA Agroindústria de Alimentos, em aparelho Rapid Visco Analyser, série 4 (RVA; Newport Scientific Pty Ltd, Sidney, Austrália), na concentração de 3,0g 25ml<sup>-1</sup> de água, para determinação do perfil de viscosidade aparente da pasta dos grãos de arroz. Os resultados foram analisados pelo programa Std 1 (Standard Analysis 1) do software Thermocline for Windows versão 3.06, para proceder a avaliação. Os parâmetros utilizados na programação do RVA estão expressos da Tabela 12.

TABELA 12 - 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

## 2.8. Análises das Propriedades Microestruturais

### 2.8.1. Microscopia ótica sob luz polarizada

Para a visualização da microestrutura dos grânulos de amido do arroz as lâminas e lamínulas foram mergulhadas em detergente comum com água destilada com por 1 hora (proporção 1:6), enxaguadas em água destilada duas vezes para retirar os resíduos, lavadas em seguida em ácido sulfúrico, enxaguadas novamente em água destilada por três vezes e mantidas em frascos com álcool etílico comercial até o momento do uso conforme descrito por Bryce & Poelma (1995). As lâminas e lamínulas foram colocadas sob folhas de papel toalha, sem esfregar, até que ficassem completamente secas.

Para a montagem das lâminas preparou-se uma dispersão de amido de arroz e solução glicerizada (50%) na proporção 1:3. Uma gota da dispersão foi colocada no centro da lâmina e coberta com lamínula, fixada com esmalte incolor. A adição do glicerol teve a finalidade de diminuir o movimento browniano da amostra. As lâminas foram visualizadas no Laboratório de Operações Unitárias do Departamento de Ciência dos Alimentos da UFPA em microscópio óptico Olympus BX 51-p com filtro polarizador Olympus U-POT e sistema por fotomicrografias Olympus C5060- ADU (Olympus America Inc., New York, EUA), com aumento de 1000 vezes.

## 2.9. Delineamento experimental

O delineamento estatístico referente às variáveis de determinação da qualidade do arroz foi do tipo inteiramente casualizado (DIC) com fatorial 3x4x4, três doses de irradiação gama  $Co^{60}$  (0 kGy, 6,5 kGy, 7,5 kGy), quatro cultivares de arroz (Caravera, Relâmpago, Primavera e Seleta) e quatro repetições. As variáveis a serem avaliadas foram submetidas à análise da variância (ANAVA) e Teste de Tukey, adotando 5% de probabilidade ( $p < 0,05$ ). Quando significativas as amostras foram submetidas à análise de regressão. A análise dos dados foi gerada pelo Software SAEG 9.1 (2007) da Universidade Federal de Viçosa.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1. Análises de infestação por insetos-pragas de grãos armazenados

A infestação de grãos, principalmente durante o armazenamento, por insetos-pragas tem sido a principal responsável por danos e perdas da qualidade dos grãos. Grãos infestados, além de serem danificados fisicamente também sofrem alterações nutricionais e sensoriais. Os principais insetos-pragas de grãos armazenados encontrados no arroz são os gorgulhos de arroz (*Sitophilus oryzae*), encontrados no arroz em casca e no arroz polido, e as traças dos cereais (*Sitotroga cerealella*), encontradas em maiores quantidades no arroz em casca.

##### 3.1.1. Longevidade e reprodução de gorgulhos de arroz

A longevidade e reprodução de gorgulhos no arroz polido foram determinadas e expressas pelo número de insetos vivos encontrados nas embalagens das amostras de arroz em função das doses de irradiação, conforme Tabelas 14 e 15

TABELA 14 - Valores médios e desvios padrão de Gorgulho em função das cultivares de arroz, tempo e doses de irradiação

Tempo (dias)	Caravera			Relampago			Primavera			Seleta		
	0 KGy	6,5KGy	7,5KGy									
2	0,75 ± 1,50	0	0	1,25 ± 2,50	0	0	0,75 ± 1,50	0	0	1,25 ± 2,50	0	0
15	0,75 ± 1,50	0	0	1,25 ± 2,50	0	0	0,75 ± 1,50	0	0	1,50 ± 3,00	0	0
28	0	0	0	0	0	0	0,75 ± 1,50	0	0	1,50 ± 3,00	0	0
41	0	0	0	0	0	0	0,25 ± 0,50	0	0	1,25 ± 2,50	0	0
54	0	0	0	0	0	0	0,50 ± 1,00	0	0	1,75 ± 3,50	0	0
67	0,25 ± 0,50	0	0	0	0	0	1,00 ± 2,00	0	0	2,00 ± 4,00	0	0
80	0,25 ± 0,50	0	0	0,75 ± 1,50	0	0	0	0	0	0	0	0
93	0,25 ± 0,50	0	0	0,50 ± 1,00	0	0	0,50 ± 1,00	0	0	0,75 ± 1,50	0	0
106	0,50 ± 1,00	0	0	0,50 ± 1,00	0	0	0,25 ± 0,50	0	0	1,25 ± 2,50	0	0
119	0,25 ± 0,50	0	0	0,25 ± 0,50	0	0	0,75 ± 1,50	0	0	2,25 ± 4,50	0	0
132	0,25 ± 0,50	0	0	0,25 ± 0,50	0	0	0,75 ± 1,50	0	0	0,75 ± 1,50	0	0
145	0,75 ± 1,50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
158	0,75 ± 1,50	0	0	0,75 ± 1,50	0	0	0,75 ± 1,50	0	0	1,25 ± 2,50	0	0
171	0,50 ± 1,00	0	0	0,50 ± 1,00	0	0	0,25 ± 0,50	0	0	1,75 ± 3,50	0	0
184	0,75 ± 1,50	0	0	1,00 ± 2,00	0	0	1,00 ± 2,00	0	0	1,50 ± 3,00	0	0

TABELA 15 – Equações de regressão de Gorgulhos em função das cultivares de arroz, tempo e doses de irradiação

Variedade	Dose de irradiação	Equações ajustadas	R2
Caravera	0 KGy	$\hat{y} = 0,40$	—
Caravera	6,5 KGy	$\hat{y} = 0,00$	—
Caravera	7,5 KGy	$\hat{y} = 0,00$	—
Relâmpago	0 KGy	$\hat{y} = 0,46$	—
Relâmpago	6,5 KGy	$\hat{y} = 0,00$	—
Relâmpago	7,5 KGy	$\hat{y} = 0,00$	—
Primavera	0 KGy	$\hat{y} = 0,55$	—
Primavera	6,5 KGy	$\hat{y} = 0,00$	—
Primavera	7,5 KGy	$\hat{y} = 0,00$	—
Seleta	0 KGy	$\hat{y} = 1,25$	—
Seleta	6,5 KGy	$\hat{y} = 0,00$	—
Seleta	7,5 KGy	$\hat{y} = 0,00$	—

A cultivar Seleta, não submetida à irradiação (0 kGy), apresentou maior número de infestação por gorgulhos atingindo níveis médios de 1,25 insetos vivos em 10g de arroz, com nível máximo de 2,25 insetos vivos (desvio-padrão =  $\pm 4,50$ ) aos 119 dias de análise. As cultivares Primavera, Relâmpago e Caravera tiveram níveis de infestação por gorgulho

Os resultados encontrados mostram ainda que as doses de irradiação empregadas foram suficientes para eliminar a infestação por gorgulhos. Conforme apresentado por Zanão (2007) os ovos e lavras de gorgulhos são resistentes até a dose de 1,00 kGy, já os insetos vivos resistem à dose de 1,50 a 2,00 kGy

### 3.1.2. Longevidade e reprodução de traças dos cereais

A longevidade e reprodução de traça dos cereais no arroz foram determinadas e expressas pelo número de insetos vivos encontrados nas embalagens das amostras de arroz polido em função das doses de irradiação, conforme Tabelas 16 e 17.

TABELA 16 - Valores médios e desvios padrão de Traças dos Cereais em função das cultivares de arroz, tempo e doses de irradiação.

