



NATANIELLI ALVES DE SOUSA E SILVA

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

LAVRAS - MG

2011

NATANIELLI ALVES DE SOUSA E SILVA

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

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos, área de concentração Ciência dos Alimentos, para a obtenção do título de Mestre.

Orientadora

Dra. Joelma Pereira

Co-orientadora

Dra. Vanda Maria de Oliveira Cornélio

Co-orientador

Dr. Paulo Roberto Cecon

LAVRAS – MG

2010

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

Silva, Natanielli Alves de Sousa e.

Caracterização e irradiação gama (^{60}Co) de arroz de diferentes cultivares no controle de insetos-pragas de grãos armazenados e de fungos / Natanielli Alves de Sousa e Silva. – Lavras : UFLA, 2010.
164 p. : il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2010.
Orientador: Joelma Pereira
Bibliografia.

1. Segurança alimentar. 2. Desinfestação. 3. Descontaminação.
4. Cereais. 5. Armazenamento. I. Universidade Federal de Lavras.
II. Título.

CDD – 664.0288

NATANIELLI ALVES DE SOUSA E SILVA

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

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos, área de concentração Ciência dos Alimentos, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 19 de fevereiro de 2010

Dra. Vanda Maria de Oliveira Cornélio

Epamig/URESM/Lavras

Dra. Adriana Régia Marques de Souza

UFG

Dra. Joelma Pereira

Orientadora

Dr. Paulo Roberto Cecon

Co-orientador

LAVRAS - MG

2010

*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

A 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 favorezinhos 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, pelo apoio.

A Irene Milagres e família, pelo ajuda, apoio e incentivo durante o tempo em que estive em Belo Horizonte.

A Universidade Federal de Lavras, ao Departamento de Ciência dos Alimentos e ao Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos nas pessoas dos professores e funcionários que, com carinho e destreza, se fizeram presentes em minha vida, na busca do conhecimento. Em especial a profa. Ana Carla, prof. Jaime, prof. Luís Roberto e prof. Eduardo Valério, pelas análises, equipamentos, laboratórios e orientações. A Lucilene, secretária do Programa de Pós-Graduação, pelo sorriso de sempre, por toda disponibilidade e esforço em ajudar. A Tina, Flávia, Cleusinha, Cidinha e Tales, pela ajuda em todas as análises e sem a qual este trabalho não seria possível. Agradeço também pelos momentos de descontração e pela alegria com a qual me recebiam. Ao Sr.

Miguel, pelo socorro e conserto 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 Maria Luísa, sua filha, que sem querer foi nosso elo.

Aos meus estimados co-orientadores Vanda Maria, da Epamig/URESM/Lavras e Paulo Roberto Cecon, da Universidade Federal de Viçosa, pelo socorro nas horas difíceis e pela imensurável contribuição.

A 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, Antônio, 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 do tipo de pessoa que marca quem os conhece e, por isso, também ficarão para sempre em meu coração porque são mais que especiais.

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

À Epamig/URESM/Lavras, nas pessoas de Moizés, 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.

À Cerealista Capitólio Ltda., na pessoa de Gilson dos Santos Guerra pela ajuda e contribuição.

À Cocal Cereais Ltda na pessoa do André, do laboratório de qualidade, pela 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 e Carlos Wanderlei Piler, da Embrapa/RJ, pelas análises.

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

Ao prof. Messias, do Departamento de Agricultura, pelo exemplo e apoio.

Ao Cristiano (Pepe), do Laboratório de Patologia de Sementes do Departamento de Fitopatologia da UFLA e aos bolsistas da Epamig/Fapemig, Silvia e Leandro, especialmente, 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.

À Taíse, “minha bolsista” predileta. A maior responsável pela execução deste trabalho em tempo hábil. Obrigada pela força, pelo apoio e companheirismo, principalmente nos finais de semanas, feriados e madrugadas. “Ah se eu fosse marinho...”. Também agradeço à Fernanda Gandra, que apesar do pouco tempo conosco, contribuiu enormemente nas análises.

Por último, mas não menos importantes, a meus amigos de Viçosa, Carla, Juliano, Juju e Gigi; Fabrícia, Cor-Maria e João Pedro; Ana Lúcia,

Adauto, Lalá e Gustavo; Junice, Léo, Leon e Luis Felipe; Manú, Juliana, Gardênia, Kamila, Doraliza, Wandinho (o padre), e a Kátia e família, pelo apoio, pela torcida e, principalmente, por entenderem a minha 'correria'. E àqueles que, direta ou indiretamente, contribuíram para que este trabalho fosse possível e que a emoção do momento me impede de citar, o meu muito obrigada!

"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

RESUMO

Apesar da relevância nutricional e da capacidade de atender a demandas públicas, as cultivares de arroz apresentam grande variação na qualidade, entre as cultivares consumidas e na cadeia produtiva susceptível à infestação por insetos-pragas de grãos armazenados e contaminação por fungos, especialmente os produtores de toxinas. Como técnica eficaz na conservação de alimentos, principalmente no controle de insetos e fungos, a radiação ionizante se apresenta como alternativa para garantir a qualidade dos grãos, do ponto de vista da segurança alimentar. Dessa forma, com o presente trabalho objetivou-se 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}Co) na desinfestação e na descontaminação dos grãos, bem como na formação de radicais livres e nas características físicas, reológicas e microestruturais dos grãos submetido à irradiação nas doses 0kGy, 6,5kGy e 7,5kGy. 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 de fungos presentes no arroz e aumentou a qualidade de cocção dos grãos. Nesse sentido, concluiu-se que a irradiação gama é eficiente na conservação do arroz, além de contribuir para melhorar suas propriedades tecnológicas.

Palavras-chave: Segurança alimentar. Desinfestação. Descontaminação. Armazenamento.

ABSTRACT

Despite of the nutritional relevance and of the capacity of meeting the public demands, rice cultivars show a great variation in quality among the consumed cultivars and in the productive chain susceptible to pest insect infestation and fungus-contamination, especially toxin-producers. As the technique effective in food conservation, mainly in the control of insects and fungi, ionizing radiation presents itself as an alternative to warrant the quality of grains from the food safety viewpoint. Thus, with the present work, it was aimed to evaluate the technological, chemical and sensorial qualities of four rice cultivars, namely, BRSMG Caravera, BRSMG Relâmpago, BRS Primavera and BRSMG Seleta, in addition to evaluating the effect of gamma irradiation (^{60}Co) in both the disinfestation and decontamination of grains, as well as in the formation of free radicals and on the physical, rheological and microstructural of the grains submitted to the irradiation at the doses of 0kGy, 6.5kGy and 7.5kGy. The results demonstrated that cultivar BRSMG Seleta presented the best chemical and sensorial quality. In addition, the use of gamma irradiation reduced significantly the insect and fungus population present in the rice and increased the quality of cooking of the grains. In that sense, it follows that gamma irradiation is effective in rice conservation, besides contributing to improve its technological qualities.

Keywords: Food safety. Disinfestation. Decontamination. Storage.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	Principais subespécies de arroz adaptado de (LOPES et al., 1995).	26
Figura 2	Estrutura do grão de arroz adaptado de (JULIANO, 1984; VIEIRA; SANTOS; SANT'ANA, 1999).	27
Figura 3	Estrutura do grânulo de amido (corte transversal).	36
Figura 4	Fases de desenvolvimento da traça dos cereais (<i>Sitotroga cerealella</i>), lagarta e inseto adulto.	43
Figura 5	Fases de desenvolvimento da traça dos cereais (<i>Sitophilus oryzae</i>), ovo e inseto adulto.	44
Figura 6	Principais fungos de armazenamento: <i>Aspergillus</i> sp., <i>Penicillium</i> sp. e <i>Fusarium</i> sp.	46
Figura 7	Radura (símbolo internacional de alimentos irradiados).	55
Figura 8	Varição de cor dos grãos de arroz branco polido, em função do tempo e da dose de radiação gama (^{60}Co).	137
Figura 9	Fotomicrografias dos grânulos de amido das cultivares de arroz Caravera (Figura 9A), Relâmpago (Figura 9B), Primavera (Figura 9C) e Seleta (Figura 9D), em função das doses de radiação (0kGy; 6,5kGy. 7,5kGy), avaliadas em microscópio ótico sob luz polarizada (1000x).	146
Gráfico 1	Aceitação dos consumidores, com base nas notas dadas aos atributos sensoriais, em função das cultivares de arroz.	98
Gráfico 2	Representação gráfica, equação de regressão e coeficiente de determinação da contagem de traças (<i>Sitotroga cerealella</i>) presentes nas amostras de arroz Caravera (a) e Relâmpago (b), em função das doses de radiação.	122

Gráfico 3	Representação gráfica, equação de regressão e coeficiente de determinação da contagem de <i>Aspergillus</i> spp. presentes nas amostras de arroz Caravera (a) e Relâmpago (b), em função das doses de radiação.	125
Gráfico 4	Representação gráfica, equação de regressão e coeficiente de determinação das leituras do parâmetro b* das amostras de arroz Caravera (a), Relâmpago (b), Primavera (c) e Seleta (d), em função das doses de radiação.....	129
Gráfico 5	Representação gráfica, equação de regressão e coeficiente de determinação das leituras do parâmetro a* das amostras de arroz Primavera, em função das doses de radiação.	131
Gráfico 6	Representação gráfica, equação de regressão e coeficiente de determinação das leituras do parâmetro b* das amostras de arroz Caravera (a), Relâmpago (b), Primavera (c) e Seleta (d), em função das doses de radiação.....	133
Gráfico 7	Espectros de RPE das cultivares Caravera (cultivar 1), Relâmpago (cultivar 2), Primavera (cultivar 3) e Seleta (cultivar 5), em função das doses de radiação.....	139
Gráfico 8	Perfis viscoamilográficos das cultivares de arroz Caravera (Figura 18A), Relâmpago (Figura 18B), Primavera (Figura 18C) e Seleta (Figura 18D), em função das doses de radiação gama (⁶⁰ Co) (0kGy; 6,5kGy. 7,5kGy), avaliados pelo Rapid Visc Analyser (3g 25ml ⁻¹).	140

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Valores médios* em percentagem das variáveis grãos inteiros, grãos quebrados, renda do benefício e rendimento do grão, envolvidas no beneficiamento em função das cultivares de arroz.	90
Tabela 2	Valores médios*, em g 100 ⁻¹ , das variáveis umidade, extrato etéreo, proteína bruta, fibra bruta, cinza, fração glicídica em função das cultivares de arroz.	92
Tabela 3	Composição química de 100 g de arroz branco polido, segundo diferentes tabelas de composição química de alimentos.	93
Tabela 4	Análise de variaância, 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 dos tipos de arroz.	96
Tabela 5	Valores médios* das variáveis tempo de cocção, coeficiente de expansão de volume e perda de sólidos solúveis em função dos tipos de arroz.	97
Tabela 6	Valores médios* das notas atribuídas às variáveis aparência, aroma, sabor, textura e aspecto global, em função das cultivares de arroz.	98
Tabela 7	Parâmetros do Rapid Visco Analyser (RVA) utilizados para a determinação das propriedades de pasta do amido de arroz branco polido não irradiado e radiado.	117
Tabela 8	Equações de regressão ajustadas do número de Gorgulhos (<i>Sitophilus oryzae</i>), em função do tempo, para as respectivas combinações de variedades de arroz e doses de radiação.	120
Tabela 9	Equações de regressão ajustadas do número de traças (<i>Sitotroga cerealella</i>), em função do tempo para as respectivas combinações de variedades de arroz e doses de radiação.	121

Tabela 10	Equações de regressão ajustadas do número de <i>Aspergillus</i> spp., em função do tempo para as respectivas combinações de variedades de arroz e doses de radiação.	124
Tabela 11	Equações de regressão ajustadas do número de <i>Penicillium</i> spp., em função do tempo, para as respectivas combinações de variedades de arroz e doses de radiação.	127
Tabela 12	Valores médios de ΔE^* de grãos de arroz, em função das cultivares e doses de radiação.	128
Tabela 13	Equações de regressão ajustadas dos valores do parâmetro L, em função do tempo, para as respectivas combinações de variedades de arroz e doses de radiação.	129
Tabela 14	Equações de regressão ajustadas dos valores do parâmetro a*, em função do tempo, para as respectivas combinações de variedades de arroz e doses de radiação.	131
Tabela 15	Equações de regressão ajustadas dos valores do parâmetro b*, em função do tempo, para as respectivas combinações de variedades de arroz e doses de radiação.	132
Tabela 16	Valores médios* das propriedades de pasta de cultivares de arroz, em função das diferentes doses de radiação gama (0kGy, 6,5kGy e 7,5kGy).	142

SUMÁRIO

	CAPÍTULO 1: Uma abordagem teórica.....	20
1	INTRODUÇÃO	1
2	REFERENCIAL TEÓRICO	25
2.1	Origem, produção, consumo e importância do arroz	25
2.2	Qualidade do arroz.....	29
2.2.1	Aspectos tecnológicos.....	29
2.2.1.1	Beneficiamento.....	29
2.2.1.2	Qualidade de cocção	32
2.2.1.3	Propriedades do amido.....	34
2.2.1.3.1	Amilose e amilopectina.....	34
2.2.1.3.2	Gelatinização do amido	35
2.3	Aspectos nutricionais.....	37
2.3.1	Carboidratos	38
2.3.2	Proteínas.....	38
2.3.3	Lipídeos	39
2.3.4	Vitaminas e minerais	40
2.4	Armazenamento.....	40
2.4.1	Insetos-praga de grãos armazenados	42
2.4.2	Fungos de armazenamento	45
2.5	Irradiação de alimentos.....	48
2.5.1	Princípios e efeitos da irradiação	48
2.5.2	Histórico	53
2.5.3	Formação de radicais livres	55
	REFERÊNCIAS.....	58
	CAPÍTULO 2: Análise da qualidade tecnológica e das	
	características químicas e sensoriais do arroz.....	77
1	INTRODUÇÃO	80
2	MATERIAL E MÉTODOS	82
2.1	Local do experimento	82
2.2	Preparo e caracterização da matéria-prima.....	82
2.2.1	Obtenção da matéria-prima.....	82
2.2.2	Preparo da matéria-prima	83