Tempo (dias)	Caravera			Relâmpago			Primavera			Seleta		
	0 KGy	6,5KGy	7,5KGy									
2	0,50 ± 1,00	0	0	0,75 ± 1,50	0	0	0,50 ± 1,00	0	0	1,75 ± 3,50	0	0
15	0,50 ± 1,00	0	0	0,75 ± 1,50	0	0	0,50 ± 1,00	0	0	1,25 ± 2,50	0	0
28	0,25 ± 0,50	0	0	0,25 ± 0,50	0	0	0	0	0	0,75 ± 1,50	0	0
41	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
54	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
67	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
80	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
93	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
106	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
119	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
132	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
145	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
158	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
171	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
184	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

TABELA 17 – Equações de regressão de Traça dos Cereais em função das cultivares de arroz, tempo e doses de irradiação

Variedade	Dose de irradiação	Equações ajustadas	R2
Caravera	0 KGy	$\text{trã} = 0,584066 - 0,00841710 \text{ TI} + 0,00002738 \text{ TI}^2$	0,8096
Caravera	6,5 KGy	$\hat{y} = 0,00$	—
Caravera	7,5 KGy	$\hat{y} = 0,00$	—
Relâmpago	0 KGy	$\text{trã} = 0,841209 - 0,0122721 \text{ TI} + 0,000040 \text{ TI}^2$	0,78 3052
Relâmpago	6,5 KGy	$\hat{y} = 0,00$	—
Relâmpago	7,5 KGy	$\hat{y} = 0,00$	—
Primavera	0 KGy	$\hat{y} = 0,06$	—
Primavera	6,5 KGy	$\hat{y} = 0,00$	—
Primavera	7,5 KGy	$\hat{y} = 0,00$	—
Seleta	0 KGy	$\hat{y} = 0,25$	—
Seleta	6,5 KGy	$\hat{y} = 0,00$	—
Seleta	7,5 KGy	$\hat{y} = 0,00$	—

A infestação por traças de cereais aconteceu até o 28º dia de análise (Tabela 16), por ser um inseto próprio de grãos armazenados em casca, já que, ao contrário dos gorgulhos, se

alimentam das camadas mais externas do grão, eles não sobrevivem por muito tempo nos grãos polidos, o que explica sua diminuição até o desaparecimento, ao longo de curto período de armazenamento. Assim, a amostra da cultivar Seleta, não submetida à irradiação, apresentou maior número de traças dos cereais atingindo níveis médios de 0,25 insetos vivos em 10g de arroz (máximo de 1,75 insetos vivos - desvio-padrão = + 3,50). As cultivares Caravera, Relâmpago e Primavera tiveram número do inseto inferior em relação à Seleta; as duas primeiras apresentaram equação de regressão com valores negativos, ou seja, pontos mínimos e máximos próximos de zero. A cultivar Primavera por sua vez, obteve média de inseto igual a 0,06 com valor máximo de 0,50 insetos vivos (desvio-padrão = + 1,00).

Os dados mostram ainda que a irradiação foi eficiente no controle da traça dos cereais, embora não tenha havido diferenças significativas ao longo do tempo entre as variáveis e as doses de irradiação, talvez porque as amostras analisadas eram de arroz polido. Segundo Aguilar e Arthur (1994) a radiação gama na dose de 0,5 kGy é suficiente para induzir a mortalidade total dos ovos das traças de cereais enquanto que a dose de 0,75 kGy reduz a eclosão das lagartas e a dose de 1,00 kGy elimina por completo os insetos vivos. Contudo, há grande escassez de estudos sobre o efeito da irradiação gama  $\text{Co}^{60}$  no controle deste inseto-pragas de grãos armazenados, especialmente arroz.

### 3.2. Análises microbiológicas

#### 3.2.1. Quantificação de *Aspergillus spp*

A quantificação de fungos do tipo *Aspergillus spp*, refere-se à percentagem máxima de grãos de arroz contaminados encontrados a cada 13 dias nas embalagens das amostras de arroz branco polido em função das diferentes doses de irradiação gama  $\text{Co}^{60}$ , conforme Tabelas 18 e 19.

TABELA 18 - Valores médios (%) e desvios padrão de *Aspergillus spp* em função das cultivares de arroz, tempo e doses de irradiação

Tempo (dias)	Caravera			Relâmpago			Primavera			Seleta		
	0 KGy	6,5KGy	7,5KGy									
2	13,25 ± 4,11	0	0	1,50 ± 0,57	0	0	15,50 ± 3,69	0,50 ± 0,57	0	1,75 ± 0,5	1,00 ± 2,00	0
15	14,25 ± 1,70	0	0	1,75 ± 0,95	0	0	22,50 ± 2,51	0	0	3,5 ± 1,73	0	0
28	22,50 ± 3,78	2,00 ± 2,30	0	11,25 ± 7,54	0,50 ± 1,00	0	21,50 ± 1,73	0	0	20,5 ± 5,44	0,50 ± 1,00	0
41	19,50 ± 3,69	0,25 ± 0,50	0	20,75 ± 5,43	1,00 ± 1,15	0	8,25 ± 2,87	0,25 ± 0,50	0	23,75 ± 0,95	0,75 ± 0,95	0
54	18,00 ± 4,89	1,25 ± 1,89	0	25,00 ± 0,00	0,25 ± 0,50	0	7,50 ± 3,31	0	0	14,00 ± 6,16	0	0
67	25,00 ± 0,00	2,00 ± 2,44	0	25,00 ± 0,00	0	0	16,75 ± 2,06	0	0	19,25 ± 1,70	0,25 ± 0,50	0
80	25,00 ± 0,00	0,25 ± 0,50	0	25,00 ± 0,00	0,25 ± 0,50	0	24,25 ± 0,95	0	0	20,5 ± 3,41	0	0
93	24,75 ± 0,50	0	0	23,25 ± 2,87	0,25 ± 0,50	0	18,75 ± 3,30	0	0	18,5 ± 6,02	0	0
106	23,25 ± 1,50	0,25 ± 0,50	0	24,25 ± 0,95	0,50 ± 1,00	0	22,75 ± 0,95	0	0	9,00 ± 5,35	0	0
119	23,25 ± 2,06	0,25 ± 0,50	0	22,00 ± 3,55	0,50 ± 1,00	0	21,00 ± 4,08	0	0	4,50 ± 3,41	0,50 ± 0,57	0
132	23,50 ± 1,91	0	0	21,00 ± 1,82	0,25 ± 0,50	0	21,25 ± 2,36	0	0	3,25 ± 2,62	0	0
145	21,25 ± 1,50	0	0	19,00 ± 0,81	0	0	18,25 ± 1,70	0	0	2,25 ± 2,87	0,25 ± 0,50	0
158	21,75 ± 1,50	0,25 ± 0,50	0	19,50 ± 1,29	0	0	20,00 ± 0,81	0	0	3,00 ± 3,55	0	0
171	20,75 ± 0,95	0	0	21,00 ± 1,41	0	0	22,50 ± 1,00	0	0	1,00 ± 2,00	0	0
184	21,00 ± 1,41	0	0	20,75 ± 2,06	0	0	22,25 ± 2,06	0	0	0,25 ± 0,50	0	0

TABELA 19 - Equações de regressão de *Aspergillus* em função das cultivares de arroz e doses de irradiação

Variedade	Dose de irradiação	Equações ajustadas	R2
Caravera	0 KGy	$\hat{y}_{asp} = 11,3935 + 0,182367 TI - 0,000652966 TI^2$	0,7171
Caravera	6,5 KGy	$\hat{y} = 0,43$	—
Caravera	7,5 KGy	$\hat{y} = 0,00$	—
Relâmpago	0 KGy	$\hat{y}_{asp} = -2,92637 + 0,394259 TI - 0,0013791 TI^2$	0,773311
Relâmpago	6,5 KGy	$\hat{y} = 0,23$	—
Relâmpago	7,5 KGy	$\hat{y} = 0,00$	—
Primavera	0 KGy	$\hat{y} = 18,86$	—
Primavera	6,5 KGy	$\hat{y} = 0,05$	—
Primavera	7,5 KGy	$\hat{y} = 0,00$	—
Seleta	0 KGy	$\hat{y} = 9,66$	—
Seleta	6,5 KGy	$\hat{y} = 0,21$	—
Seleta	7,5 KGy	$\hat{y} = 0,00$	—

Os dados da Tabela 18 mostram que o número de *Aspergillus spp* nas variedades Caravera, Relâmpago e Seleta aumentou gradativamente nas amostras que não foram submetidas à irradiação, nos 67° e 80° dias de armazenamento, diminuindo suas concentrações a partir do 93° dia. Já a cultivar Primavera apresentou comportamento desuniforme tendo oscilações constantes no número de *Aspergillus spp*, não sendo possível determinar um padrão de comportamento. A análise de regressão encontrou ponto máximo de *Aspergillus spp* de 24,17% para Caravera e 25% para a Relâmpago. No caso das cultivares Primavera e Seleta não houve estatisticamente variações significativas ao longo do tempo, apresentando médias de *Aspergillus spp* iguais a 18,86 e 9,66 respectivamente.