2.3	Qualidade tecnológica	83
2.3.1	Beneficiamento da matéria-prima.....	83
2.3.2	Renda do benefício.....	83
2.3.3	Rendimento dos grãos	84
2.3.4	Teste de cocção tradicional	84
2.4	Análises químicas.....	86
2.4.1	Composição centesimal	86
2.5	Qualidade sensorial	89
2.5.1	Análise sensorial	89
2.5.1.1	Teste de cocção de panela ou convencional	89
2.6	Delineamento experimental e análise dos resultados.....	90
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	91
3.1	Renda do benefício e Rendimento do grão	91
3.2	Composição centesimal	93
3.3	Teste de cocção.....	97
3.4	Análise sensorial	99
4	CONCLUSÃO.....	101
	REFERÊNCIAS.....	102
	CAPÍTULO 3: Efeito da irradiação gama (⁶⁰Co) na desinfestação	
	de grãos de arroz.....	106
1	INTRODUÇÃO	109
2	MATERIAL E MÉTODOS	112
2.1	Amostras.....	112
2.1.1	Teste de sanidade	112
2.2	Processo de irradiação.....	113
2.2.1	Preparação das amostras	113
2.2.2	Processo de irradiação e acondicionamento das amostras	113
2.3	Análises de infestação por insetos-pragas de grãos armazenados	114
2.4	Análises microbiológicas	115
2.4.1	Quantificação de <i>Aspergillus</i> spp. e <i>Penicillium</i> spp.	115
2.5	Análises físicas.....	115
2.5.1	Avaliação de cor.....	115
2.5.2	Determinação dos níveis de radicais livres (oxidação).....	116
2.5.2.1	Ressonância paramagnética eletrônica (RPE)	116
2.6	Análises das propriedades de pasta.....	117

2.6.1	Extração do amido	117
2.6.2	Caracterização da propriedade de pasta	118
2.7	Análises das propriedades microestruturais	119
2.7.1	Microscopia ótica sob luz polarizada	119
2.8	Delineamento experimental	119
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	121
3.1	Infestação de gorgulhos de arroz (<i>Sitophilus oryzae</i>)	121
3.2	Infestação por traças dos cereais (<i>Sitotroga cerealella</i>)	122
3.3	Análises microbiológicas	124
3.3.1	Quantificação de <i>Aspergillus spp.</i>	124
3.3.2	Quantificação de <i>Penicillium spp.</i>	128
3.4	Análises físicas	129
3.4.1	Avaliação de cor	129
3.4.2	Ressonância paramagnética eletrônica (RPE)	139
3.5	Análises das propriedades reológicas	141
3.5.1	Propriedade de pasta	141
3.6	Análises das propriedades microestruturais	146
3.6.1	Microscopia ótica sob luz polarizada	146
4	CONCLUSÃO	149
	REFERÊNCIAS	150
	ANEXOS	153

CAPÍTULO 1

Uma abordagem teórica

1 INTRODUÇÃO

O arroz é um dos cereais mais consumidos pela população mundial. 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 o trigo e o milho são consumidos na forma de diversos subprodutos - como na forma de farinhas, por exemplo, 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.

A produção nacional do arroz foi estimada, para 2009, pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, em, aproximadamente, 12,6 milhões de toneladas, movimentando a economia brasileira com mais de R\$ 5 bilhões. Entretanto, para garantir todo este retorno financeiro, os produtores estão buscando garantir a qualidade dos grãos de arroz exigida pelo mercado consumidor.

Contudo, os aspectos determinantes da qualidade dos grãos em arroz são mais amplos e complexos que aqueles considerados em outros cereais, principalmente porque o arroz é consumido na forma de grãos inteiros, descascados e muito polidos. Assim, aspectos como rendimento, aparência dos grãos antes e após cozimento, odor, consistência e sabor são rigorosamente avaliados antes da comercialização dos grãos.

Os testes mais comumente utilizados 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, incluindo 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, esses testes avaliam todos os parâmetros que são de grande importância para o consumidor, os quais vão interferir diretamente no valor de mercado e na aceitação do produto pelo consumidor.

Mas, para que o produto chegue até a mesa do consumidor, ele passa por etapas da cadeia produtiva que interferem diretamente na qualidade dos grãos. Atualmente, 20% da produção nacional tem sido perdida entre as etapas de colheita, transporte e armazenamento, sendo esta última 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 às características sensoriais e econômicas do grão, podendo também ser veículos para contaminação fúngica que inviabiliza a sua comercialização. 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.

Comumente, nos métodos convencionais de controle de insetos-pragas de grãos armazenados e de fungos utilizam-se fungicidas e inseticidas de alta periculosidade para a saúde humana. Nesta perspectiva, torna-se necessário buscar novos métodos seguros de conservação de alimentos, no 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 deles dificultam o trabalho e sua aplicabilidade.

Em estudos sobre segurança alimentar comprovou-se a eficiência da irradiação gama (^{60}Co) na conservação e na 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 não é prejudicial à saúde porque o alimento nunca entra em contato direto com a fonte de radiação e por isso não se torna radioativo. 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 à sua facilidade de se rearranjarem com outras moléculas.

Guimarães (2009) testou várias doses de radiação gama (^{60}Co) no arroz, com o objetivo de eliminar fungos toxigênicos (*Aspergillus* sp. e *Penicillium* sp.) 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 as referidas doses de irradiação não causaram nenhuma alteração drástica na composição química e na conformação dos grânulos de amido do arroz.

Nesta perspectiva, com o presente estudo, objetivou-se dar continuidade ao trabalho de Guimarães (2009). Isso porque estudar os efeitos da irradiação gama em grãos de arroz pode contribuir para a promoção e a obtenção de um alimento seguro que, em condições normais, seria infestado por insetos e fungos, o que também significaria um avanço para a economia do arroz e para a segurança alimentar. Além disso, o método, por se tratar de uma tecnologia utilizada mundialmente, poderia introduzir e difundir a inovação tecnológica.

Desse modo, o presente trabalho foi realizado com os seguintes objetivos:

- a) avaliar aspectos físicos, físico-químicos, tecnológicos e nutricionais relacionados à qualidade dos grãos de arroz de quatro diferentes cultivares, antes de serem submetidas à irradiação gama (^{60}Co);
- b) avaliar a eficiência da irradiação gama (^{60}Co) 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;
- c) avaliar os efeitos da irradiação gama (^{60}Co), 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. De acordo com a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA (2009), esta 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 o 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, na morfologia da planta e do grão e na reação sorológica (PEREIRA, 2002).

As principais subespécies, grupos ou raças ecogeográficas são Índica, Japônica e Javânica (Figura 1). O grupo Índica é cultivado em regiões tropicais de 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. Já 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
Fonte: adaptado de LOPES et al., 1995).

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 (Figura 2) (PEREIRA, 2002; VIEIRA; SANTOS; SANT'ANA, 1999).

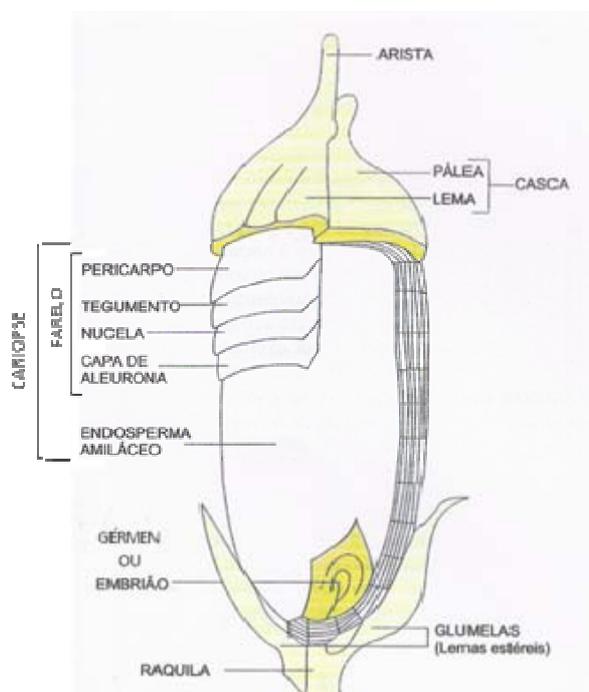


Figura 2 Estrutura do grão de arroz

Fonte: adaptado de (JULIANO, 1984; VIEIRA; SANTOS; SANT'ANA, 1999)

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. Em alguns estudos, afirma-se que as áreas irrigadas são mais produtivas, porém, mais propensas a doenças na planta, embora apresentem melhor qualidade dos grãos, quando comparados aos grãos produzidos em áreas secas (DOESTHALE et al., 1979; OKADA et al., 2007).

O cultivo do grão no Brasil é distribuído em três grandes polos 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 (FERREIRA; SOUSA; DEL VILLAR, 2005b; INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE, 2008).

De acordo com a Food and Agriculture Organization of the United Nations - 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 dez 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 nesse processo porque são utilizados 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 et al., 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 et al., 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 rendimento do grão e maior o valor de comercialização do produto (BARBER, 1972).

2.2 Qualidade do arroz

As características determinantes da qualidade do arroz influenciam diretamente o valor de mercado do grão, bem como a 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 ao de outros países. De maneira geral, a qualidade de um produto agrícola é determinada segundo os aspectos comerciais, como a renda do benefício e a qualidade de cocção, além dos tecnológicos, nutricionais e sensoriais (CASTRO et al., 1999; JULIANO, 1985a; PEREIRA, 1996).

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, seja bastante variada, grãos inteiros e uniformes, do tipo longo fino, são usualmente preferidos. Desse modo, o beneficiamento com bons rendimentos de grãos inteiros é um fator

determinante para a qualidade do arroz, o que pode acarretar em maior preço de mercado e maior aceitação do consumidor. Além disso, o beneficiamento é uma análise importante antes do lançamento de novas cultivares no mercado (CUEVAS-PEREZ; PESKE, 1990).

O beneficiamento dos grãos de arroz tem como objetivos principais: i) remoção de impurezas advindas do campo; ii) separação da casca e dos grãos, por meio do descascamento e da separação pela câmara de palha; iii) separação de marinheiros; iv) brunição; v) homogeneização e vi) classificação (BRAGANTINI; VIEIRA, 2004).

As etapas do beneficiamento compreendem recepção, pré-limpeza e acondicionamento a granel (secagem), limpeza para a retirada de impurezas, como talos da planta, torrão de terra e pedras, separação da casca e dos grãos, brunição e polimento, classificação dos grãos em inteiros e quebrados e a separação por tipo (longo-fino, longo, médio e curto), a embalagem, a armazenagem, o transporte e a 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. Grãos defeituosos e de cores diferentes também podem ser separados por coletoras eletrônicas (BRAGANTINI; VIEIRA, 2004; VAUGHAN; GREGG; DELOUCHE, 1976).

A retirada da casca do arroz, que deve ter no máximo 14% de umidade, é feita por descascador de rolos de borracha, no qual 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; GREGG; DELOUCHE, 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. Esse tipo de descascador apresenta maior dificuldade de regulagem e maior quebra de grãos, devido à agressividade do processo (VAUGHAN; GREGG; DELOUCHE, 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). Estes últimos voltam ao equipamento de descascamento para serem beneficiados.

Após o descascamento, os grãos são submetidos à brunição, para a retirada do germe e do farelo, por meio 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; GREGG; DELOUCHE, 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” ou, 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 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, para que este grão seja classificado como do tipo 1, ele deve apresentar máximo de 7,5% de grãos quebrados e quirera e máximo de 5,5% de impurezas e grãos com defeito. Diferentemente da Portaria nº 269, de 17 de novembro de 1988, que determinava a renda do benefício em 68% (mínimo de 40% de grãos inteiros e máximo de 28% de grãos quebrados), a primeira não estabelece o mínimo de grãos inteiros, mas apenas fixa o máximo de grãos quebrados e quirera, além das impurezas e grãos defeituosos. A nova legislação define ainda, critérios para a classificação do arroz como grupos, subgrupos, classes e tipos. Além disso, determina que serão desclassificados e considerados impróprios para o consumo humano, com a comercialização proibida, os grãos de arroz, de qualquer dos subgrupos de ocorrência, que apresente mau estado de conservação, presença de sementes tóxicas e 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%.

Entretanto, cabe ressaltar que fatores como cultivar, tipo e manejo do solo, colheita e armazenamento podem influenciar diretamente a 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, à perda de sólidos solúveis e ao ganho de volume durante a cocção, enquanto a qualidade comestível ou a palatabilidade do grão estão mais relacionadas 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 ideia 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 disso, é utilizado por indústrias de beneficiamento como forma de avaliar o comportamento culinário das cultivares lançadas e/ou novas linhagens em estudo (BASSINELLO; ROCHA; COBUCCI, 2004).

Os fatores que controlam o comportamento culinário e de processamento do arroz são, fundamentalmente, ligados às características físico-químicas do produto. Ocorre, contudo, uma série de alterações no período de pós-maturação do grão para consumo, durante o armazenamento, que modificam as propriedades sensoriais do arroz. Modificações na solubilidade e no teor de amilose e de 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 possam ser influenciadas por fatores como maturação do grão na época da colheita, condições e tempo de armazenamento, maturação pós-colheita e 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 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, em que 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 amilose ou amilopectina. A deposição continuada faz crescer a estrutura e dá origem ao grânulo semicristalino. 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 se agrupar em grânulos (RAVEN; EVERT; EICHHORN, 1992).

Segundo Juliano (1984), por serem estruturas complementares, o aumento ou o decréscimo de amilose refletem inversamente no teor de amilopectina. Consequentemente, essa 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% a 27%) e baixo (8% a 22%). Nesse 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 (BASSINELLO; ROCHA; COBUCCI, 2004; MARTINEZ; CUEVAS-PEREZ, 1989).

Juliano e Pascual (1980) citados por Vieira e Carvalho (1999), num levantamento das características de qualidade do arroz cultivado em diversos países, reportaram 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 acontecem o aumento e a 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 de birrefringência. O inchamento dos grânulos e a solubilização da amilose e de 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).

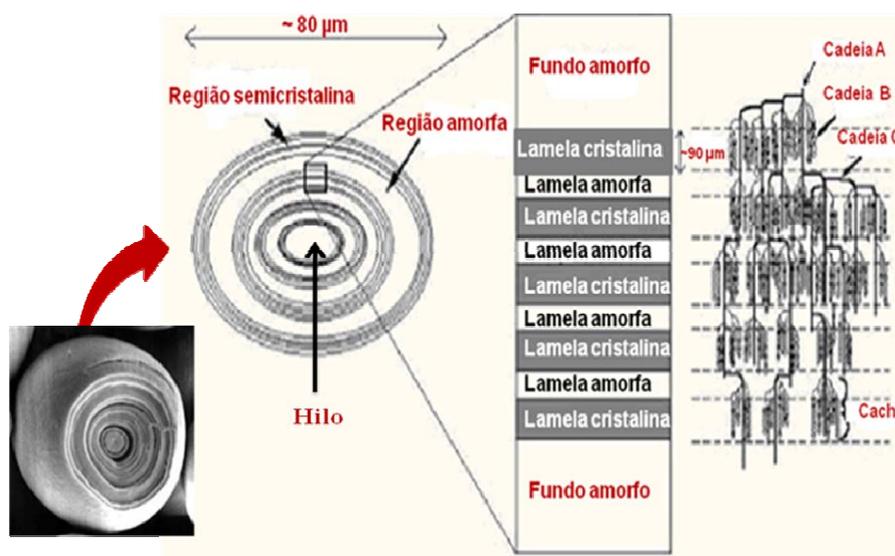


Figura 3 Estrutura do grânulo de amido (corte transversal).
Fonte: Adaptado de Waigh, Hopkinson e Donald (1997).