Embora tenham sido encontrados *Aspergillus spp* nas amostras de arroz irradiadas à 6,5 kGy, mostrando que esta dose não é eficiente no controle deste fungo, podemos afirmar que, as médias encontradas (0,43; 0,23; 0,05; 0,21, respectivamente) são pequenas, ou seja, estatisticamente, os valores encontrados não são significantes e estão próximos de zero, não variando ao longo do tempo. Entretanto, por este estudo se tratar de segurança alimentar, desconsideraremos a irradiação gama  $\text{Co}^{60}$  a 6,5 kGy como dose segura para o controle de fungos, ao contrário da dose de 7,5 kGy que eliminou completamente os fungos do arroz.

Os resultados encontrados são justificados por Guimarães (2009) ao determinar doses ideais de irradiação gama  $\text{Co}^{60}$  para controle e eliminação de cada tipo de fungo. Segundo o autor o ponto mínimo de irradiação para eliminar *Aspergillus spp* em arroz branco polido é 6,94 kGy.

### 3.2.2. Quantificação de *Penicillium spp*

A quantificação de fungos do tipo *Penicillium spp*, refere-se à percentagem máxima de grãos de arroz contaminados encontrados a cada 13 dias nas embalagens das amostras de arroz branco polido em função das diferentes doses de irradiação gama  $\text{Co}^{60}$ , conforme Tabelas 20 e 21.

TABELA 20 - Valores médios (%) e desvios padrão de *Penicillium spp* em função das cultivares de arroz, tempo e doses de irradiação

Tempo (dias)	Caravera			Relâmpago			Primavera			Seleta		
	0 KGy	6,5KGy	7,5KGy	0 KGy	6,5KGy	7,5KGy	0 KGy	6,5KGy	7,5KGy	0 KGy	6,5KGy	7,5KGy
2	3,50 ± 2,38	0	0	0	0	0	2,00 ± 0,81	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	1,25 ± 0,95	0	0	0	0	0
28	0,50 ± 0,57	0	0	0	0	0	3,50 ± 3,41	0	0	6,25 ± 2,21	0	0
41	0,50 ± 0,57	0	0	3,00 ± 1,82	0	0	0	0	0	5,00 ± 4,16	0	0
54	3,50 ± 1,73	0	0	0,50 ± 0,57	0	0	1,25 ± 0,50	0	0	7,25 ± 5,18	0	0
67	1,00 ± 1,41	0	0	0	0	0	0,50 ± 0,57	0	0	10,50 ± 3,69	0	0
80	0,25 ± 0,50	0	0	0	0	0	1,00 ± 0,81	0	0	11,25 ± 4,11	0	0
93	0,50 ± 1,00	0	0	0	0	0	0,50 ± 1,00	0	0	2,50 ± 1,00	0	0
106	1,25 ± 0,95	0	0	0	0	0	3,00 ± 1,63	0	0	16,00 ± 1,82	0	0
119	1,50 ± 1,29	0,50 ± 1,00	0	0	0	0	1,75 ± 0,95	0	0	4,75 ± 5,25	0	0
132	0,75 ± 0,95	0	0	0	0	0	1,25 ± 1,50	0	0	3,25 ± 4,27	0	0
145	1,00 ± 0,00	0	0	0,25 ± 0,50	0	0	1,75 ± 1,50	0	0	2,00 ± 2,44	0	0
158	0,75 ± 0,95	0	0	0	0	0	1,50 ± 1,29	0	0	1,75 ± 2,06	0	0
171	0	0	0	0	0	0	1,25 ± 0,95	0	0	0,50 ± 1,00	0	0
184	0,25 ± 0,50	0	0	0,25 ± 0,50	0	0	1,50 ± 1,73	0	0	0,25 ± 0,50	0	0

TABELA 21 - Equações de regressão de *Penicillium spp* em função das cultivares de arroz e doses de irradiação

Variedade	Dose de irradiação	Equações ajustadas	R <sup>2</sup>
Caravera	0 KGy	$\hat{y} = 1,01$	—
Caravera	6,5 KGy	$\hat{y} = 0,03$	—
Caravera	7,5 KGy	$\hat{y} = 0,00$	—
Relâmpago	0 KGy	$\hat{y} = 0,26$	—
Relâmpago	6,5 KGy	$\hat{y} = 0,00$	—
Relâmpago	7,5 KGy	$\hat{y} = 0,00$	—
Primavera	0 KGy	$\hat{y} = 1,46$	—
Primavera	6,5 KGy	$\hat{y} = 0,00$	—
Primavera	7,5 KGy	$\hat{y} = 0,00$	—
Seleta	0 KGy	$\hat{y} = 4,75$	—
Seleta	6,5 KGy	$\hat{y} = 0,00$	—
Seleta	7,5 KGy	$\hat{y} = 0,00$	—

Amostras da cultivar Seleta, não submetidas à irradiação, apresentaram maior número de contaminação por *Penicillium spp* atingindo média de 4,75% de grãos contaminados com máximo de 16% de grãos contaminados (desvio-padrão = + 1,82) no 4º mês de armazenamento. As cultivares Primavera, Caravera e Relâmpago tiveram médias do fungo iguais a 1,46% (máximo de 3,5 grãos contaminados - desvio-padrão = + 3,41); 1,01% (máximo de 3,5 grãos contaminados - desvio-padrão = + 2,38) e 0,26% (máximo de 3,00 grãos contaminados - desvio-padrão = + 1,82), respectivamente.

Ao contrário de Guimarães (2009) que determinou ponto mínimo de irradiação gama Co<sup>60</sup> igual a 7,01 kGy para eliminação de fungos do tipo *Penicillium spp*, os resultados mostram que a dose de 6,5 kGy foi eficaz no controle de *Penicillium spp* nas cultivares de arroz branco polido estudadas.

Contudo, cabe ressaltar que 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 as boas práticas de manipulação, transporte e armazenamento, elevando o grau de segurança alimentar e a vida de prateleira desses alimentos (Guimarães, 2009).

### 3.3. Análises Físicas

#### 3.3.1. Avaliação de Cor

Quando as amostras de arroz são expostas a irradiação gama Co<sup>60</sup>, as variáveis L, a\* e b\* do sistema de cores “CIE Lab” alteraram significativamente o  $\Delta E^*$ , conforme Tabela 22.

TABELA 22 – Valores de  $\Delta E^*$  em função das cultivares e doses de irradiação.

	0 kGY	6,5 kGy	7,5 kGy
Caravera	12,50	22,81	27,80
Relâmpago	12,40	26,75	27,49
Primavera	12,60	26,84	26,93
Seleta	14,34	26,59	26,52

As Tabelas 23 e 24 apresentam os valores de L encontrados.

TABELA 23 - Valores médios da leitura do parâmetro L em função das cultivares de arroz, tempo e doses de irradiação

Tempo (dias)	Caravera			Relâmpago			Primavera			Seleta		
	0 KGy	6,5KGy	7,5KGy	0 KGy	6,5KGy	7,5KGy	0 KGy	6,5KGy	7,5KGy	0 KGy	6,5KGy	7,5KGy
2	82,61	70,62	69,72	81,81	70,08	71,12	80,18	69,87	69,72	80,18	69,87	71,4
15	83,7	73,11	69,52	82,56	70,72	70,47	80,87	70,77	69,52	80,87	70,77	71,15
28	83,01	72,92	70,94	82,41	69,27	71,63	80,81	71,85	70,94	80,81	71,85	71,06
41	82,5	72,41	69,8	83,24	70,12	69,93	80,88	71,29	70,57	80,88	71,29	70,24
54	83,02	73,24	69,59	82,76	70,98	70,54	81,49	70,7	70,15	80,42	70,6	69,77
67	82,4	72,76	71,04	82,6	71,87	70,9	82,4	70,32	70,59	81,04	68,84	71,09
80	83,8	72,39	70,39	81,9	71,65	71,02	83,8	70,81	69,69	80,72	70,82	69,49
93	82,3	72,48	70,84	80,5	71,45	70,63	82,3	69,93	70,5	89,96	71,38	69,44
106	82,65	72,21	71,04	80,48	69,81	70,9	82,65	70,59	70,83	89,59	71,2	69,76
119	81,98	73,05	69,8	80,85	70,64	70,54	81,98	70,48	70,32	81,48	71,33	70,59
132	82,54	73,5	69,49	81,23	71,89	70,87	82,54	70,57	70,52	80,44	71,91	70,98
145	83,14	71,84	70,31	82,4	71,38	71,6	83,14	71,02	70,12	80,21	70,32	71,45
158	82,87	72,01	70,82	81,3	71,84	71,2	82,87	70,62	70,43	80,45	70,8	71,37
171	81,8	73,1	70,57	81,56	70,52	70,9	81,8	70,83	70,64	81,03	70,45	70,32
184	82,46	72,6	69,45	81,43	70,92	70,65	82,46	70,47	70,21	81,8	70,72	70,77

TABELA 24 - Equações de regressão da leitura do parâmetro L em função das cultivares de arroz e doses de irradiação

Variedade	Dose de irradiação	Equações ajustadas	R <sup>2</sup>
Caravera	0 KGy	$\hat{y} = 82,71$	—
Caravera	6,5 KGy	$\hat{y} = 72,54$	—
Caravera	7,5 KGy	$\hat{y} = 70,22$	—
Relâmpago	0 KGy	$\hat{y} = 81,80$	—
Relâmpago	6,5 KGy	$\hat{y} = 70,87$	—
Relâmpago	7,5 KGy	$\hat{y} = 70,86$	—
Primavera	0 KGy	$l = 79,47 + 0,041 T - 0,00013 T^2$	0,7033
Primavera	6,5 KGy	$\hat{y} = 70,67$	—
Primavera	7,5 KGy	$\hat{y} = 70,31$	—
Seleta	0 KGy	$\hat{y} = 80,65$	—
Seleta	6,5 KGy	$\hat{y} = 70,81$	—
Seleta	7,5 KGy	$\hat{y} = 70,59$	—

Conforme as Tabelas 23 e 24, as leituras de L para as amostras do arroz controle (0 kGy) não diferiram significativamente entre si ( $p \leq 0,05$ ) ao longo do tempo de análise, exceto para a cultivar Primavera. As médias encontradas estiveram entre 80,65 e 82,71. A equação de regressão linear dada para a cultivar Primavera, não submetida a irradiação, fornece um ponto máximo atingido por L igual a 82,71. Já para as amostras submetidas à irradiação gama  $\text{Co}^{60}$  (6,5kGy e 7,5kGy), as médias encontradas não diferiram significativamente entre si, haja vista a proximidade das médias encontradas que variaram entre 70,22 e 72,54.

Levando em consideração que o parâmetro L, refere-se à luminosidade e varia de 0 (preto) a 100 (branco), podemos afirmar que as amostras de arroz irradiadas apresentaram-se mais escuras em relação ao controle, embora, a luminosidade não tenha sido diferente para as diferentes doses de irradiação gama  $\text{Co}^{60}$  (6,5kGy e 7,5 kGy).

De acordo com os dados encontrados por Guimarães (2009), o valor médio de L encontrado na dose 0kGy foi de 90,61 e os valores médios nas doses 6,5kGy e 7,5kGy, foram de 89,28, ou seja, o parâmetro L também não diferiu entre as doses de irradiação. Zanão (2007) ao avaliar a cor de amostras de arroz irradiadas até 5kGy, não encontrou diferenças significativas. Roy et al. (1991), por sua vez, levantaram a hipótese de que as diferenças de cor só são visíveis quando comparamos doses de irradiação acima de 5 kGy e com intervalos de 5kGy entre si.

O parâmetro  $a^*$  referente à variação de cromaticidade do verde (-60) ao vermelho (+60,00) foi avaliado e expresso nas Tabelas 25 e 26.

TABELA 25 - Valores médios da leitura do parâmetro  $a^*$  em função das cultivares de arroz, tempo e doses de irradiação

Tempo (dias)	Caravera			Relâmpago			Primavera			Seleta		
	0 KGy	6,5KGy	7,5KGy	0 KGy	6,5KGy	7,5KGy	0 KGy	6,5KGy	7,5KGy	0 KGy	6,5KGy	7,5KGy
2	0,4	0,47	0,99	0,61	0,86	0,86	0,91	0,51	0,99	0,61	0,51	0,04
15	0,43	0,44	0,82	0,49	0,67	0,36	0,58	0,43	0,82	0,18	0,43	0,88
28	0,45	0,44	0,62	0,32	0,93	0,42	0,78	0,44	0,62	0,78	0,22	0,3
41	0,4	0,45	0,65	0,33	0,8	0,69	0,57	0,47	0,52	0,57	0,47	0,95
54	0,48	0,39	0,73	0,69	0,78	0,72	0,61	0,46	0,54	0,26	0,42	0,69
67	0,45	0,48	0,86	0,56	0,82	0,79	0,45	0,48	0,66	0,29	0,3	0,5
80	0,41	0,4	0,68	0,62	0,86	0,65	0,41	0,42	0,38	0,17	0,3	0,54
93	0,49	0,48	0,67	0,44	0,69	0,68	0,49	0,5	0,5	0,17	0,35	0,53
106	0,43	0,46	0,63	0,53	0,75	0,62	0,43	0,42	0,45	0,36	0,4	0,44
119	0,48	0,48	0,71	0,62	0,76	0,58	0,48	0,48	0,32	0,24	0,4	0,51
132	0,47	0,41	0,65	0,68	0,67	0,52	0,47	0,43	0,57	0,22	0,44	0,63
145	0,4	0,41	0,78	0,52	0,85	0,67	0,4	0,49	0,49	0,19	0,41	0,58
158	0,42	0,45	0,6	0,49	0,83	0,77	0,42	0,44	0,46	0,38	0,42	0,65
171	0,42	0,43	0,69	0,64	0,78	0,78	0,42	0,41	0,52	0,27	0,39	0,6
184	0,41	0,47	0,67	0,69	0,9	0,72	0,41	0,42	0,54	0,4	0,4	0,57

TABELA 26 - Equações de regressão da leitura do parâmetro a\* em função das cultivares de arroz e doses de irradiação

Varietade	Dose de irradiação	Equações ajustadas	R2
Caravera	0 KGy	$\hat{y} = 0,4360$	—
Caravera	6,5 KGy	$\hat{a} = 78,13 - 14,70 \sqrt{T} + 0,65 \sqrt{T^2}$	0,6333
Caravera	7,5 KGy	$\hat{y} = 0,7167$	—
Relâmpago	0 KGy	$\hat{y} = 0,5487$	—
Relâmpago	6,5 KGy	$\hat{y} = 0,7967$	—
Relâmpago	7,5 KGy	$\hat{y} = 0,6553$	—
Primavera	0 KGy	$\hat{a} = 0,88 - 0,005 T + 0,000015 T^2$	0,7698
Primavera	6,5 KGy	$\hat{y} = 0,4533$	—
Primavera	7,5 KGy	$\hat{a} = 1,01 - 0,0079 T + 0,000026 T^2$	0,7511
Seleta	0 KGy	$\hat{y} = 0,3393$	—
Seleta	6,5 KGy	$\hat{y} = 0,3907$	—
Seleta	7,5 KGy	$\hat{y} = 0,5607$	—

Para a variável a\*, foram encontradas diferenças significativas ( $p \leq 0,05$ ) entre as dose controle (0kGy) e as doses de irradiação gama Co<sup>60</sup> (6,5kGy e 7,5kGy), embora não tenha havido diferenças entre as doses de irradiação. As variações entre as médias da dose controle foram de 0,33 a 0,54, enquanto que as doses 6,5kGy e 7,5kGy apresentaram médias entre 0,39 e 0,79, não variando entre si ao longo do tempo. Apenas as cultivares Caravera (6,5 kGy), que apresentou pela equação de regressão ponto máximo igual a zero, e Primavera (0 kGy e 7,5

kGy) que obteve pontos máximos iguais a 0,8872 e 0,458, respectivamente, tiveram variações ao longo do tempo de armazenamento.

Segundo Guimarães (2009), em seu estudo, também houve diferença de  $a^*$  entre a dose controle e as doses de irradiação (6,5kGy e 7,5kGy), que não diferiram entre si. Assim como, Zanão (2007) que encontrou alterações da variável  $a^*$  nas amostras de arroz controle e as amostras irradiadas em função da irradiação gama  $Co^{60}$ .

O parâmetro  $b^*$  que varia do azul (-60,00) ao amarelo (+60,00) está expresso nas Tabelas 27 e 28.