A temperatura de gelatinização de amidos nativos é, geralmente, de 65°C, mas pode variar segundo o 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).

2.3 Aspectos nutricionais

O arroz é 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. A última pesquisa oficial realizada no Brasil referente ao consumo de alimentos foi a Pesquisa de Orçamentos Familiares (2002-2003) “Análise da Disponibilidade Domiciliar de Alimentos e Estado Nutricional no Brasil”, conduzida pelo IBGE, que apontou um consumo médio de arroz branco polido de 7.032,00 kg/ano, uma redução do consumo per capita de 30 kg/habitante/ano, em 1987, para 25 kg/habitante/ano (68g/habitante/dia), em 2003, fornecendo 19,33% de energia para a população do meio rural (maiores consumidores de arroz) e 17,32% de energia para a população urbana. Em outras palavras, houve uma redução de, aproximadamente, 16% do consumo per capita de arroz branco polido nos domicílios brasileiros entre 1987 e 2003 (IBGE, 2004a; IBGE, 2004b).

Entretanto, o fornecimento de energia e de macronutrientes do arroz pode variar, já que a composição do grão e de suas frações está sujeita a diferenças nas variedades e a 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 alta porcentagem de amido ($80 \text{ g } 100\text{g}^{-1}$) e baixos teores lipídico ($0,6 \text{ g } 100\text{g}^{-1}$), proteico ($6,5 \text{ g } 100\text{g}^{-1}$ a $7,1 \text{ g } 100\text{g}^{-1}$) e de fibra alimentar ($1,3 \text{ g } 100\text{g}^{-1}$). Embora não seja fonte rica em nutrientes inorgânicos, seu consumo diário pode contribuir significativamente na ingestão diária recomendada (IDR) de alguns nutrientes, principalmente considerando a ingestão diária brasileira, que é superior a 100 g (JULIANO, 1993; OKADA et al., 2007).

2.3.1 Carboidratos

O arroz é 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; GODDARD, 1986).

A presença de carboidratos na dieta evita que o organismo utilize suas reservas calóricas, bem como reservas proteicas para a obtenção de energia. Nesse sentido, em indivíduos com índice de massa corpórea (IMC) normal, a não ingestão de carboidratos implicará em deficiência proteica (VIEIRA; CARVALHO, 1999).

2.3.2 Proteínas

A proteína do arroz, embora em baixas quantidades, é classificada como as proteínas mais nobres encontradas entre os cereais. Além disso, a fração proteica 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 e triptofano. Quando combinado com fabáceas (leguminosas), como o feijão, rico em lisina e deficiente em metionina, ou com proteína animal, como leite ou carne, torna-se uma fonte proteica ainda mais valiosa (TREICHEL, 2006). Segundo Vieira, Santos e Sant'Ana (1999), o arroz é deficiente em lisina e relativamente rico em aminoácidos sulfurados, enquanto o feijão é deficiente em aminoácidos sulfurados e rico em lisina, sendo, então, considerados complementares.

O conteúdo proteico 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 em comparação à 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 boa disponibilidade de nitrogênio no solo, controle adequado de doenças e bom manejo de água, contribuem para o aumento do teor proteico do arroz (GOMEZ, 1979).

De maneira geral, o conteúdo proteico 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; GOFFMAN; KAUFFMAN, 1979).

2.3.3 Lipídeos

Segundo Okada et al. (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. Desse modo, estudos a

respeito da extração do óleo de farelo de arroz com o objetivo de utilizá-lo, principalmente, na fabricação de rações, já vêm sendo desenvolvidos. Estes estudos identificaram a presença do γ -orizanol no óleo de farelo de arroz, um composto nutracêutico com propriedades antioxidantes e anti-inflamatórias, capaz de inibir a biossíntese hepática do colesterol (PAUCAR-MENACHO et al., 2007).

2.3.4 Vitaminas e minerais

O arroz integral é 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 alternativa para evitar essas 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; MAGALHÃES JUNIOR, 2004).

2.4 Armazenamento

O armazenamento, de três a seis meses, é uma etapa pós-colheita do sistema de produção cujo objetivo principal é 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 produto armazenado constitui um sistema biológico no qual 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 a 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 pela temperatura, tanto dos compostos orgânicos como dos inorgânicos, destacando-se os importantes papéis exercidos pela água, gás carbônico e nitrogênio (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 e 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).

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 apresenta 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 à qualidade do arroz, a 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).

2.4.1 Insetos-praga de grãos armazenados

Em 2004, Gomes et al. estimavam que cerca de 20% dos grãos produzidos anualmente no país eram 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 quando os grãos são mais atacados por insetos-pragas de grãos armazenados e fungos de armazenamento.

Os grãos de arroz, quando armazenados, podem ser atacados por mais de trinta 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 que são os que têm capacidade de se alimentar de grãos íntegros e sadios 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 8 mm de comprimento (Figura 4), que vivem de seis a dez dias após atingirem a vida adulta. 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).

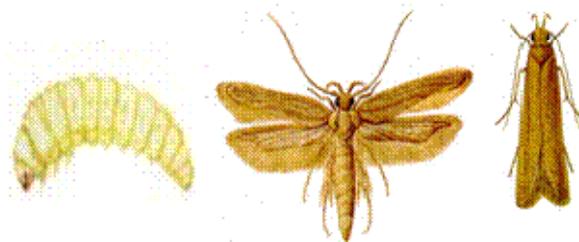


Figura 4 Fases de desenvolvimento da traça dos cereais (*Sitotroga cerealella*), lagarta e inseto adulto.

FONTE: www.tecnigran.com.br/html/sitotroga_cerealella.htm

Já os gorgulhos, *Sitophilus oryzae*, batizado por Linaeus, 1763 e *Sitophilus zeamais*, batizado por Motschulsky em 1855 (Coleóptera: Curculionidae), são besouros de aproximadamente 4 mm, com coloração escura, (Figura 5), que vivem por, aproximadamente, 140 dias. 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) e 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).

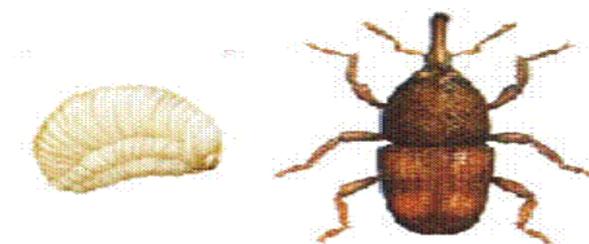


Figura 5 Fases de desenvolvimento da traça dos cereais (*Sitophilus oryzae*), ovo e inseto adulto.

FONTE: www.tecnigran.com.br/html/sitophilus_orysae_e_zeamais.htm

Esses insetos causam 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 causa danos aos grãos, interferindo no sabor e é reponsável pelo arroz que o consumidor classifica como “sem sabor”. Portanto, a infestação pelo gorgulho acarreta um prejuízo econômico para o produtor e para a indústria (GOMES; MAGALHÃES JUNIOR, 2004; ZANÃO, 2007).

O método convencional mais utilizado 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, tendo mais de 540 espécies de insetos sido declaradas resistentes, eles possuem alta periculosidade para os seres humanos e períodos de carência específicos que

nem sempre são respeitados (LORINI, 1998; VASSANACHAROEN 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; valores acima de 35°C e abaixo de 23°C, geralmente, são letais para os insetos. A umidade da massa de grãos entre 12% e 15% favorece o desenvolvimento da maioria dos insetos e valores abaixo de 10% inviabilizam 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*) (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, a 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).

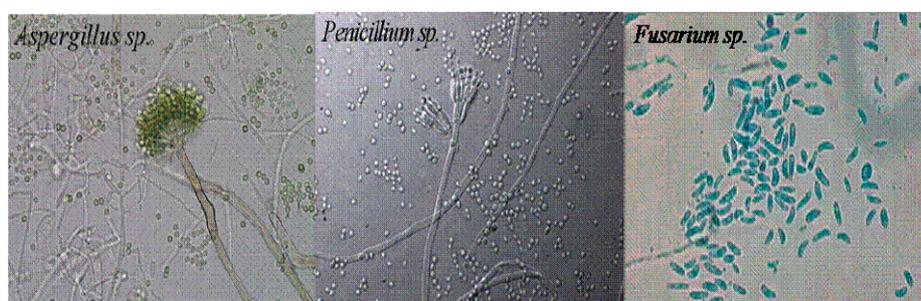


Figura 6 Principais fungos de armazenamento: *Aspergillus* sp., *Penicillium* sp. e *Fusarium* sp.
 Fonte: Sceidl (2006).

Os fungos, de forma especial os filamentosos, têm 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 é colhido com umidade entre 18% a 23% e seco até a umidade atingir, aproximadamente, 13% a 14% dependendo das condições de armazenamento e da própria cultivar (Manual, 2006).

Os fungos podem produzir substâncias tóxicas, tais como micotoxinas, que são metabólitos secundários tóxicos produzidos principalmente por fungos dos gêneros *Aspergillus*, *Penicillium* e *Fusarium*. Alguns desses compostos são potenciais agentes carcinogênicos a humanos e animais. As micotoxinas mais comumente encontradas são 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 (BIANCHINI, 2003; HUSSEIN; BRASEL, 2001; LIMA et al., 2000; PARK et al., 2005; SIMIONATO et al., 2003; 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 (GWINNER; HARNISCH; MÜCK, O, 2006). Segundo Lima

et al (2000), 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, tendo sido descobertas em 1960, quando 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 (HOELTZ et al., 2008; LIRA; ANDRADE, 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 (INTERNATIONAL COMMISSION ON MICROBIOLOGICAL SPECIFICATIONS FOR FOODS - 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 de 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, por meio da Resolução nº34 de 1976, publicada 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 às 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 máximo de $50\mu\text{g kg}^{-1}$ para ração animal, para as mesmas aflatoxinas (BRASIL, 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 irradiação é um processo no qual 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 (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 (^{60}Co), césio 137 (^{137}Cs), irídio 192 (^{192}Ir) e amerício 241 (^{241}Am) (FERRAZ, 1976).

O mecanismo de ação da radiação gama e raios X envolve os processos de: *i*) efeito fotoelétrico; *ii*) produção de pares e *iii*) efeito Compton, este último, 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 pode penetrar no alimento, causando pequenas e inofensivas mudanças moleculares que também ocorrem no ato de cozinhar, enlatar ou congelar. 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 (MELLO, 2000).

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, dependendo da dose de irradiação empregada (CONSELHO REGIONAL DOS TÉCNICOS EM RADIOLOGIA – CRTR-06, 1999).

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, o 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 (WORCMAN-

BARNINKA; LANGRAF, 2003 citado por SOUZA, 2006).

Desse modo, a irradiação de alimentos é o tratamento do alimento por energia, expondo-o a uma quantidade controlada de radiação ionizante, o que implica em 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.

O'Beirne (1989) descreve que, no processo de irradiação de alimentos, apenas os raios gama entram em contato com o alimento, sem qualquer risco de contaminação radioativa. As doses de radiação são quantificadas em termos de energia absorvida pelo produto irradiado. A dose de 1 quilogray (kGy) corresponde à absorção de 1 quilojoule (kJ) por quilograma de produto irradiado (NEVES; MANZIONE; VIEITES, 2002).

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 (1kGy a 10kGy), eficiente na redução do número de microrganismos decompositores, redução ou eliminação de patógenos não formadores de esporos e irradiação de alta dose (acima de 10 kGy), capaz de reduzir o nível de microrganismos dos alimentos, ao ponto da esterilidade (ICGFI, 1999; FAO, 1999).

Além disso, os custos estimados dos benefícios da irradiação comercial como tratamento demonstraram ser competitivos e, em muitos casos, mais baratos, dependendo do tipo de produto, da quantidade e da distância do campo de produção até a fonte irradiadora, que os métodos de fumigação convencionais e outros tratamentos físicos e térmicos (CGIIA, 1991; NASCIMENTO, 1992; NEVES; MANZIONE; VIEITES, 2002).

Os custos líquidos da irradiação oscilam entre 10 e 15 dólares americanos por tonelada (aproximadamente 40 reais), no caso da aplicação de uma dose baixa (até 1 kGy), como, por exemplo, para inibir a germinação em batatas e cebolas ou retardar o amadurecimento de frutos; no caso de aplicação de uma dose alta (acima de 10 kGy), como, por exemplo, para garantir a qualidade higiênica de algumas especiarias, variam entre 100 e 250 dólares americanos por tonelada (aproximadamente 690 reais) (MORRISSON; ROBERTS, 1990; NEVES; MANZIONE; VIEITES, 2002).

Em estudos anteriores foi demonstrado que a irradiação de alimentos, assim como outras técnicas de processamento de alimentos, induz 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 (KILCAST, 1994; WIENDL, 1984).

Entretanto, estudos recentes com irradiação gama de grãos de arroz mostraram o contrário. Antes e depois de serem irradiadas, por diferentes doses de ^{60}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 (GUIMARÃES, 2009; ZANÃO, 2007).

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

Do 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). Assim, a irradiação gama (^{60}Co) é benéfica para a indústria de alimentos na conservação e na proteção dos alimentos, tanto para aumentar o tempo de prateleira quanto para garantir a segurança alimentar, além de garantir o valor econômico do produto.

A irradiação pode funcionar na interrupção dos processos orgânicos que levam o alimento ao apodrecimento. Entretanto, em frutos que já se encontrem em estado de senescência avançado, especialmente no caso de frutos climatérios, o processo de apodrecimento é acelerado pela irradiação. A diminuição da firmeza dos frutos encontrada, quando submetidos à irradiação, é justificada, por Chitarra e Chitarra (1990), pela degradação das moléculas de amido em açúcares, degradação da parede celular e solubilização de substâncias pécticas (SOUZA et al., 2009a).

Segundo (GUIMARÃES, 2009; LEE et al., 2007; ROY; GHOSH; CHATTERJEE, 1991; SIRISOONTARALAK; NOOMHORM, 2006; ZANÃO, 2007), a irradiação dos alimentos acarreta o escurecimento do mesmo, proporcionando maior ênfase a sua cor característica. Além disso, os autores constataram que a alteração e a intensidade da cor dos alimentos irradiados aumentam à medida que aumentam as doses de radiação.

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 aceitação do uso desses alimentos (YANG, 1998).