TABELA 27 - Valores médios da leitura do parâmetro  $b^*$  em função das cultivares de arroz, tempo e doses de irradiação

Tempo (dias)	Caravera			Relâmpago			Primavera			Seleta		
	0 KGy	6,5KGy	7,5KGy	0 KGy	6,5KGy	7,5KGy	0 KGy	6,5KGy	7,5KGy	0 KGy	6,5KGy	7,5KGy
2	10,42	15,74	18,65	10,28	18,5	19,24	11,42	18,4	18,74	11,42	18,4	18,5
15	10,27	15,5	19,42	9,44	18,90	19,4	9,84	17,84	18,5	9,84	18,5	18,21
28	10,35	14,71	18,96	8,49	17,7	19,45	10,62	17,92	18,71	10,62	18,74	17,44
41	10	18,24	19,06	8,88	17,87	19,85	10,46	18,57	17,01	10,46	17,5	17,82
54	10,5	18,4	17,43	10,06	17,64	20,98	10,98	18,83	17,17	11,5	17,21	17,39
67	10,43	17,45	17,87	8,98	17,03	20,01	10,43	17,87	16,94	11,03	17,3	16,5
80	10,26	17,85	18,5	9,76	16,62	19,52	10,26	16,5	15,13	11,2	15,4	16,62
93	10,42	17,64	16,83	9,38	16,21	18,84	10,42	16,93	16,82	11,16	15,57	16,18
106	10,49	16,08	16,21	10,17	16,38	18,93	10,49	16,82	16,54	11,47	14,92	15,03
119	10,1	16,62	15,56	10,02	15,87	19,34	10,1	15,92	16,78	10,73	14,74	15,37
132	10,3	15,21	15,6	8,44	14,5	17,82	10,3	15,52	15,09	10,98	14,99	15,25
145	10,37	13,64	14,41	8,98	14,72	17,76	10,37	15,84	15,92	11,4	14,84	15,5
158	10,39	14,03	14,53	9,28	14,29	17,58	10,39	14,98	15,4	11,56	14,92	16,37
171	10,21	13,62	14,69	9,51	13,45	16,77	10,21	14,8	14,05	10,83	13,65	14,55
184	10,4	13,21	13,53	9,93	13,92	16,25	10,4	15,01	14,8	11,8	13,84	14,28

TABELA 28 - Equações de regressão da leitura do parâmetro  $b^*$  em função das cultivares de arroz e doses de irradiação

Variedade	Dose de irradiação	Equações ajustadas	R <sup>2</sup>
Caravera	0 KGy	$\hat{y} = 10,3273$	—
Caravera	6,5 KGy	$b = 14,68 + 0,055 T - 0,00029 T^2$	0,7302
Caravera	7,5 KGy	$b = 20,1034 - 0,02794 T$	0,9146
Relâmpago	0 KGy	$\hat{y} = 9,44$	—
Relâmpago	6,5 KGy	$b = 19,2988 - 0,02544 T$	0,9575
Relâmpago	7,5 KGy	$b = 19,065 + 0,02193 T - 0,00015 T^2$	0,8854
Primavera	0 KGy	$\hat{y} = 10,44$	—
Primavera	6,5 KGy	$b = 19,10 - 0,019 T$	0,8620
Primavera	7,5 KGy	$b = 18,8021 - 0,01912 T$	0,7870
Seleta	0 KGy	$\hat{y} = 11,0667$	—
Seleta	6,5 KGy	$b = 18,9781 - 0,02452 T$	0,9041
Seleta	7,5 KGy	$b = 18,5169 - 0,01819 T$	0,8407

Para o parâmetro  $b^*$  na análise de cor, houve diferenças significativas ( $p \leq 0,05$ ) entre a dose controle e as doses de irradiação. Entretanto, não houve variações ao longo do tempo de armazenamento para as amostras não submetidas à irradiação, conforme a Tabela 27 que mostra a proximidade entre as médias que variaram de 9,44 a 11,06. Já para as amostras submetidas à irradiação (6,5kGy e 7,5kGy), apesar de não terem variado estatisticamente entre si ( $p \leq 0,05$ ), houve importante variação ao longo do tempo de armazenamento, com a diminuição dos valores de  $b^*$ , ou seja, as amostras que ficaram amareladas após a irradiação, como a cultivar Relâmpago que apresentou  $b^*$  igual a 19,4 imediatamente após a irradiação, foram diminuindo a tonalidade de amarelo para branco (Tabela 26). Neste sentido os pontos máximos de  $b^*$  fornecidos pelas equações de regressão foram 14,74; 19,54; 18,80; 19,86; 18,73; 18,44; 18,51 e 18,17, respectivamente, conforme Tabela y.

Segundo Sirisoontarak & Noomhorn (2006) e Lee (2007), o arroz muda sua cor de branco para amarelado com o aumento das doses de irradiação, assim como, a intensidade da cor de qualquer alimento irradiado aumenta ao longo das doses de irradiação. Neste sentido, Zanão (2007) e Guimarães (2009) observaram coloração mais amarelada em grãos de arroz submetidos à irradiação gama  $Co^{60}$ . Guimarães (2009) observou ainda que não houve diferença significativa ( $P > 0,05$ ) da variável  $b^*$  entre as doses 6,5kGy e 7,5kGy, embora tenha havido entre a dose controle e as doses de irradiação.

Os resultados apresentados com relação às análises de cor dos grãos são visíveis. A nosso ver, estas alterações nos padrões de cor dos grãos irradiados podem interferir na aceitação do produto pelo consumidor, haja vista que o arroz branco é comumente usado pela população. Assim, a Figura 9 apresenta três amostras de arroz da cultivar Caravera, analisadas em função das doses de irradiação gama  $Co^{60}$  e a Figura 10, o globo de cores com a

localização do arroz em função das doses de irradiação e de acordo com o espectro de cores do sistema “CIE-Lab” utilizado para determinar os parâmetro L, a\* e b\*.



FIGURA 9 - Cor de arroz branco polido não irradiado (0kGy) e irradiado com doses de 6,5kGy e 7,5kGy.

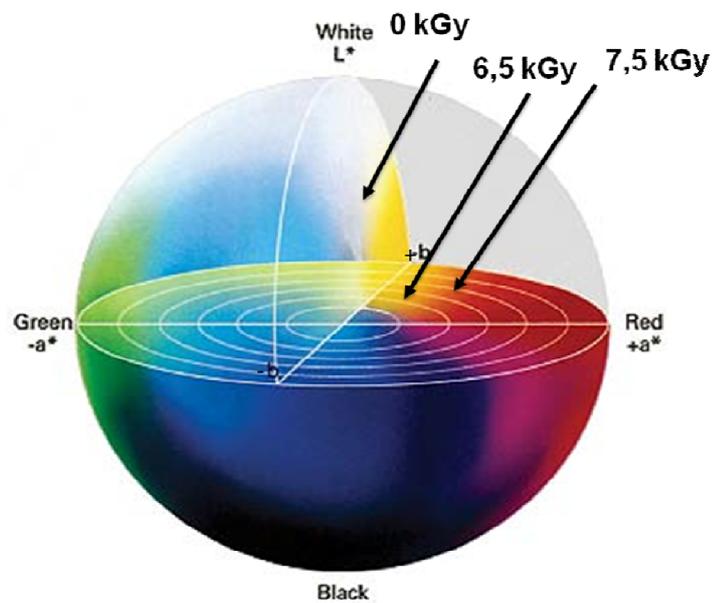


FIGURA 10 - Sistema “CIE-Lab” utilizado para a observação da cor do arroz branco polido irradiado, utilizando os valores de L, a\* e b\*

A nosso ver, as alterações químicas sofridas durante o processo de irradiação e descritas por Lee (2007), dentre elas as reações de Maillard, a oxidação de fenóis com formação de malanoidinas, a produção de radicais livres e de produtos da radiólise de

glicosídeos, capazes de alterar a coloração dos produtos irradiados são as responsáveis pela cor amarelada dos grãos de arroz irradiados neste estudo.

### 3.3.2. Ressonância Paramagnética Eletrônica (RPE)

A formação de radicais livres acontece naturalmente no metabolismo humano e em processo comuns do dia a dia como a simples tostadura de um pão. Nos alimentos oriundos do processo de irradiação se dá através da absorção da radiação pelas moléculas de água sofrendo radiólise, com formação de íons desemparelhados e radicais livres. Estas reações ocorrem rapidamente e são denominadas de efeitos secundários, responsáveis por 80% dos efeitos provocados pela radiação. O excesso de radicais livres no organismo podem levar a sérios prejuízos à saúde oriundos da danificação do DNA cromossomal e de outras moléculas acarretando mutações genéticas e carcinogênicas, além de envelhecimento precoce e outras doenças. Entretanto, o tempo gasto para o rearranjo destas moléculas é que está diretamente ligado aos problemas causados pelas mesmas. Ou seja, radicais livres disponíveis por muito tempo acarretarão maiores problemas à saúde (Souza, 2006).

Um método eficaz na determinação dos níveis de radicais livres é a Ressonância Paramagnética Eletrônica (RPE). Os espectros de RPE das amostras de cultivares arroz branco polido em função das doses de irradiação (6,5 kGy e 7,5 kGy) estão representados na Figura 11.