No Brasil, embora a aceitação de produtos irradiados ainda seja uma incógnita devido aos poucos estudos realizados e à falta de informação da

população (ORNELLAS et al., 2006), a irradiação mostrou-se satisfatória no controle de insetos e fungos em arroz (GUIMARÃES, 2009; ZANÃO, 2007) e amendoim (PRADO et al., 2006), além de aumentar a vida de prateleira de frutas, como caju (SOUZA et al., 2009), mamão (SOPRANI et al., 2005) e nectarina (NEVES; MANZIONE; VIEITES, 2002), e de legumes, raízes e tubérculos, evitando o brotamento, além de carnes (SOUZA; ARTHUR; CANNIATTI-BRAZACA, 2009).

2.5.2 Histórico

A irradiação ionizante vem sendo reconhecida, 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 nos Estados Unidos e na 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 (ICGFI, 1999; FAO, 1999).

Com o avanço das pesquisas, entre os anos de 1950 e 1960, e a corrida desenfreada por patentes, tornou-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 a segurança alimentar (ICGFI, 1999; FAO, 1999).

Esta união contribuiu para que, em 1963, a U.S. Food and Drug Administration, ou FDA, aprovasse bacon esterilizado por radiação ionizante

para consumo humano. Outra contribuição importante do Programa em parceria com a National Aeronautics and Space Administration (NASA) foi a introdução de alimentos irradiados aos astronautas americanos do programa espacial Apollo em 1967. Em 1969, o homem foi à lua, consumindo alimentos irradiados (ICGFI, 1999; FAO, 1999).

Em 1980, um comitê formado pela Organização das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação (FAO), a Organização Mundial de Saúde (OMS) e a Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA) concluiu 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 (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS; INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY - IAEA; WORLD HEALTH ORGANIZATION - WHO, 1996).

Nesse 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 ^{60}Co e ^{137}Cs , limitada em 1,33 MeV e 0,66 MeV (megaeletron volts), respectivamente (ICGFI, 1999; FAO, 1999).

No Brasil, em 2001, foi criada uma legislação sobre irradiação de alimentos. Trata-se de uma resolução da Agência Nacional de Vigilância Sanitária, Anvisa, 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 àquela 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, essa informação deve ser apresentada na lista de ingredientes. No caso de produto irradiado, a embalagem deve ostentar o símbolo internacional da radiação ionizante, denominado “radura” (Figura 7). Entretanto, essa resolução apenas recomenda essas informações e não obriga ou prevê punições para os fabricantes, o 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 por meio 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 os íons formados por efeito primário são muito reativos, podendo interagir entre si ou com constituintes do alimento. Essas reações ocorrem rapidamente e são denominadas de efeitos secundários, responsáveis por 80% dos efeitos provocados pela radiação (SOUZA, 2006).

Além disso, a formação de radicais livres acontece naturalmente no metabolismo humano e em processos comuns do dia a dia, como a simples tostadura de um pão. O excesso de radicais livres no organismo pode provocar 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 dessas moléculas está diretamente ligado aos problemas causados pelas mesmas. Ou seja, radicais livres disponíveis por muito tempo acarretarão maiores problemas à saúde (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 esse 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 tem sido o foco de muitas pesquisas (GUIMARÃES, 2009; YU; WANG, 2007). As substâncias resultantes dessas reações são denominadas produtos radiolíticos e alguns deles, como 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. Consequentemente, sua ingestão não causa nenhum dano ou efeito toxicológico (ICGFI, 1999; FAO, 1999).

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 micro-ondas 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).

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

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. Resolução RDC-nº 12, de 12 de janeiro de 2001. Estabelece padrões microbiológicos sanitários para alimentos. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, 14 jan. 2001. Disponível em: <http://www.anvisa.gov.br/legis/resol/12_01rdc.htm>. Acesso em: 25 jan. 2009.
- AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. Resolução RDC-nº 21, de 26 de janeiro de 2001. Regulamento Técnico para Irradiação de Alimentos. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, 29 jan. 2001. Disponível em: <http://www.anvisa.gov.br/legis/resol/21_01rdc.htm>. Acesso em: 25 jan. 2009.
- ALVAREZ, M. et al. Desinfestación del frijol de soja por irradiación. **Alimentaria**, Madrid, v. 34, n. 276, p. 39-41, 1996.
- ALVAREZ, M.; FRAGA, R.; ANDÚJAR, G. Control de insectos en la harina de soja por irradiación. **Alimentaria**, Madrid, v. 34, n. 276, p. 43-46, 1996.
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Compendium of methods for the microbiological examination of foods**. 42th ed. Washington, 2001.
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Compendium of methods for the microbiological examination of foods**. 47th ed. Washington, 2006.
- ARRUDA, F. L. A irradiação de alimentos no Brasil. **NotasIQ**, Piracicaba, v. 7, n. 7, p. 4, 1999.
- ARTHUR, V. Controle de insetos e pragas por radiações ionizantes. **O Biológico**, São Paulo, v. 59, n. 1, p. 77-79, jun. 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. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, London, v. 59, n. 1, p. 53-58, May 1992.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL AGRICULTURAL CHEMISTS. **Official methods of the association of the agricultural chemists**. 17th ed. Washington, 2000. v. 2.

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

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

BAO, J.; AO, Z.; JANE, J. Characterization of physical properties of flour and starch obtained from gamma-irradiated white rice. **Starch**, Weinheim, v. 57, n. 10, p. 480-487, Oct. 2005.

BARBER, S. Milled rice and changes during aging. In: HOUSTON, D. F. **Rice: chemistry and technology**. Saint Paul: AACC, 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. (Comunicado Técnico, 84).

BATISTA, A. S. et. al. Formas termolisada e viva de leveduras na redução de toxicidade causada por aflatoxinas. **Scientia agricola**, Piracicaba, 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. 103 p. Dissertação (Mestrado em Microbiologia Agrícola e do Meio Ambiente) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Faculdade de Agronomia, Porto Alegre, 2003.

BRAGANTINI, C.; VIEIRA, E. H. N. Secagem, armazenamento e beneficiamento. In: SANTOS, A. B. dos; RABELO, R. R. **Cultivo do arroz irrigado no Estado do Tocantins**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2004. (Sistemas de Produção, nº. 3).

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. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, 17 fev. 2009. Seção 1, p. 3.

BRASIL. Portaria nº 183, de 21, de março de 1996. Adota Regulamento Técnico MERCOSUL sobre seus limites máximos admissíveis para aflatoxinas no leite, amendoim e milho. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, de 25 mar. 1996. Seção 1, p. 42

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] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, 21 nov. 1988. Seção 1, p. 22531.

BURGT, Y. E. M. van der. et al. Structural studies on methylated starch granules. **Starch**, Weinheim, v. 52, n. 2/3, p. 40-43, Apr. 2000.

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

CASTRO, E. da M. de. et al. **Qualidade de grãos em arroz**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 1999. 30 p. (Circular Técnica, 34).

CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. **Pós-colheita de frutos e hortaliças**. Lavras: ESAL; FAEPE, 1990. 320 p.

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

COELHO, C. S. P.; BADIALE-FURLONG, E.; ALMEIDA, T. L. Migração de micotoxinas durante a parboilização do arroz. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 1, n. 2, p. 39-44, jun. 1999.

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. **A irradiação de alimentos: ficção e realidade**. Rio de Janeiro, 1990. Apostila.

CONSELHO REGIONAL DOS TÉCNICOS EM RADIOLOGIA. **Informativo CRTR-6**, Porto Alegre, v. 1, n. 1, 1999.

CONSELHO REGIONAL DOS TÉCNICOS EM RADIOLOGIA. **Informativo CRTR-6**, Porto Alegre, v. 1, n. 2, 1999.

CONSELHO REGIONAL DOS TÉCNICOS EM RADIOLOGIA. **Informativo CRTR-6**, Porto Alegre, v. 1, n. 3, 1999.

CORNÉLIO, V. M. O. et al. Fungos associados a grãos de arroz. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA CADEIA PRODUTIVA DO ARROZ, 2.; REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE ARROZ, 8., 2006, Brasília. **Anais...** Santo Antônio de Goiás: EMBRAPA Arroz e Feijão, 2006. CD-ROM.

CORRÊA, B. Fungos toxigênicos: panorama nacional. In: ENCONTRO NACIONAL DE MICOTOXINAS E SIMPÓSIO DE ARMAZENAMENTO QUALITATIVAS DE GRÃOS DO MERCOSUL, 9., 1998, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: V. M. Scussel, 2000. p. 162-168.

CRUSCIOL, C. A. C. et al. Rendimento de benefício e de grãos inteiros em função do espaçamento e da densidade de semeadura do arroz de sequeiro. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 56, n. 1, p. 47-52, jan. 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. et al. Ionizing radiation changes the electronic properties of melanin and enhances the growth of melanized fungi. **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**, New York, v. 47, n. 11/12, p. 1621-1628, Nov./Dec. 1996.

DOESTHALE, Y. G. et al. Effect of milling on mineral and trace element composition of raw and parboiled rice. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, London, v. 30, n. 1, p. 40-46, Jan. 1979.

EGMOND, H. P. van; JONKER, M. A. **Worldwide regulations for mycotoxins in food and feed in 2004**. Rome: FAO, 2004.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Origem e história do arroz**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2009. Disponível em: <www.cnpaf.embrapa.br/arroz/historia.htm>. Acesso em: 25 abr. 2009.

FERRAZ, E.S.B. **Determinação da Densidade de Madeiras por Atenuação de Radiação Gama de Baixa Energia**. Scientia Forestalis - Instituto de Pesquisa e Estudos Florestais, n.12, p.61-68, jun.1976. Piracicaba/SP.

FERREIRA, C. M. et al. **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.

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

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

FONSECA, J. R.; CASTRO, E. da M.; MORAIS, O. P. Maturação pós-colheita de cultivares de arroz (*Oryza sativa* L.) de terras altas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA CADEIA PRODUTIVA DO ARROZ, 2.; REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE ARROZ, 8., 2006, Brasília. **Anais...** Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2006. p. 1-4.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Bases técnicas para la legislación referente a los alimentos irradiados**. Ginebra, 1999. 62 p.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Facts about food irradiation**. Arlington, 1999. Disponível em: <<http://www.iaea.org/icgfi/documents/foodirradiation.pdf>>. Acesso em: 27 mar. 2009.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Rice around the world**. Rome, 2004. Disponível em: <<http://www.fao.org/rice2004>>. Acesso em: 11 mar. 2010.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Statistical databases**. Rome, 2006. Disponível em: <<http://www.fao.org>>. Acesso em: 25 jun. 2009.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **World aquaculture production**: statistic. Rome, [200-]. Disponível em: <<ftp.fao.org/fi/stat/summary/a-1.pdf>>. Acesso em: 18 jul. 2009.

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

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

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

FRANCO, D. F. et al. Fungos associados a sementes de arroz irrigado no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v. 7, n. 3, p. 235-236, set./dez. 2001.

FUNDAÇÃO CARGILL. **Culturas de Tuberosas Amiláceas Latino-Americanas**: propriedades gerais do amido. São Paulo, 2002. 540 p.

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

GALLO, D. et al. **Entomologia agrícola**. Piracicaba: FEALQ, 2002.

GALLO, D. et al. **Manual de entomologia agrícola**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1988. 649 p.

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, MG, v. 27, n. 2, p. 105-111, 2002.

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

GOMEZ, K. A. Effect of environment on protein and amylose content of rice. In: WORK-SHOP ON CHEMICAL ASPECTS OF RICE GRAIN QUALITY, 1979, Los Baños. **Proceedings...** Los Baños: IRRI, 1979. p. 91-111.

GRUPO CONSULTIVO INTERNACIONAL SOBRE IRRADIAÇÃO DE ALIMENTOS. **Fatos sobre irradiação de alimentos**. Belo Horizonte: CDTN, 1999. 46 p.

GRUPO CONSULTIVO INTERNACIONAL SOBRE IRRADIAÇÃO DE ALIMENTOS. **Fatos sobre irradiação de alimentos**. Santos, 1999. 46 p

GRUPO CONSULTIVO INTERNACIONAL SOBRE IRRADIAÇÃO DE ALIMENTOS. **A irradiação de alimentos: ficção ou realidade**. Roma: GCHIA; FAO; AIEA, 1991. 38 p.

GUIMARÃES, I. C. O. **Efeito da irradiação gama (co-60) na qualidade e segurança do arroz**. 2009. 115 p. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 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**. 2000. 81 p. Tese (Doutorado em Energia Nuclear na Agricultura) - Universidade de São Paulo, Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Piracicaba, 2000.

GWINNER, J.; HARNISCH, R.; MÜCK, O. **Manual sobre a prevenção das perdas de grãos depois da colheita**. Eschborn: GTZ, 1997. Disponível em: <<http://www.fao.org/inpho/content/documents/vlibrary/gtzhtml/x0065p/X0065POc.htm>>. Acesso em: 10 mar. 2010.

HARA, T. Armazenamento. In: VIEIRA, N. R. de A.; SANTOS, A. B. dos; SANT'ANA, E. P. **A cultura do arroz no Brasil**. São Antonio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 1999. p. 540-549.

HOELTZ M. et al. Micobiota e micotoxinas em amostras de arroz coletadas durante o sistema estacionário de secagem e armazenamento. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 3, P. 803-808, maio 2009.

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

HOUSTON, D. F. **Rice: chemistry of technology**. Saint Paul: AACC, 1972. 517p.

HUSSAINI, A. M. et al. Fungi and some mycotoxins contaminating rice (*Oryza sativa*) in Niger State, Nigéria. **African Journal of Biotechnology**, Nairobi, v. 6, n. 2, p. 99-108, Jan. 2007.

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

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz: métodos químicos e físicos para análise de alimentos**. 3. ed. São Paulo: IMESP, 1985. v. 1.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa de orçamentos familiares 2002-2003: análise da disponibilidade domiciliar de alimentos e estado nutricional no Brasil**. Rio de Janeiro, 2004a.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa de orçamentos familiares 2002-2003: aquisição domiciliar per capita – Brasil e grandes regiões**. Rio de Janeiro, 2004b.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produção agrícola municipal: cereais, leguminosas e oleaginosas – 2006**. Rio de Janeiro, 2007.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produção agrícola municipal: cereais, leguminosas e oleaginosas – 2007**. Rio de Janeiro, 2008.

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

JAY, M. J. **Modern food microbiology: mycotoxins**. 5th. ed. New York: Chapman and Hall, 1996.

JENNINGS, P. R.; GOFFMAN, W. R.; KAUFFMAN, H. E. **Rice improvemen.** Los Baños: IRRI, 1979.

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

JULIANO, B. O. Polysaccharides, proteins, and lipids of rice. In: _____. **Rice: chemistry and technology.** 2nd. ed. Saint Paul: American Association of Cereal Chemists, 1985b

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

JULIANO, B. O. **Rice in human nutrition.** Rome: FAO, 1993.

JULIANO, B. O. Rice starch: production, properties and uses. In: WHISTLER, R. L. et al. (Ed.). **Starch: chemistry and technology.** 2nd. ed. Orlando: Academic, 1984. p. 507-527.

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, n. 1, p. 35-41, Mar. 1986.

JULIANO, B. O.; PASCUAL, C. G. **Quality characteristics of milled rice grown in different countries.** Los Baños: IRRI, 1980. 24 p.

KENNEDY, G.; BURLINGAMEB, B.; NGUYEN, N. Nutrient impact assessment of rice in major rice-consuming countries. **International Rice Commission Newsletter**, Bangkok, v. 51, p. 33-42, 2002.

KILCAST, D. Effect of irradiation on vitamins. **Food Chemistry**, London, v. 49, n. 2, p. 157-164, 1994.

LACEY, J. Factors affeting mycotoxins production. In: STEYN, P. S.; VLEGGGAAR, R. (Ed.). **Mycotoxins and phycotoxins.** New York: Elsevier, 1986. p. 65-76.

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, Feb. 1995.

LEAL, A. S. et al. 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. et al. The effect of irradiation temperature on the non-enzymatic browning reaction in cooked rice. **Radiation Physics and Chemistry**, Oxford, v. 76, n. 5, p. 886-892, May 2007.

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

LIRA, P. I. C.; ANDRADE, S. L. L. S. Epidemia de beribéri na Maranhão, Brasil. **Cadernos de Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 24, n. 6, p. 1202-1203, jun. 2008.

LOPES, S. I. G. et al. Resposta da cultura do arroz irrigado à aplicação de calcário. In: REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 21., 1995, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: IRGA, 1995e. p.169-171.

LORINI, I. **Controle integrado de pragas de grãos armazenados**. Passo Fundo: 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**. 2nd. ed. New York: V. N. 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**. 2005. 63 f. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia Agrícola) - Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2005.

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

MARCHEZAN, E. Grãos inteiros em arroz. **Lavoura Arrozeira**, Porto Alegre, v. 44, n. 398, p. 3-8, set. 1991.

MARTINEZ, C.; CUEVAS-PEREZ, F. **Evaluación de la calidad culinária y molinera del arroz**. 3rd. ed. Cali: CIAT, 1989. 75 p.

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**. São Carlos: Embrapa Instrumentação Agropecuária, 1996. (Circular Técnica, 2).

MELLO, L. C. Alimentos irradiados. **Revista Nutriweb**, Campinas, v. 2, n. 2, abr./jun. 2000. Disponível em: <<http://www.nutriweb.org.br/n0202/irradiados.htm>>. Acesso em: 23 mar. 2009.

MORRISSON, R. M.; ROBERTS, T. **Cost variables for food irradiators in developing countries: food irradiation for developing countries in Africa**. Vienna: IAEA/TECDOC, 1990. 576 p.

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. **Proceedings...** Los Baños: IRRI, 1979. p. 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. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, London, v. 76, n. 2, p. 250-256, Feb. 1998.

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

NAVES, M. M. V. et al. 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, 1977. v. 2, 839 p.

NEVES, L. C.; MANZIONE, R. L.; VIEITES, R. L. Radiação gama na conservação pós-colheita da nectarina (*Prunus persica* Var. *Nucipersica*) frigo conservada. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 24, n. 3, p. 676-679, dez. 2002.

NUNES, I. L. et al. Arroz comercializado na região sul do Brasil: aspectos micotoxicológicos e microscópicos. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 23, n. 2, p. 190-194, maio/ago. 2003.

O'BEIRNE, D. Irradiation of fruits and vegetables: applications and issues. **Professional Horticulture**, Oxford, v. 3, p. 12-19, 1989.

OKADA, I. A. et al. Validação e aplicação de metodologia analítica na determinação de nutrientes inorgânicos em arroz polido. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 27, n. 3, p. 492-497, jul./set. 2007.

ORNELLAS, C. B. D. et al. Atitude do consumidor frente à irradiação de alimentos. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 26, n. 1, p. 211-213, jan./mar. 2006.

PARIZZI, F. C. **Avaliação da qualidade do arroz polido durante o armazenamento**. 1993. 64 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 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**, London, v. 21, n. 1, p. 70-75, Jan. 2004.

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

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

PAUCAR-MENACHO, L. M. et al. Refino de óleo de farelo de arroz (*Oryza sativa* L.) em condições brandas para preservação do γ -orizanol. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 27, p. 45-53, ago. 2007. Suplemento.

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

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

PEREIRA, J. et al. Efeito da armazenagem sobre o beneficiamento do arroz (*Oryza sativa L.*). **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, MG, v. 23, n. 1, p. 28-32, jun. 1998.

PITT, J. I.; HOCKING, A. D. **Fungi and food spoilage**. 2nd. ed. Maryland: Aspen, 1999. 593 p.

PIVA, C. P. et al. Análise físico-química de grãos de arroz com diferentes níveis de brunimento no processo de beneficiamento. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA CADEIA PRODUTIVA DO ARROZ, 2.; REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE ARROZ, 8., 2006, Brasília. **Anais...** Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2006. p. 1-4.

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

PRADO, G. et al. Efeito da irradiação gama (^{60}Co) na frequência fúngica de amendoim *in natura* em função do tempo de prateleira. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 30, n. 5, p. 930-936, set./out. 2006.

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**. 5th. ed. New York: Worth, 1992.

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, ago. 2003.

RODRÍGUEZ JORGE, M.; GARZÓN, E. S. Control mediante radiaciones gamma de flora fungica presente en alimentos de consumo humano y animal. **Alimentaria**, Madrid, v. 95, n. 260, 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, n. 6, 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. 1118 p.

SANTURIO, J. M. Micotoxinas e micotoxicoses na avicultura. **Revista Brasileira de Ciência Avícola**, Campinas, v. 2, n. 1, p. 1-2, jan./abr. 2000.

SANZ, E. **Irradiação de alimentos pode aumentar exportações de frutas brasileiras**. [S.l.:s.n.], 2009. Disponível em: <http://www.radiobras.gov.br/ct/1996/materia_270996_12.htm>. Acesso em: 11 abr. 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).

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

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

SEIDL, M. Industrial uses of fungi. **The Environmental Reporter**, Stratford, v. 4, n. 9, Sept. 2006. Disponível em: <www.emlab.com/s/sampling/env-report-09-2006.html>. Acesso em: 12 abr. 2009.

SEIDL, Michelle. Industrial Uses of Fungi. In: **The Environmental Reporter**. September 2006 Volume 4 | Issue 9. Disponível em: <<http://www.emlab.com/s/sampling/env-report-09-2006.html>> Acesso em 05 de abril de 2009.

SILVA, C. A. S. **Avaliação da adesão bacteriana em polímeros empregados na indústria de alimentos irradiados com Cobalto 60**. 2006. 56 p. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2006.

SIMIONATO, E. M. R. S. et al. Ocorrência de ocratoxina A e aflatoxinas em arroz. **Revista do Instituto Adolfo Lutz**, São Paulo, v. 62, n. 2, p. 123-130, 2003.

SIMPSON, J. E. et al. **Quality evaluation studies of foreign and domestic rices**. Washignton: USDA, 1965. 183 p.

SIQUEIRA, A. A. Z. C. **Efeitos da irradiação e refrigeração na qualidade e no valor nutritivo da Tilápia**. 2001. 154 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2001.

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

SOARES, N. de F. F. et al. 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, jul. 1993.

SOPRANI, J. et al. **Efeito da radiação gama no amadurecimento dos frutos de mamão**. 2005. 4 p. Disponível em: <http://www.fundagres.org.br/downloads/pi-mamao/2005_fisiologia_pos_colheita_11.pdf>. Acesso em: 18 mar. 2009.

SOUZA, A. R. M. et al. Efeito da radiação gama e do armazenamento na qualidade de pedúnculos de caju (*Anacardium occidentale* L.). **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, n. 3, p. 848-854, maio/jun. 2009.

SOUZA, A. R. M.; ARTHUR, V.; CANNIATTI-BRAZACA, S. G. Influência da radiação gama e de diferentes dietas na qualidade da carne de cordeiros Santa Inês. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 29, n. 4, p. 709-715, out./dez. 2009.

SOUZA, A. S. **Efeitos da irradiação na composição e propriedades funcionais da soja**. 2006. 99 f. Tese (Doutorado em Alimentos e Nutrição) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia de Alimentos, Campinas, 2006.

SOUZA, A. S.; NETTO, F. M. Influência da irradiação e do armazenamento nas características estruturais da proteína de soja. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, p. 36-43, jan. 2006. Disponível em: <http://www.ital.sp.gov.br/bj_old/brazilianjournal/ed_especial_b/cor-06.pdf>. Acesso em: 23 abr. 2009.

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

TAIPINA, M. S. et al. Novas tecnologias: alimentos funcionais e a irradiação de alimentos. **Higiene Alimentar**, São Paulo, v. 17, n. 112, p. 31-34, set. 2003.

TANAKA, K. et al. Mycotoxins in rice. **International Journal of Food Microbiology**, Amsterdam, v. 119, n. 1/2, p. 59-66, Oct. 2007.

TANAKA, M. A. S. Fungos associados a sementes de arroz com descoloração de grãos em Minas Gerais. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, v. 8, n. 2, p. 85-90, maio 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**. Porto Alegre: Abiap, 2006. Disponível em: <<http://www.abiap.com.br/>>. Acesso em: 10 mar. 2010.

TSAI, D. et al. Radiação por feixe de elétrons e sua aplicação como agente esterilizante de microrganismos em substrato turfoso. In: INTERNATIONAL NUCLEAR ATLANTIC CONFERENCE, 2005, Santos. **Anais...** São Paulo: ABEN, 2005. p. 1-6.

UNITED STATES OF AMERICA. United States Department of Agriculture. **USDA nutrient database for standard reference**. Beltsville, 2009. Disponível em: <<http://www.nal.usda.gov/fnic/foodcomp/>>. Acesso em: 18 jan. 2010.

UNIVERSITY OF PHILIPPINES. **Rice supply/utilization balances, by country and geographical region, selected years**. Los Baños: International Rice Research Institute, [200-]. Disponível em: <<http://www.irri.org/science/ricestat/pdfs/Table%2017.pdf>> Acesso em: 15 maio 2009.

URBAIN, W. M. **Food irradiation**. London: Academic, 1986.

VASSANACHAROEN, P. et al. Control *Sitophilus orizae* (L.) by radio frequency heat treatment as alternative phytosanitary processing in milled rice. In: CONFERENCE ON INTERNATIONAL AGRICULTURAL RESEARCH FOR DEVELOPMENT, 2007, WITZENHAUSEN. **Proceedings...** WITZENHAUSEN: UNIVERSITY OF KASSEL-KITZENHAUSEN AND UNIVERSITY OF GÖTTINGEN, 2007. p. 1-4.

VAUGHAN, C. E.; GREGG, B. R.; DELOUCHE, J. C. **Beneficiamento e manuseio de sementes**. Brasília: Ministério da Agricultura; AGIPLAN, 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, N. R. de A.; SANTOS, A. B. dos; SANT'ANA, E. P. **A cultura do arroz no Brasil**. São Antonio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 1999. 633 p.

WAIGH, T. A.; HOPKINSON, I.; DONALD, A. M. Analysis of the native structure of starch granules with X-ray microfocuss diffraction. **Macromolecules**, Easton, v. 30, n. 13, p. 3813-3820, June 1997.

WALDER, J. M. M. et al. **Pesquisa de opinião irradiação dos alimentos e outros materiais**. Piracicaba: Cena, 2001. 32 p.

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**. 2nd. ed. Westport: University of California, 1991. v. 2, p. 89-119.

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

WIENDL, F. M. et al. Longevidade e reprodução de *cryptolestes pusillus*(schoenherr) (col., cucujidae) após irradiação gama. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 51, n. 2, p. 222-225, maio/ago. 1994.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Diet, nutrition and the prevention of chronic diseases**. Geneva, 2003. 149 p. (WHO Technical Report Series, 916).

WU, D. et al. Effect of gama irradiation on starch viscosity and physicochemical properties of different rice. **Radiation Physics and Chemistry**, Oxford, v. 65, n. 1, p. 29-86, Aug. 2002.

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**, Philadelphia, v. 133, n. 3, p. 744-751, Mar. 2003.

YANG, J. S. Effects of gamma irradiation on the flavor composition of food commodities. **Advances in Experimental Medicine and Biology**, New York, v. 434, p. 277-284, 1998.

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.

YOKOYAMA, L. P.; RUCATTI, E. G.; KLUTHCOUSK, I. J. Economia da produção: conjuntura, mercados e custos. In: VIEIRA, N. R. de A.; SANTOS, A. B. dos; SANT'ANA, E. P. **A cultura do arroz no Brasil**. São Antonio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 1999. p. 36-57.

YOUNG, V. R.; PELLETT, P. L. Plant proteins in relation to human protein and amino-acid nutrition. **American Journal of Clinical Nutrition**, New York, v. 59, n. 5, p. 1203-1212, May 1994.

YU, Y.; WANG, J. Effect of γ -ray irradiation on starch granule structure and physicochemical properties of rice. **Food Research International**, Amsterdam, v. 40, n. 2, p. 297-303, Mar. 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.** 2007. 71p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". Piracicaba, 2007.

ZANÃO, C. F. P. et al. Avaliação das características sensoriais do arroz comum (*Oryza sativa l.*) irradiado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA CADEIA PRODUTIVA DO ARROZ, 2.; REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE ARROZ, 8., 2006, Brasília. **Anais...** Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2006. CD-ROM.

ZULETA, A. et al. Effect of gamma irradiation on the functional and nutritive properties of rice flours from different cultivars. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 83, n. 1, p. 76-79, Feb. 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 à sua importância, a qualidade dos grãos seja fator preponderante para comercialização e consumo, o presente trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar a qualidade tecnológica, química e sensorial de quatro cultivares de arroz, BRSMG Caravera, BRSMG Relâmpago, BRS Primavera e BRSMG Seleta. Foram realizadas as análises referentes ao beneficiamento, à renda do benefício e teste de cocção, composição centesimal e análise sensorial das quatro cultivares de arroz. A cultivar BRS Primavera obteve melhor rendimento de grãos inteiros, enquanto a cultivar BRSMG Seleta apresentou melhores níveis de proteína, fibra e cinzas. Já as cultivares BRSMG Caravera e BRSMG Relâmpago apresentaram melhor rendimento de panela e menor tempo de cocção. Para os consumidores, na análise sensorial, as cultivares BRS Primavera e BRSMG Seleta foram as mais aceitas, no teste de aceitação. Pode-se afirmar que, embora todas as cultivares tenham apresentado resultados esperados de composição centesimal, cocção e análise sensorial, no geral, a cultivar BRSMG Seleta foi a melhor, do ponto de vista nutricional e sensorial.