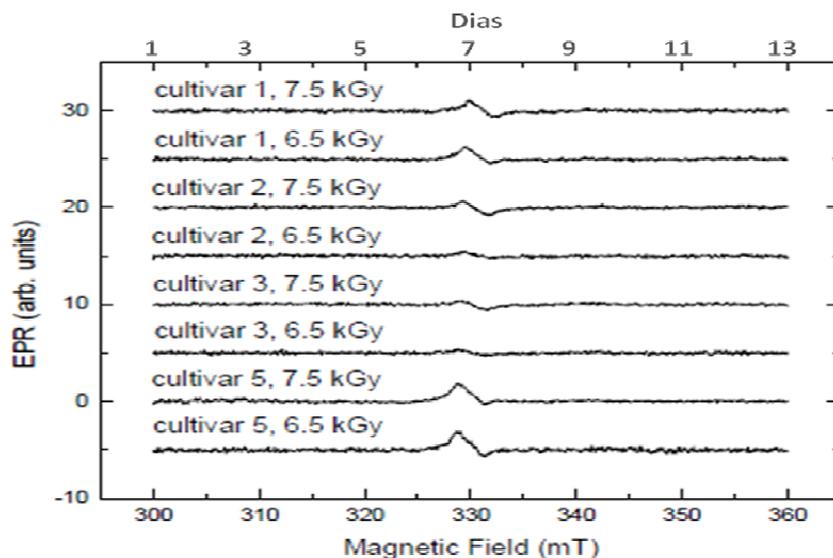


FIGURA 11 - Espectros de RPE de cultivares de arroz irradiado em função das doses de irradiação (7,5kGy e 6,5kGy).

Conforme representado nos espectros da Figura 11, o sinal típico de radicais livres foi visualizado apenas entre o 6º e 7º dia após a irradiação, com amplitude do sinal aumentada com o emprego de doses de 7,5 kGy em relação à dose de 6,5 kGy. Além disso, o RPE mostra ainda que as cultivares Relâmpago e Primavera apresentaram pequenos níveis de radicais livres após a irradiação.

Guimarães (2009) analisou a presença de radicais livres em amostras de arroz irradiadas (6,5 kGy e 7,5 kGy) e controle (0 kGy) imediatamente após a irradiação e quatro meses depois de irradiadas, encontrando sinais de radicais livres apenas nos 7 primeiros dias consecutivos após a irradiação.

Neste sentido, do ponto de vista da segurança alimentar, é necessário que os grãos de arroz irradiados passem por um tempo de carência de pelo menos uma semana antes da comercialização, afim de que os radicais livres oriundos do processo de irradiação se reorganizem e se estabilizem.

### 3.4. Análises das Propriedades Reológicas

#### 3.4.1. Caracterização da viscosidade da pasta

Os perfis viscoamilográficos apresentados na Figura 12 e na Tabela 29 referem-se à propriedade de pasta do amido das cultivares de arroz não irradiadas e irradiadas analisadas neste estudo e avaliadas pelo Rapid Visco Analyser (RVA).

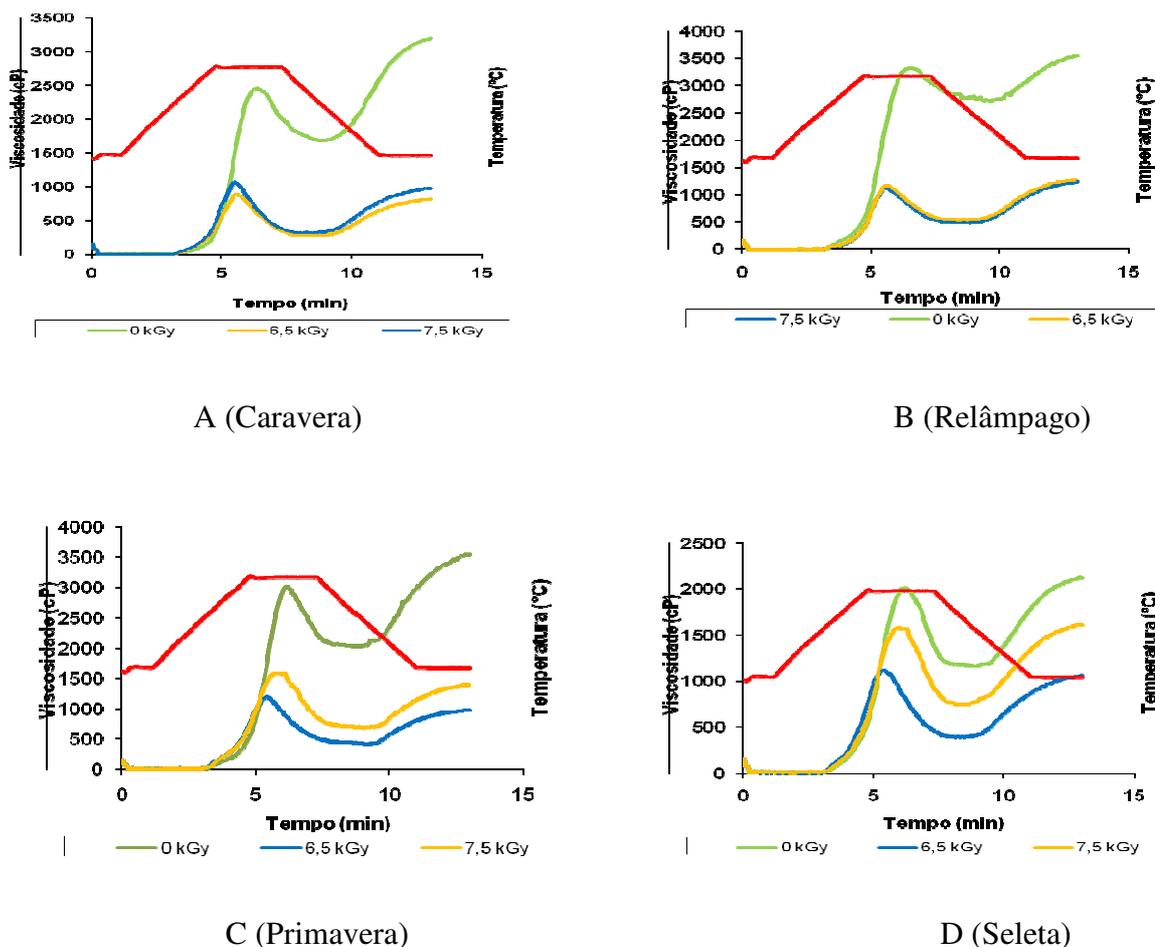


FIGURA 12 - Perfis viscoamilográficos das cultivares de arroz Caravera (Figura 11A), Relâmpago (Figura 11B), Primavera (Figura 11C) e Seleta (Figura 11D), em função das doses irradiação gama  $\text{Co}^{60}$  (0kGy; 6,5kGy; 7,5kGy) avaliados pelo Rapid Visc Analyser ( $3\text{g ml}^{-1}$ ).

O processo de irradiação gama  $\text{Co}^{60}$  provocou importantes alterações nos amidos do arroz refletidas no comportamento dos mesmos quando submetidos às alterações de

temperatura e à agitação mecânica. As curvas de viscosidade dos amidos de arroz irradiado (6,5 kGy e 7,5 kGy) em relação ao controle (0 kGy) apresentam redução intensa na sua propriedade de pasta. Dentre as cultivares analisadas, a cultivar Seleta foi a que apresentou menores alterações na viscosidade causadas pela irradiação.

Os valores referentes às propriedades de pasta de cultivares de arroz em função das diferentes doses de irradiação gama (0kGy, 6,5kGy e 7,5kGy), obtidos a partir dos amilogramas, estão apresentados na Tabela 29.

TABELA 29 - Valores médios\* das propriedades de pasta de cultivares de arroz em função das diferentes doses de irradiação gama (0kGy, 6,5kGy e 7,5kGy)

Parâmetros	Caravera			Relâmpago			Primavera			Seleta		
	0 KGy	6,5KGy	7,5KGy	0 KGy	6,5KGy	7,5KGy	0 KGy	6,5KGy	7,5KGy	0 KGy	6,5KGy	7,5KGy
Temp. inicial de pasta (°C)	48,70	48,65	48,60	49,12	46,20	48,85	49,05	48,85	48,75	49,15	49,00	48,65
Visc. Máxima (cP)	2.413	800,5	1011,5	3250,5	1.085,5	1.067,0	2.956,5	1.197,0	1.591,5	1.991,5	1.178,0	1.581,0
Temp. Visc. Máxima 95°C (°C)	95,00	94,9	94,9	95,05	94,5	94,5	95,0	94,9	95,1	94,95	94,75	95,0
Visc. Mínima 95°C (cP)	1.701,0	284	322,25	2.747,5	528,5	492,5	2.029,5	413,5	690,0	1.165,0	391,5	752,0
Visc. Final (cP)	3.134,5	819,5	961,5	3.523,5	1.257	1.220,5	3.528,0	976,5	1.393,5	2.127,0	1.051,5	1.612,5
"Set-Back" (cP)	54,44	43,32	55,44	70,30	61,50	63,16	125,74	47,14	59,34	79,34	54,61	71,46
Tempo Visc. Máx. (min.)	6,16	5,34	5,34	6,25	5,44	5,44	6,03	5,44	5,80	6,06	5,28	5,99

\*Média de 4 repetições

Temp. = temperatura; Visc. = viscosidade

Como apresentado na Tabela 29, às alterações reológicas ocasionadas pelo aumento das doses de irradiação, referem-se principalmente ao decréscimo da viscosidade máxima, viscosidade mínima e viscosidade final.