ABSTRACT

Rice is the staple food most consumed by the populations in the world. In addition to representing a source of nutrients necessary to the good functioning of the human organism, it plays an important economic role. Considering that due to its importance, grain quality is a preponderant factor for commercialization and consumption, the present work was conducted with the objective of evaluating the technological chemical and sensory quality of four rice cultivars, namely, BRSMG Caravera, BRSMG Relâmpago, BRS Primavera and BRSMG Seleta. Analyses were performed concerning processing, the yield of the processing and the cooking test; the chemical composition and the sensorial analysis of four rice cultivars. Cultivar BRS Primavera obtained improved yield of whole grains, whereas cultivar BRSMG Seleta presented best levels of protein, fiber and ashes. However, cultivars BRSMG Caravera and BRSMG Relâmpago presented highest pan yield and shortest cooking time. For the consumers, in the sensorial analysis, cultivars BRS Primavera and BRSMG Seleta were the most accepted in the acceptance test. One can state that, although, all the cultivars have presented expected results of centesimal composition, cooking and sensorial analysis, in general, cultivar BSMG Seleta was the best from the nutritional and sensorial viewpoint.

1 INTRODUÇÃO

O arroz é composto por casca, farelo, gérmen e endosperma amiláceo, este último representa a parte do grão que normalmente é consumido na forma de arroz branco brunido ou polido. O arroz integral constitui-se do grão apenas sem a casca e por isso é mais nutritivo, também é consumido, porém numa escala menor que o arroz branco.

Entretanto, a composição do grão e de suas frações está sujeita às diferenças nas variedades, tratamentos, variações ambientais, de manejo, de processamento e de armazenamento dos grãos. 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

Para que o arroz seja consumido, ele é submetido ao beneficiamento, ou seja, ao descascamento ou descascamento e brunição, podendo ainda ser polido, à classificação, empacotamento, armazenamento, transporte e comercialização.

A renda do benefício, ou seja, o percentual de arroz inteiro e quebrado beneficiado ou beneficiado e brunido é um dos mais importantes critérios da qualidade do arroz sendo fator preponderante na determinação de seu preço de mercado. Outros critérios importantes são o rendimento dos grãos, que se refere ao percentual de grãos inteiros oriundos do beneficiamento e o comportamento culinário referente à capacidade de cocção e expansão do grão.

Numerosos fatores afetam o rendimento total e de grãos inteiros no beneficiamento. Alguns deles são a presença de matéria estranha e de impurezas e 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.

No caso do arroz, algumas características de qualidade são destacadas pelos testes de cocção, os quais compreendem vários testes, simulando a cocção caseira, normalmente realizados para se ter uma ideia 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.

Sob essa perspectiva, considerando que as características determinantes da qualidade dos grãos de arroz têm reflexos diretos no valor de mercado do grão, bem como na sua aceitação pelo consumidor, objetivou-se, com a realização deste trabalho:

- a) avaliar a qualidade tecnológica de diferentes cultivares de arroz, referente ao beneficiamento, à renda do benefício e às características de cocção;
- b) determinar a composição centesimal e o valor calórico de diferentes cultivares de arroz e;
- c) avaliar a aceitação 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, no Departamento de Agricultura, ambos da Universidade Federal de Lavras (UFLA) e na Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais/Unidade Regional Epamig Sul de Minas (Epamig/URESM/ Lavras).

2.2 Preparo e caracterização da matéria-prima

2.2.1 Obtenção da matéria-prima

Foram estudadas quatro cultivares de arroz, sendo três fornecidas pela Epamig Sul de Minas/Lavras e uma pelo Sindicato das Indústrias Arrozeiras de Minas Gerais (Sindarroz), todas do tipo longo fino. Duas variedades cultivadas em terras altas, safra 2007/2008, conhecidas como arroz de sequeiro, identificadas como BRSMG-Relâmpago (grãos com 7,91mm de comprimento; 2,13mm de largura e 1,77mm de espessura) e BRSMG-Caravera (8,05mm de comprimento; 2,22mm de largura e 1,87mm de espessura), foram cultivadas na Fazenda Experimental da Epamig em Felixlândia, MG, e a variedade irrigada, safra 2007/2008, BRSMG Seleta (7,75mm de comprimento; 2,10mm de largura e 1,81mm de espessura), cultivada na Fazenda Experimental da Epamig em Leopoldina, MG. A cultivar BRS-Primavera (7,71mm de comprimento; 2,09mm de largura e 1,79mm de espessura) foi fornecida pelo Sindarroz.

2.2.2 Preparo da matéria-prima

As amostras foram colhidas e trazidas para a Fazenda Experimental da Epamig/URESM, 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 $22\pm 2^{\circ}\text{C}$ e $65\pm 2\%$ UR, durante um tempo médio de 30 dias, para posterior beneficiamento.

2.3 Qualidade tecnológica

2.3.1 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 para a retirada do gérmen e do farelo, durante um minuto.

2.3.2 Renda do benefício

Para o teste de determinação da renda do benefício, 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 renda do benefício foi expressa em percentagem de grãos brunidos, a partir do arroz em casca.

2.3.3 Rendimento dos grãos

O rendimento dos grãos foi determinado a partir da classificação dos grãos brunidos no beneficiamento, utilizando-se “trieurs” de alvéolos (cavidades) de movimentos oscilatórios, em sentido horário, pelo tempo de um minuto. O “trieur” de número 2 foi utilizado para separar os grãos inteiros dos demais grãos; os grãos quebrados ficaram retidos dentro de uma canaleta, enquanto 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 utilizado para separar os grãos $\frac{1}{2}$ dos $\frac{1}{4}$ + quirera. O rendimento do grão foi expresso em percentagem de grãos inteiros, a partir do arroz brunido.

2.3.4 Teste de cocção tradicional

O teste de cocção tradicional é um importante método empregado para avaliar a qualidade culinária de grãos de arroz, realizado em um béquer em laboratório. Esta análise foi conduzida no Laboratório de Grãos, Raízes e Tubérculos, no Departamento de Ciência dos Alimentos da UFLA e envolveu os parâmetros descritos a seguir.

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 10 g 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 e Chang (1986).

b) Índice de absorção de água

Essa característica é determinada pelo aumento de peso durante a cocção e, para tanto, 10 g 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. Em seguida, foi pesado e o coeficiente de absorção de água dado pela equação, conforme Bassinello et al. (2004); Hummel (1996) e Donnelly (1979).

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

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 10 g 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, segundo Donnelly (1979) e Ciacco e Chang (1986).

$$\text{CEV\%} = (\text{VD arroz cozido/VD arroz cru}) \times 100$$

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 10 g de arroz em 500 ml de água destilada, depois de drenado o arroz. Foi coletada, a seguir, uma alíquota de 10 ml, a qual foi colocada em placa de Petri (previamente tarada) e levada à estufa, a 105°C, durante cinco horas, resfriada em dessecador, durante 30 minutos e pesada novamente. O resíduo seco foi determinado pela diferença do peso da placa com a alíquota após estufa e o peso inicial da placa sem a alíquota. A percentagem de perda de sólidos solúveis foi calculada segundo equação, de acordo com Maradini Filho (1983) e Ciacco e Chang (1986):

$$\text{PSS\%} = \frac{V \times \text{RS} \times 100}{P}$$

em que

PSS= perda de sólidos solúveis;

V= volume (ml) da água de cocção;

RS= resíduo seco;

p = peso do arroz cru (g).

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) da UFLA.

a) Umidade

A umidade do arroz foi determinada por meio gravimétrico, em que as amostras foram secas em estufa, a 105°C, até peso constante, conforme método da Association of Official Analytical Chemists - AOAC (2006). Os resultados foram expressos em $g\ 100^{-1}$, 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, de acordo com a AOAC (2006). Os dados foram expressos em $g\ 100^{-1}$, 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, de acordo com a AOAC (2006). Os resultados foram expressos em $g\ 100^{-1}$, com base na matéria seca

d) Fibra bruta

As fibras totais foram determinadas por método gravimétrico após hidrólise ácida, segundo metodologia descrita por AOAC (2006). O resultado foi expresso em $g\ 100^{-1}$, 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°C, em mufla, por um período suficiente para a queima de toda matéria orgânica. Os resultados foram expressos em $\text{g } 100^{-1}$, com base na matéria seca.

f) Fração glicídica (extrato não nitrogenado)

A fração glicídica ou o teor de carboidratos totais foi determinado, com base na matéria seca, por diferença, de acordo com a AOAC (2006). O valores foram calculados segundo a equação:

$$\text{FG} = 100 - (\text{U} + \text{EE} + \text{P} + \text{F} + \text{C})$$

em que

FG = fração glicídica $\text{g } 100^{-1}$;

U = umidade;

EE = extrato etéreo

P= proteína

F= fibra bruta

C= cinza

2.5 Qualidade sensorial

2.5.1 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 à análise sensorial, de acordo como as metodologias de teste de aceitação descritas por Chaves e Sproesser (2005), em que cinquenta provadores não treinados avaliaram atributos de aparência, aroma, sabor, textura e aspecto global. Para isso, utilizaram ficha com escala hedônica estruturada de nove pontos, variando entre os termos “desgostei extremamente” (score 1) e “gostei extremamente”(score 9). As amostras foram servidas em uma única seção e de forma balanceada. Os provadores receberam quantidades homogêneas de 25 ± 2 g de cada amostra a, aproximadamente, 40 ± 2 °C, simulando a temperatura de consumo, em copos plásticos devidamente codificados, seguindo as recomendações de Della Lucia, Minim e Carneiro (2006). A classificação da ficha do teste de aceitação (Anexo A Figura 1A) foi transformada em valores numéricos, para que pudessem ser avaliados, pela análise de correspondência, para a detecção de diferenças significativas.

2.5.1.1 Teste de cocção de panela ou convencional

O teste de cocção de panela, ou convencional, utilizado na análise sensorial é realizado com o objetivo de 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

utilizadas apenas as bocas pequenas, em panelas de alumínio com capacidade para dois litros. Foram lavados, em água corrente, 300 g 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 (750 ml) de água fervente, juntamente com ½ colher de sopa de sal de cozinha (8 g), 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 estivessem totalmente transparentes. Verificaram-se o tempo gasto para o cozimento e o volume de água utilizado, ao se desligar a chama do fogão (BASSINELLO et al., 2004)

2.6 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, Universidade Federal de Viçosa (2007).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Renda do benefício e Rendimento do grão

Os dados da Tabela 1 representam os resultados da renda do benefício e do rendimento do grão deste experimento, expressos em gramas de grãos inteiros e quebrados.

Tabela 1 Valores médios* em percentagem das variáveis grãos inteiros, grãos quebrados, renda do benefício e rendimento do grão envolvidas no beneficiamento em função das cultivares de arroz.

	Inteiros (%)	Quebrados (%)	Renda do benefício (%)	Rendimento do grão (%)
Caravera ¹	41,70 b	30,95 b	72,65a	57,40 c
Relâmpago ¹	24,16 d	38,74 a	62,90 b	38,41 d
Primavera ¹	49,20 a	20,1 d	69,30 a	71,00 a
Seleta ²	37,07 c	23,15 c	60,22 c	61,58 b

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

Os resultados do beneficiamento demonstram que houve uma diferença significativa ($p < 0,05$) entre as quatro cultivares analisadas, em função dos grãos inteiros e quebrados (Tabela 1A, Anexo A). A cultivar Primavera, embora não tenha apresentado diferença na renda do benefício em relação a cultivar Caravera, esta apresentou melhor rendimento do grão e percentagem de grãos inteiros.

A renda do benefício e o rendimento dos grãos foram diretamente afetados pelas características dos grãos das cultivares. Cultivares com grãos de espessura menor, como as cultivares Relâmpago e Seleta, apresentaram menor percentagem de grãos inteiros e maior percentagem de grãos quebrados, o que indica que estão mais sujeitos à quebra que os grãos mais espessos.

Além disso, os resultados encontrados neste estudo referente à percentagem de grãos inteiros foram inferiores aos valores encontrados pela Epamig/Uresm/Lavras fornecidos nas características dos grãos quanto ao beneficiamento no momento da aquisição da matéria-prima. Segundo estas características, a cultivar Caravera possui 50,3% de grãos inteiros e renda igual a 70%, a cultivar Relâmpago apresenta 44,3% de grãos inteiros e renda de 71%, a cultivar Primavera possui 52% de grãos inteiros e renda de 70% e a cultivar Seleta apresenta 55% de grãos inteiros e renda de 65%.

A Instrução Normativa nº 6, de 16 de fevereiro de 2009, do Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (BRASIL, 2009), determina que para que o grão obtenha bom valor comercial, ele deve apresentar máximo de 7,5% de grãos quebrados. Entretanto, as cultivares analisadas apresentaram maior teor de grãos quebrados do que o recomendando pela legislação, embora as cultivares Primavera e Caravera tenham obtido boa quantidade de grãos inteiros e não tenham diferido significativamente entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Os valores médios de grãos inteiros das cultivares Caravera e Primavera foram próximos aos encontrados por Crusciol et al. (2003) que, ao analisarem o comportamento, durante o benefício, de distintas variedades de arroz de terras altas sob diferentes lâminas de água e níveis de adubação mineral, obtiveram médias entre 41,8% a 49,0% de grãos inteiros.

Desse modo, pode-se afirmar que a cultivar Relâmpago, em relação ao rendimento do grão, que foi o menor das quatro cultivares, não é boa para o mercado consumidor, tendo em vista que a percentagem de grãos inteiros é de suma importância para este tipo de mercado. 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

Na Tabela 2 estão expressos os valores médios da composição centesimal do arroz.

Tabela 2 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	Extrato etéreo	Proteína bruta	Fibra bruta	Cinza	Fração glicídica
g 100 ⁻¹ b.s						
Caravera ¹	13,31 a	0,18 b	8,68 b	0,21 b	0,19 b	77,96 a
Relâmpago ¹	12,92 ab	0,65 a	7,71 b	0,05 c	0,21 b	77,27 a
Primavera ¹	13,27 a	0,45 a	8,86 b	0,06 c	0,39 a	76,81 a
Seleta ²	11,87 b	0,26 b	10,87 a	0,77 a	0,47 a	75,70 a

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

A cultivar Seleta foi a melhor cultivar do ponto de vista nutricional, pois apresentou as maiores concentrações de proteína, fibra e cinza, além de baixas concentrações de lipídeos. As demais cultivares, no geral, não diferiram significativamente entre si em alguns aspectos.

Embora tenha havido diferenças significativas ($p < 0,05$) entre alguns compostos nutricionais das cultivares analisadas (Tabela 2A, Anexo A), pode-se afirmar que, no geral, todas apresentaram concentrações esperadas destes compostos, segundo Tabelas de Composição Química de Alimentos da Universidade Estadual de Campinas (2006) e Franco (2001), conforme Tabela 3. Destaque deve ser dado à cultivar Seleta, que apresentou bons níveis de proteína e fibra, quando comparada às demais cultivares.

Tabela 3 Composição química de 100 g de arroz branco polido, segundo diferentes Tabelas de composição química de alimentos.

	Lipídeos (g)	Proteína (g)	Fibra (g)	Cinzas (g)	Carboidratos (g)
Unicamp (2006)	0,3	7,2	1,8	0,5	78,8
Franco (2001)	0,4	7,4	1,2	0,67	75,4

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.

Os resultados deste estudo, acerca dos níveis de umidade dos grãos. Além de estarem próximos ao valor recomendado pela legislação, concordam com os de Guimarães (2009) que, ao analisar a composição de grãos de arroz encontrados no mercado submetidos ou não à irradiação ionizante, encontrou média de 12,01g 100g⁻¹ de umidade. Porém, estão um pouco inferiores ao encontrado por Walter, Marchezan e Avila (2008), 14g 100g⁻¹ e superiores ao encontrado por Zanão (2007), 10,73g 100g⁻¹. Essa variação possivelmente aconteceu 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, bem como as condições de secagem. Isso porque, apesar de as 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, tendo os grãos das cultivares Relâmpago e Primavera sido os que apresentaram maiores níveis

lipídicos em relação aos demais. No geral, os valores encontrados variaram de $0,18 \text{ g } 100\text{g}^{-1}$ a $0,65 \text{ g } 100\text{g}^{-1}$, aproximando-se dos resultados encontrados por Zanão (2007) e por Walter, Marchezan e Avila (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 e, por isso, apresentam maior concentração no arroz integral que no arroz polido. Com o beneficiamento do grão, geralmente, as concentrações de lipídeos decrescem até $1 \text{ g } 100\text{g}^{-1}$ (LÚMEN; CHOW, 1995).

No que se refere à proteína bruta, as amostras analisadas diferiram significativamente entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. A cultivar Seleta, cultivada em solo irrigado, foi a que apresentou o maior teor de proteína bruta em relação às demais. Os resultados encontrados variaram de $7,71 \text{ g } 100\text{g}^{-1}$ a $10,87 \text{ g } 100\text{g}^{-1}$ de teor proteico, próximo aos encontrados por Walter, Marchezan e Avila (2008) que obtiveram $8,94 \text{ g } 100\text{g}^{-1}$ e por Zanão (2007), que obteve 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 proteico do arroz é grandemente influenciado pelo ambiente (VIEIRA; CARVALHO, 1999). Nesse sentido, as variações dos teores de proteína podem ser influenciadas pelos níveis de radiação solar, manejo e disponibilidade de nitrogênio no solo, além do controle integrado de pragas e doenças (JULIANO, 1993).

Os resultados deste estudo em relação à fibra bruta ou total mostraram que a cultivar Seleta foi a que apresentou maior valor dentre as cultivares analisadas, tendo havido diferença significativa ($p \leq 0,05$) entre elas. Os níveis de fibra bruta variaram de $0,05 \text{ g } 100\text{g}^{-1}$ a $0,77 \text{ g } 100\text{g}^{-1}$, corroborando com os resultados de Guimarães (2009), que encontrou $0,3 \text{ g } 100\text{g}^{-1}$ de fibra bruta e

aproximando-se dos de Castro et al. (1999) que obtiveram $0,5\text{g } 100\text{g}^{-1}$ 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 diminui em direção ao centro amiláceo (endosperma), resultando em baixa concentração desses componentes nos grãos submetidos ao polimento (WALTER; MARCHEZAN; AVILA, 2008). Assim, os teores de fibra encontrados indicam 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. Dentre elas, a cultivar Seleta foi a que apresentou maior valor de cinzas. A variação dos teores de minerais encontrados neste estudo foi de $0,19\text{ g } 100\text{g}^{-1}$ a $0,47\text{ g } 100\text{g}^{-1}$, confirmando os resultados encontrados por Walter, Marchezan e Avila (2008) que obtiveram $0,3\text{g } 100\text{g}^{-1}$, valor próximo ao de Zanão (2007), que encontrou concentrações médias de cinza igual a $0,38\text{g } 100\text{g}^{-1}$. Porém, valores inferiores ao de Maia et al. (1999), que obtiveram resultado de $0,75\text{g } 100\text{g}^{-1}$. O conteúdo mineral é grandemente influenciado pelas condições de cultivo, adubação, fertilização e manejo do solo, além do processamento (JULIANO, 1985b).

A respeito das frações glicídicas, quando comparadas entre as variáveis estudadas, elas não diferiram significativamente dentre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. Os valores encontrados foram de $75,76\text{g } 100\text{g}^{-1}$ a $78,46\text{ g } 100\text{g}^{-1}$ 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 foram inferiores aos encontrados por Walter et al. (2008), de $87,58\text{g } 100\text{g}^{-1}$ e por Maia et al. (1999), $87,47\text{g } 100\text{g}^{-1}$.

Nessa perspectiva, do ponto de vista nutricional do arroz, pode-se afirmar que a cultivar Seleta é a mais nutritiva, por apresentar maior concentração de proteínas, fibra bruta e cinzas.

3.3 Teste de cocção

Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA), onde os valores encontrados para o índice de absorção de água não foram significativos e não variaram entre si (Tabela 4), e foram submetidos ao teste de médias ($p < 0,05$).

Tabela 4 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 dos tipos de arroz.

F.V	G.L	Quadrados médios			
		Tempo de cocção (min)	IAA(%)	CEV (%)	PSS (%)
Fonte	3	8,75*	0,97 ^{ns}	0,23*	5,85*
Resíduo	8	0,00	0,028	0,01	0,46
CV (%)		0,00	5,01	3,32	9,78

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

Na Tabela 5 são apresentados os valores médios do teste de cocção das cultivares de arroz analisadas deste estudo.

Tabela 5 Valores médios* das variáveis tempo de cocção, coeficiente de expansão de volume e perda de sólidos solúveis em função dos tipos de arroz.

	Tempo de cocção (min)	Coeficiente de expansão de volume (%)	Perda de sólidos solúveis (%)
Caravera ¹	21,12 b	331,00 a	7,88 a
Relâmpago ¹	19,05 d	324,33 a	8,00 a
Primavera ¹	20,22 c	275,10 b	7,02 a
Seleta ²	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; ¹ cultivar de cultura de terras altas; ² cultivar de cultura irrigada.

A cultivar Relâmpago foi a cultivar que apresentou o menor tempo de cozimento e não diferiu significativamente ($p < 0,05$) da cultivar Caravera em relação ao coeficiente de expansão de volume (CEV), sendo que ambas apresentaram os maiores valores deste coeficiente quando comparadas às demais cultivares. No que diz respeito à perda de sólidos solúveis a cultivar Relâmpago só diferiu significativamente da cultivar Seleta que apresentou o menor nível de perda.

O tempo de cozimento para as amostras de arroz branco polido variaram de 19'05" a 23'18", corroborando com os dados relatados por autores que analisaram a qualidade culinária de diferentes variedades de arroz. Bassinello et al. (2004) obtiveram média de 21'39", Guimarães (2009) relatou 17'38" e Pereira (1996), 13'4".

O coeficiente de expansão de volume (CEV) que determina o rendimento de panela apresentou variação de 275,10% a 331,00% por Guimarães (2009) e de 365,65% a 263,3% por Pereira (1996).

A perda de sólidos solúveis apresentou diferença significativa da cultivar Seleta para as demais cultivares. Os resultados encontrados neste estudo foram de 4,98% a 8,00%, valores inferiores ao encontrado por Guimarães (2009) que foi de 10,35%.

3.4 Análise sensorial

Na Tabela 6 e no Gráfico 1 estão expressos os valores médios das notas atribuídas pelos consumidores aos atributos sensoriais do arroz (Figura 1A, Anexo A).

Tabela 6 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
Caravera ¹	6,26 bc	6,46 b	5,52 b	6,28 b	6,14 b
Relâmpago ¹	6,02 c	6,62 b	6,08 b	6,18 b	6,36 b
Primavera ¹	6,76 ab	6,90 ab	6,90 a	6,66 ab	7,08 a
Seleta ²	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; ¹ cultivar de cultura de terras altas; ² cultivar de cultura irrigada.

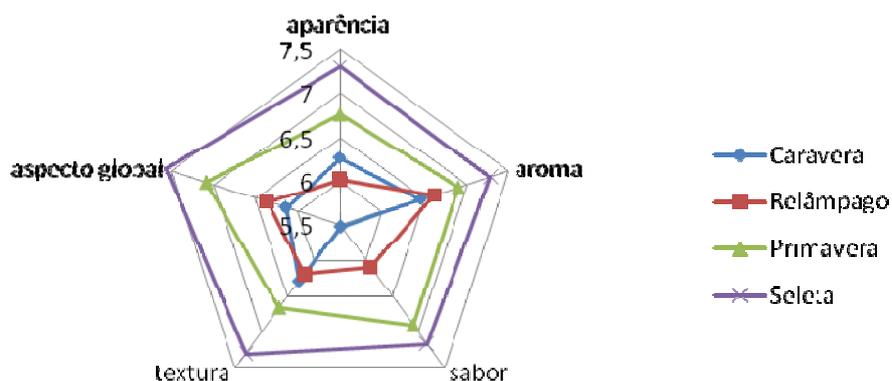


Gráfico 1 Aceitação dos consumidores, com base nas notas dadas aos atributos sensoriais, em função das cultivares de arroz.

Com relação à análise sensorial do arroz cozido, os atributos sensoriais diferiram significativamente entre si ($p < 0,05$) (Tabela 4A, Anexo A) e as cultivares Seleta e Primavera obtiveram maior nota. Por isso, foram as cultivares mais aceitas pelos consumidores, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. As notas para aparência (6,02 a 7,30), aroma (6,46 a 7,28), sabor (5,52 a 7,16) e textura (6,18 a 7,30), obtidas por este estudo, são superiores às encontrados por Zanão (2007), que obteve 6,20; 6,08; 6,08 e 5,6, respectivamente.

4 CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos pode-se afirmar que:

- a) a cultivar Primavera obteve melhor rendimento de grãos inteiros, embora todas as cultivares analisada tenha apresentado percentual de grãos quebrados maiores do que o recomendado pela legislação;
- b) a cultivar Seleta apresenta maiores concentrações de proteína, fibra e cinzas;
- c) a cultivar Relâmpago apresenta menor tempo de cocção, e juntamente com a cultivar Caravera, maior coeficiente de expansão de volume;
- d) as cultivares Primavera e Seleta foram as mais aceitas pelos consumidores, na análise sensorial;
- e) 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.

REFERÊNCIAS

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

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

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. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, 17 fev. 2009. Seção 1, p. 3.

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] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, 21 nov. 1988. Seção 1, p. 22531.

CASTRO, E. da M. de et al. **Qualidade de grãos em arroz**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 1999. 30 p. (Circular Técnica, 34).

CEREDA, M. P. **Propriedades gerais do amido**. São Paulo: Fundação Cargill, 2002. 221 p. (Culturas de Tuberosas Amiláceas Latino-americanas, v. 1).

CHAVES, J. B. P.; SPROESSER, R. L. **Práticas de laboratório de análise sensorial de alimentos e bebidas**. 3. Ed. Viçosa, MG: UFV, 2005. 81 p. Apostila.

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

CRUSCIOL, C. A. C. et al. Rendimento de benefício e de grãos inteiros em função do espaçamento e da densidade de semeadura do arroz de sequeiro. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 56, n. 1, p. 47-52, jan. 1999.

CRUSCIOL, C. A. et al. Qualidade industrial e teores de nutrientes dos grãos do arroz de terras altas sob diferentes lâminas de água e níveis de adubação mineral. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 25, n. 2, p. 409-415, 2003

DELLA LUCIA, S. M.; MINIM, V. P. R.; CARNEIRO, J. D. S. Análise Sensorial de Alimentos. In: MINIM, V.P.R. **Análise sensorial: estudos com consumidores**. Viçosa, MG: UFV, 2006. pp.13-50.

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. et al. **Qualidade de arroz no Brasil: evolução e padronização**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2005.

FRANCO G. **Tabela de composição química dos alimentos**. 9. ed. Rio de Janeiro: Atheneu, 2001.

GOMEZ, K. A. Effect of environment on protein and amylose content of rice. In: WORK-SHOP ON CHEMICAL ASPECTS OF RICE GRAIN QUALITY, 1979, Los Baños. **Proceedings...** Los Baños: IRRI, 1979. p. 91-111.

GUIMARÃES, I. C. O. **Efeito da irradiação gama (co-60) na qualidade e segurança do arroz**. 2009. 115 p. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.

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

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

JULIANO, B. O. Polysaccharides, proteins, and lipids of rice. In: _____. **Rice: chemistry and technology**. 2nd. ed. Saint Paul: American Association of Cereal Chemists, 1985b.

JULIANO, B. O. **Rice in human nutrition**. Rome: FAO, 1993.

KENNEDY, G.; BURLINGAMEB, B.; NGUYEN, N. Nutrient impact assessment of rice in major rice-consuming countries. **International Rice Commission Newsletter**, Bangkok, v. 51, p. 33-42, 2002.

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

MAIA, L. H. et al. 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. 89 p. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1983.

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

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

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

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA. **SAEG: sistema para análises estatísticas, versão 9.1**. Viçosa, MG: Fundação Arthur Bernardes, 2007.

VAUGHAN, C. E.; GREGG, B. R.; DELOUCHE, J. C. **Beneficiamento e manuseio de sementes**. Brasília: Ministério da Agricultura; AGIPLAN, 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.** 2007. 71 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Piracicaba, 2007.