A temperatura inicial de pasta, ou seja, onde a viscosidade começa a crescer, esteve na faixa de 46,20 a 49,15°C, assim, a temperatura mínima necessária para o cozimento das amostras não foi significativamente afetada pela irradiação, embora as amostras irradiadas tenham apresentando leve decréscimo. Guimarães (2009) também não encontrou diferenças significativas entre as temperaturas iniciais de pasta das amostras de arroz não irradiadas e irradiadas (6,5kGy e 7,5kGy), entretanto os valores encontrados pela autora foram superiores aos encontrados neste estudo (83,32 a 85,41°C). Zanão (2007), por sua vez, encontrou diferenças significativas ( $p \leq 0,05$ ) na temperatura de pasta de arroz irradiado (1,0kGy, 3,0 kGy e 5,0 kGy) que variou entre 92,84 a 86,72°C). Avaliar a temperatura inicial de pasta é importante porque alterações consideráveis podem ter implicações na estabilidade de outros

componentes alterando a qualidade do produto, bem como afetando a energia a ser consumida neste processo (Newport, 1995).

Com relação à viscosidade máxima, houve importante diferença entre as amostras controle e as irradiadas, com decréscimo significativo de viscosidade, à medida que se aumenta as doses de irradiação, nas cultivares Caravera e Seleta. No caso das temperaturas da viscosidade máxima, houve grandes variações entre as amostras, não sendo possível determinar um padrão de comportamento. Para as amostras não irradiadas a viscosidade máxima variou entre 2.956,50 e 800,50 sendo a cultivar Primavera a que apresentou maior viscosidade máxima. Já para as amostras irradiadas a viscosidade máxima variou de 1.197,00 a 800,50 (6,5 kGy) e de 1.591,5 a 1.011,5(7,5kGy) com a cultivar Caravera sendo a mais afetada pela irradiação.

Guimarães (2009) encontrou decréscimo na viscosidade máxima em relação às doses de irradiação apresentando valores médios de viscosidade máxima iguais a 2.651,43 (0kGy); 808,86 (6,5 kGy), 691,57 (7,5kGy) e Zanão (2007), que embora tenha aplicado diferentes doses de irradiação (1,0kGy, 3,0 kGy e 5,0 kGy), também encontrou diferenças significativas entre a viscosidade máxima que variaram de 201,00 (0 kGy) a 61,00 (5,0 kGy). Segundo Pereira (1996), a viscosidade máxima da pasta de amido depende diretamente do intumescimento e da solubilização dos grânulos de amido, no caso do arroz quando cozido, o amido apresenta moderado intumescimento, o que justifica os valores encontrados para as amostras não irradiadas.

A viscosidade mínima ocorrida a 95°C variou consideravelmente entre as variáveis, tendo também sido afetada pela irradiação, variando entre 2.747,50 e 1.165,00 na dose controle, entre 528,50 e 284,00 na dose de irradiação (6,5kGy) e entre 752,00 e 322,25 (7,5kGy). A viscosidade final, por sua vez, apresentou decréscimo em função das doses de irradiação. A variação da viscosidade final foi de 3.528,00 a 2.127,00 para 0kGy, 1.257,00 a 819,50 para 6,5kGy e 1.612,50 a 961,50 para 7,5kGy. A cultivar Caravera foi a que apresentou menor viscosidade final (819,50) referente à dose de 6,5kGy.

Outra alteração relevante neste estudo foi em relação ao parâmetro “Set-Back”, dado pela diferença entre a viscosidade final a 50°C e a viscosidade inicial a 95°C. Conforme Ciacco e Cruz (1982), citados por Pereira (1996), “Set-Back” refere-se à retrogradação do amido, ou seja, a completa gelatinização dos grânulos de amido. Para este parâmetro, a irradiação gama Co60 também proporcionou alterações no sentido de diminuir a tendência à retrogradação dos grânulos do amido das diferentes cultivares de arroz. Apenas a cultivar

Caravera não apresentou grandes variações na tendência à retrogradação em função das doses de irradiação. Em geral, a redução deste parâmetro variou entre 125,74 e 54,44 (0kGy), 61,50 e 43,32 (6,5 kGy), 71,46 e 55,44 (7,5 kGy), concordando com os resultados de Guimarães (2009) e Zanão (2007) que encontraram diminuição de 19,9% e 51,9% , respectivamente, da tendência à retrogradação em grãos de arroz irradiados.

Com relação ao tempo de cozimento, as amostras irradiadas (6,5kGy e 7,5kGy) apresentaram menor tempo em relação ao controle, variando de 5,44 a 5,28 (6,5 kGy) e 5,99 a 5,34 minutos enquanto que a dose controle variou de 6,25 a 6,03 minutos. Assim como em Guimarães (2009), Zanão (2007) e Yu & Wang (2007) que também encontraram menor tempo de cozimento para as amostras submetidas a irradiação. Segundo Yu & Wang (2007), a irradiação gama  $Co^{60}$  pode gerar radicais livres nas macromoléculas de amido, que são capazes, através da hidrólise do amido produzir pequenos fragmentos de dextrina, alterando sua estrutura e funcionalidade.

Segundo Guimarães (2009), Zanão (2007) e Yu & Wang (2007), a diminuição da viscosidade do arroz é um efeito importante da irradiação causada pela modificação da microestrutura do amido. Outro fator relevante para a viscosidade do grão é o período de armazenamento que também pode diminuir a viscosidade de pasta do arroz, grãos armazenados por mais tempo apresentam menor viscosidade tornando-se menos pegajosos no cozimento.

### 3.5. Análises das Propriedades Microestruturais

#### 3.5.1. Microscopia ótica sob luz polarizada

Para análise das microestruturas dos grânulos de amido das variedades de arroz em função das doses de irradiação (0kGy, 6,5kGy, 7,5kGy), utilizados a microscopia ótica sob luz polarizada, expressos na Figura 13.

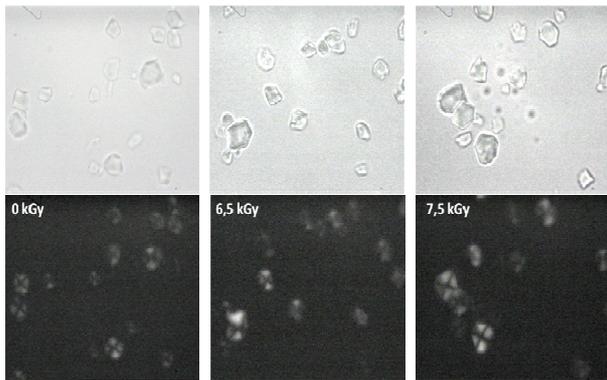


Figura 13a

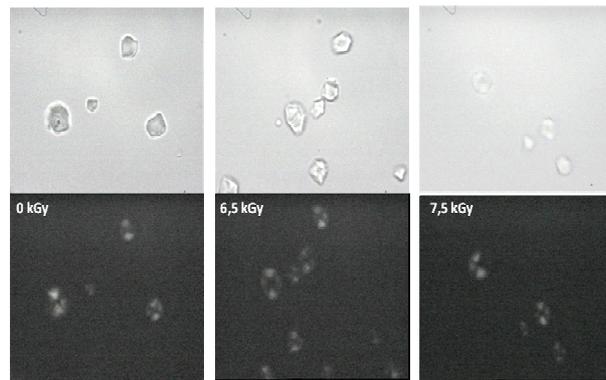


Figura 13b

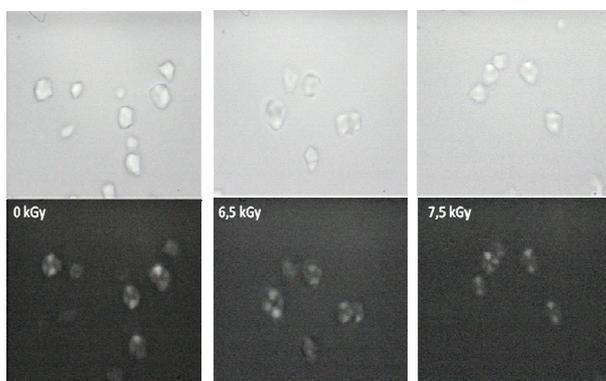


Figura 13c

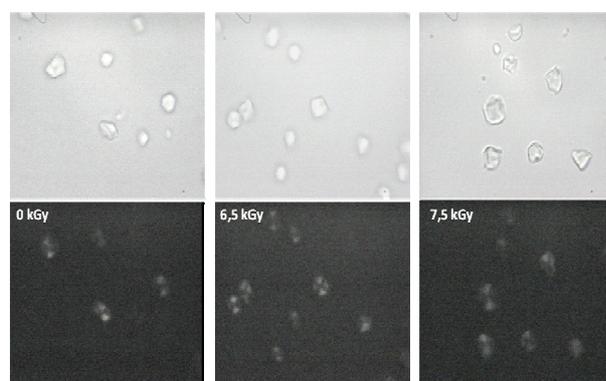


Figura 13d

FIGURA 13 – Fotomicrografias dos grânulos de amido das cultivares de arroz Caravera (Figura 6a), Relâmpago (Figura 6b), Primavera (Figura 6c) e Seleta (Figura 6d), em função das doses de irradiação gama  $\text{Co}^{60}$  (0kGy; 6,5kGy. 7,5kGy) avaliados em microscópio ótico sob luz polarizada (1000x).

Conforme apresentado pelas fotomicrografias os grânulos de amido não foram afetados pela irradiação dos grãos de arroz, haja vista que todos os grânulos apresentaram birrefringência por meio da presença da cruz de malta bem definida e centrada no hilo. Os mesmo resultados foram encontrados por Guimarães (2009), contrariando os estudos de Yu & Wang (2007) que observaram alterações na microestrutura dos grânulos de amido de arroz após irradiação.

Conforme Van Der Burgt et al., (2000), a estrutura macroscópica do amido tem conformação helicoidal linear onde camadas dos polissacarídeos amilose e amilopectina associadas entre si por ligações de hidrogênio são depositadas radialmente em torno de um

ponto central, denominado hilo. A cristalinidade dos grânulos de amido é atribuída principalmente à amilopectina já que a conformação de sua molécula dificulta a associação desta com outras cadeias moleculares. Como consequência da cristalinidade, grande parte dos grânulos de amido apresentam uma cruz de malta quando observados em microscópio sob luz polarizada. Utilizando-se um filtro adicional, a luz polarizada revela uma birrefringência positiva dos grânulos de amido, o que teoricamente indica uma orientação radial do eixo principal dos cristais (Gallant et al., 1997). O desaparecimento da birrefringência e da cruz de malta indica uma desorientação ou até mesmo o rompimento dos grânulos de amido, o que não é o caso das amostras analisadas por este estudo.

#### 4. CONCLUSÕES

Diante dos resultados encontrados pelo presente estudo, podemos concluir que:

- ✓ As doses de irradiação gama ( $\text{Co}^{60}$ ) 6,5 kGy e 7,5 kGy foram eficientes no controle de insetos-pragas das quatro cultivares de arroz analisadas;
- ✓ As doses de irradiação gama ( $\text{Co}^{60}$ ) 6,5 kGy não é efetiva na eliminação de fungos toxigênicos (*Aspergillus spp*), entretanto a dose de 7,5 kGy é suficiente no controle deste mesmo fungo;
- ✓ As doses de irradiação gama ( $\text{Co}^{60}$ ) 6,5 kGy e 7,5 kGy são efetivas na eliminação de fungos toxigênicos (*Penicillium spp*);
- ✓ A irradiação gama ( $\text{Co}^{60}$ ) é benéfica para a indústria de alimentos na conservação e proteção dos grãos de arroz, tanto para aumentar o tempo de prateleira quanto para garantir a segurança alimentar, além de garantir o valor econômico do produto;
- ✓ A presença de radicais livres nas amostras após irradiação gama ( $\text{Co}^{60}$ ) só é encontrada no 6º e 7º dia, contados a partir da irradiação, determinando um período de carência após a irradiação, para a comercialização dos grãos, de uma semana;

- ✓ A irradiação gama ( $\text{Co}^{60}$ ) provoca alterações na cor dos grãos tornando-os mais amarelados com o aumento das doses de irradiação, podendo ser uma característica que influenciem na aceitação do produto;
- ✓ A irradiação gama ( $\text{Co}^{60}$ ) provoca alterações na viscosidade da pasta das cultivares de arroz diminuindo a viscosidade máxima, viscosidade final e a tendência a retrogradação à medida que se aumenta as doses de irradiação;
- ✓ As microestruturas dos grânulos de amido do arroz não são afetadas pela irradiação gama ( $\text{Co}^{60}$ ), mantendo a cristalinidade e a birrefringência;
- ✓ A irradiação gama ( $\text{Co}^{60}$ ) proporcionou características desejáveis ao produto, excesso com relação a cor, do ponto de vista da segurança alimentar, da qualidade dos grãos e da aceitação do produto.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUILAR, J.A.D; ARTHUR, V. Dose letal de radiação gama para ovos de *Corcyra cephalonica* (Stainton, 1865) (Lepidoptera: Pyralidae), traça do arroz. **Sci. Agricola**, Piracicaba, 51 (1): 191-194, jan./abr., 1994.

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

BRYCE, J.R.; POELMA, P.L. Microscopic Examination of Foods and Care and Use of the Microscope. In: Bacteriological Analytical Manual. 8.ed. Food and Drug Administration. AOAC International, Gaithersburg, USA. 1995

CIACCO, C.F.; CRUZ, R. **Fabricação de amido e sua utilização**. São Paulo: Secretaria da Indústria, Comércio, Ciência e Tecnologia, [1982]. 152p.

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

GOMES, A.S.; MAGALHÃES JUNIOR, A. M.; **Arroz irrigado no sul do Brasil**. Brasília, DF: EMBRAPA. Informação tecnológica, 2004.

GUIMARÃES, I.C.O. **Efeito da irradiação gama (co-60) na qualidade e segurança do arroz**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Lavras. Lavras/MG. 2009.

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

- 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, p.886-892, 2007.
- MINOLTA. **Precise color communication**: color control from feeling to instrumentation. Tokyo, 1997. 49f.
- NASCIMENTO, L.M. **Efeito da radiação gama (60 Co) nas propriedades físico-químicas e sensoriais de feijões envelhecidos (*Phaseolus vulgaris*)**. 1992. 135 p. Tese (Doutorado em Ciências) – Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Universidade São Paulo, São Paulo, 1992.
- NEERGAARD, P. **Seed Pathology**. London: The MacMillan Press LTDA, v. 2, 1977. 839 p.
- NEWPORT SCIENTIFIC – N.S. PTY. LTD. **Operation Manual for the Series 4 Rapid Visco Analyser**. Vienna: Instrument Support Group, 1995.
- PEREIRA, J. **Alterações na qualidade tecnológica de grãos de arroz (*Oryza Sativa L.*) durante o armazenamento**. 1996. 107 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1996.
- ROY, M.K.; GHOSH, S.K.; CHATTERJEE, S.R. Gamma-irradiation of rice grains. **Journal of Food Science and Technology**, Oxford, v. 28, p. 337-340, 1991.
- 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.
- SOUZA, A.S.; NETTO, F.M. **Influência da Irradiação e do Armazenamento nas Características Estruturais da Proteína de Soja**. Braz. J. Food Technol., III JIPCA, janeiro, 2006.
- VAN DER BURGT, Y. E. M. ; BERGSMA, J. ; BLEEKER, I. P. ; MIJLAND, P. J. H. C.; KAMERLING, J. P.; VLIEGENHART, J. F.G. Structural studies on methylated starch granules. *Starch/ Stärke*, v.52, n.2-3, p.40-43, 2000.
- WHISTLER, R.L. **Methods in Carbohydrate Chemistry**, vol 4, 1994. pp 03-04
- YU, Y.; WANG, J. Effect of  $\gamma$ -ray irradiation on starch granule structure and physicochemical properties of rice. **Food Research International**, Amsterdam, v. 40, p. 297-303, 2007.
- ZANÃO, C.F.P. **Características físico-químicas e sensoriais do arroz (*Oryza sativa L.*) irradiado e o efeito no desenvolvimento de *Sitophilus oryzae L.*** Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos). Universidade de São Paulo. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Piracicaba/Sp, 2007.

# Livros Grátis

( <http://www.livrosgratis.com.br> )

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)  
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)  
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)  
[Baixar livros de Matemática](#)  
[Baixar livros de Medicina](#)  
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)  
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)  
[Baixar livros de Meteorologia](#)  
[Baixar Monografias e TCC](#)  
[Baixar livros Multidisciplinar](#)  
[Baixar livros de Música](#)  
[Baixar livros de Psicologia](#)  
[Baixar livros de Química](#)  
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)  
[Baixar livros de Serviço Social](#)  
[Baixar livros de Sociologia](#)  
[Baixar livros de Teologia](#)  
[Baixar livros de Trabalho](#)  
[Baixar livros de Turismo](#)