CAPÍTULO 3

Efeito da irradiação gama (^{60}Co) na desinfestação de grãos de arroz

RESUMO

O uso da radiação ionizante como forma de conservação de alimentos vem ganhando visibilidade no Brasil e no mundo, especialmente por ser uma técnica eficiente no controle de insetos-pragas e de fungos toxigênicos. Além disso, embora acarrete algumas alterações nos alimentos, assim como as técnicas de processamento, é um processo “limpo”, ou seja, não deixa resíduo. Sob essa perspectiva, o presente trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar o efeito da irradiação gama (^{60}Co) na desinfestação e na descontaminação de grãos de arroz branco polido de quatro diferentes cultivares, BRSMG Caravera, BRSMG Relâmpago, BRS Primavera e BRSMG Seleta, submetidos a três doses de radiação (0kGy, 6,5kGy, 7,5kGy), bem como avaliar a formação de radicais livres e as características físicas, reológicas e microestruturais. Após a irradiação, a contagem de insetos vivos e de fungos foi realizada para determinar o efeito das doses de radiação na desinfestação e na descontaminação dos grãos. As propriedades físicas, reológicas e microestruturais foram avaliadas por meio das análises de cor, radicais livres, viscosidade e microscopia ótica, para a determinação da qualidade do arroz irradiado. Os resultados demonstraram que o emprego da radiação gama (^{60}Co), 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 gênero *Aspergillus* e *Penicillium*. A irradiação resultou na formação de radicais livres no 6º e no 7º dias após a irradiação, desaparecendo no 8º dia. Além disso, alterou significativamente a propriedade de pasta, diminuindo os parâmetros de viscosidade do arroz. Entretanto, a microestrutura dos grânulos de amido não foi afetada. Concluiu-se que a irradiação gama é eficiente na conservação dos grãos.

ABSTRACT

Use of ionizing radiation as a form of food conservation has been gaining visibility in Brazil and in the world, especially for being an effective technique in the control of pest insects and toxin-producing fungi. In addition, although it brings about some alterations in foods as well as the processing techniques, it is a “clean” process, in other words, it does not leave residues. Under that view, the present work was undertaken with the objective of evaluating the effect of gamma irradiation (^{60}Co) on both the disinfestation and decontamination of huskless white rice grains of four different cultivars, namely, BRSMG Caravera, BRSMG Relâmpago, BRS Primavera and BRSMG Seleta, submitted to three doses of radiation (0kGy, 6,5kGy, 7,5kGy) as well as to evaluate the formation of free radicals and the physical, rheological and microstructural characteristics. After irradiation, the count of living insects and fungi was carried out to determine the effect of the doses of radiation on the disinfestations and decontamination of grains. The physical, rheological and micro structural properties were evaluated by means of the analyses of color, free radicals, viscosity and optic microscopy, for the determination of quality of irradiated rice. The results demonstrated that the use of gamma radiation (^{60}Co) with doses of 6.5kGy and 7,5kGy was efficient in grain disinfestation, eliminating entirely both weevils and moths. However, only the dose of 7.5 kGy was efficient in the combat of fungi of the gender *Aspergillus* and *Penicillium*. Irradiation resulted in the formation of free radicals on the 6th and 7th 7^o days after irradiation, disappearing on the 8th day. In addition, it altered significantly paste property, decreasing the viscosity parameters of rice. Nevertheless, the microstructure of the starch granules was not affected at all. It follows that gamma irradiation is efficient in grain conservation.

1 INTRODUÇÃO

O arroz é um dos grãos mais consumidos pela população mundial e, por isso, é um alimento importante no movimento da economia. Entretanto, aproximadamente 20% da lavoura de arroz são perdidos ao longo da colheita, do transporte e do armazenamento. As perdas ao longo do armazenamento são as mais importantes e quantitativas e caracterizam-se como perdas físicas, químicas e biológicas, sendo esta 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.

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, por sua vez, 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.

Desse modo, a aplicação de métodos de conservação dos grãos contra a contaminação por insetos e fungos é necessária para evitar as perdas econômicas. Entretanto, métodos convencionais de fumigação, comumente utilizados na preservação dos grãos, acarretam prejuízos à saúde humana, por deixarem resíduos tóxicos nos alimentos. Assim, a utilização da radiação ionizante, com o propósito de preservar e desinfestar grãos, surge como prática promissora, utilizada para estender a vida útil e reduzir as perdas da lavoura

durante a armazenagem do produto. Os custos estimados dos benefícios da irradiação comercial mostram ser competitivos e muitas vezes mais baratos que os métodos convencionais de fumigação e outros tratamentos físicos e térmicos.

A radiação ionizante pode ser aplicada em diversos alimentos com diferentes objetivos, tais como, esterilização, retardo do amadurecimento de frutas, descontaminação de especiarias, conservação de carnes, de raízes e tubérculos, de legumes, de grãos e controle de insetos.

Tendo em vista o exposto, torna-se necessária a busca por novos métodos seguros de conservação de alimentos, no intuito de eliminar os insetos e os fungos do arroz, diminuindo assim os prejuízos econômicos, bem como aqueles 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 a sua aplicabilidade. Assim, possibilitar grãos de arroz seguros, do ponto de vista alimentar, evitando perdas na qualidade física, química e nutricional, bem como no armazenamento e na comercialização, é um importante desafio para as pesquisas. Nesse sentido, o presente estudo foi realizado com os objetivos de:

- a) avaliar o efeito de diferentes doses de radiação gama (^{60}Co) no controle de insetos-pragas de quatro cultivares de arroz durante seis meses de armazenamento;
- b) avaliar o efeito de diferentes doses de radiação gama no controle de fungos toxigênicos (*Penicillium* spp. e *Aspergillus* spp.), imediatamente após irradiação e durante seis meses de armazenamento;
- c) avaliar os possíveis benefícios da irradiação gama para a indústria de alimentos na conservação e na 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;

- d) monitorar a presença de radicais livres nas amostras após irradiação gama por até seis meses, determinando, assim, se há necessidade de período de carência após a irradiação;
- e) avaliar possíveis alterações na estrutura dos grânulos de amido do arroz após a irradiação gama;
- f) avaliar as alterações na viscosidade da pasta das cultivares de arroz submetidas a diferentes doses de radiação (^{60}Co).

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Amostras

Foram estudadas arroz de quatro cultivares, sendo três fornecidas pela Epamig Sul de Minas/Lavras e uma pelo Sindicato das Indústrias Arrozeiras de Minas Gerais (Sindarroz), todas de arroz tipo longo fino. Duas variedades cultivadas em terras altas, safra 2007/2008, conhecidas como arroz de sequeiro, identificadas como BRSMG- Relâmpago e BRSMG-Caravera, foram cultivadas na Fazenda Experimental da Epamig, em Felixlândia, MG e a variedade irrigada, safra 2007/2008, BRSMG-Seleta, cultivada na Fazenda Experimental da Epamig em Leopoldina, MG. A cultivar BRS-Primavera foi fornecida pelo Sindarroz. As amostras foram colhidas e trazidas para a Fazenda Experimental da Epamig/URESM, em Lavras, onde, manualmente, os grãos foram separados das panículas e limpos. Amostras de 10 kg de cada cultivar foram beneficiadas e armazenadas em câmara climatizada, a $22\pm 2^{\circ}\text{C}$ e a $65\pm 2\%$ UR, durante seis meses.

2.1.1 Teste de sanidade

Após o beneficiamento, as amostras de arroz foram submetidas a teste de sanidade segundo metodologia do “Blotter Test” (NEERGARD, 1977) adaptada para grãos descascados (LUCCA FILHO, 1987), sem assepsia prévia para não eliminar possíveis fungos advindos do campo, o que interferiria nos resultados. O objetivo foi verificar a presença de fungos. Para isso, foram utilizadas 200 sementes por tratamento, distribuídas em placas de Petri de 15 cm de diâmetro, previamente mergulhadas em formal a 10% durante 72 horas, sendo 25 sementes/placa, com cada placa contendo três discos de papel de filtro

previamente esterilizados umedecidos com água destilada e esterilizada, com a finalidade de manter a umidade e evitar a movimentação dos grãos de arroz. Dentro das placas foi colocado sobre o papel umedecido uma fina camada de 5mL de ágar-água 0,5%. Os grãos foram plaqueados e as placas colocadas em câmara de crescimento, à temperatura de 20°C, durante cinco dias de incubação, sendo, ao final, registrada a ocorrência de cada espécie de fungo. Os resultados obtidos foram expressos em percentagem de grãos infectados/contaminados. O teste de sanidade foi conduzido no Laboratório de Patologia de Sementes, no Departamento de Fitopatologia da Universidade Federal de Lavras (UFLA). Apenas as amostras de arroz contaminadas por fungos foram utilizadas no experimento.

2.2 Processo de irradiação

2.2.1 Preparação das amostras

As amostras de arroz branco polido foram homogeneizadas em pacotes de 5 kg e, logo em seguida, subdivididas em 45 parcelas de 10 g, referentes a 3 repetições 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 amostras foram irradiadas a 0 ky, 6,5 kGy e 7,5 kGy, definidas com base no trabalho de Guimarães (2009) e as análises foram iniciadas no dia seguinte à irradiação.

2.2.2 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 radiação pretendida (6,5 kGy e 7,5 kGy). As amostras foram irradiadas utilizando-se irradiador Gammacell panorâmico GB-127, IR-214 (MDS Nordion, Canadá), com fonte de radiação de cobalto 60 (^{60}Co) 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 circular localizada ao redor da fonte de ^{60}Co , com distância da fonte de 14 cm, proporcionando a irradiação simultânea de todas as amostras. As amostras submetidas à dose de 6,5 kGy tiveram tempo de exposição de 62 minutos e as submetidas a 7,5 kGy ficaram expostas à fonte de radiação gama (^{60}Co) por 72 minutos. Para a otimização do processo, utilizaram-se dosímetro e 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 sendo apenas acionado pelo técnico responsável.

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 $22\pm 2^\circ\text{C}$ e $65\pm 2\%$ UR, durante seis meses. As embalagens de cada amostra de arroz irradiado foram retiradas, uma a uma, de treze em treze dias, para as análises.

2.3 Análises de infestação por insetos-pragas de grãos armazenados

A determinação de gorgulhos (*Sitophilus oryzae*) e de traças dos cereais (*Sitotroga cerealella*) foi realizada em capela de fluxo laminar devidamente sanitizada, por meio da contagem de insetos vivos presentes nas amostras de 10 g de arroz naturalmente infestadas de cada tratamento, segundo o método descrito por Zanão (2007), a partir do dia seguinte à irradiação e a cada 13 dias,

durante o período de seis meses de armazenamento.

2.4 Análises microbiológicas

2.4.1 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, no Departamento de Fitopatologia da UFLA, segundo metodologia do “Blotter Test” (NEERGARD, 1977), adaptada para grãos (LUCCA FILHO, 1987). As placas contendo os grãos foram examinadas individualmente por meio de observações da morfologia do fungo ao microscópio estereoscópico (Olympus SZX60), com poder de ampliação de 50 a 60 vezes. Os resultados obtidos foram expressos em percentagem de grãos infectados/contaminados.

2.5 Análises físicas

2.5.1 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 treze 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, utilizou-se colorímetro Minolta CR-3000 (Minolta Chromameter/Japão) com sistema “CIE Lab” com parâmetros L a* b* Color Space, 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 $L= 90,23$, $a^* = 0,3252$ e $b^* = 0,3426$.

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

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

em que

ΔE^* = valor para diferença de cor;

ΔL^* = diferença da leitura L do padrão branco e a leitura L da amostra;

Δa^* = diferença da leitura a^* do padrão branco e a leitura a^* da amostra;

Δb^* = diferença da leitura b^* do padrão branco e a leitura b^* da amostra;

2.5.2 Determinação dos níveis de radicais livres (oxidação)

2.5.2.1 Ressonância paramagnética eletrônica (RPE)

A quantificação dos níveis de radicais livres foi realizada no Departamento de Física da UFMG, utilizando-se um espectro de ressonância paramagnética eletrônica (RPE), segundo metodologia descrita por Schreiber et

al. (1993). As amostras foram moídas e analisadas imediatamente após a irradiação, uma vez por dia, sucessivamente, até que não apresentasse radicais livres. Para tanto, 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 micro-ondas de 9 GHz a 11GHz (Varian) e modulação do campo magnético em 100kHz.

2.6 Análises das propriedades de pasta

2.6.1 Extração do amido

Para a extração do amido de arroz, 300 g de amostra de arroz branco polido de cada cultivar e de cada dose de radiação gama (0 kGy, 6,5 kGy, 7,5 kGy) foram colocados em béquer de vidro (1.000 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 Datamed 147 (Fanem/Brasil) a $50 \pm 2^\circ\text{C}$, por 24 horas, com agitação leve e intermitente. Depois desse 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 3.000 rpm, durante 10 minutos. O amido foi seco em estufa, a 45°C , por 24 horas, segundo metodologia descrita por Whistler (1964).

2.6.2 Caracterização da propriedade de pasta

As amostras de amido de cada cultivar de arroz submetida 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, na Embrapa Agroindústria de Alimentos, em aparelho Rapid Visco Analyser, série 4 (RVA; Newport Scientific Pty Ltd, Sidney, Austrália), na concentração de 3,0g 25ml⁻¹ 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 à avaliação. Os parâmetros utilizados na programação do RVA estão expressos da Tabela 7.

Tabela 7 Parâmetros do Rapid Visco Analyser (RVA) utilizados para a determinação das propriedades de pasta do amido de arroz branco polido não irradiado e irradiado.

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

2.7 Análises das propriedades microestruturais

2.7.1 Microscopia ótica sob luz polarizada

Para a visualização da microestrutura dos grânulos de amido do arroz, as lâminas e as 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 e Poelma (1995). As lâminas e as 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, no Departamento de Ciência dos Alimentos da UFLA, 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 1.000 vezes.

2.8 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 radiação gama (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, a 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 (BERNARDES, 2007), da Universidade Federal de Viçosa.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Infestação de gorgulhos de arroz (*Sitophilus oryzae*)

A infestação de gorgulhos no arroz branco polido foi determinada e expressa pelo número de insetos vivos encontrados nas embalagens das amostras de arroz, em função das doses de radiação, conforme Tabela 1B, Anexo B. As equações de regressões ajustadas e os respectivos gráficos estão expressos na Tabela 8.

Tabela 8 Equações de regressão ajustadas do número de Gorgulhos (*Sitophilus oryzae*), em função do tempo, para as respectivas combinações de variedades de arroz e doses de radiação.

Variedade	Dose de radiação	Equações ajustadas
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	$\hat{y} = 0,00$

Os grãos de arroz da cultivar Seleta, não submetida à irradiação (0 kGy), apresentaram maior número de infestação por gorgulhos, atingindo níveis médios de 1,25 insetos vivos em 10 g de arroz, seguida das cultivares Primavera, com média de 0,55 insetos vivos, Relâmpago, média de 0,46 insetos vivos e Caravera, média de 0,40 insetos vivos.

Os resultados encontrados mostram, ainda, que as doses de radiação empregadas foram suficientes para eliminar a infestação por gorgulhos em todas

as amostras de arroz analisadas. Conforme apresentado por Zanão (2007), os ovos e as larvas 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

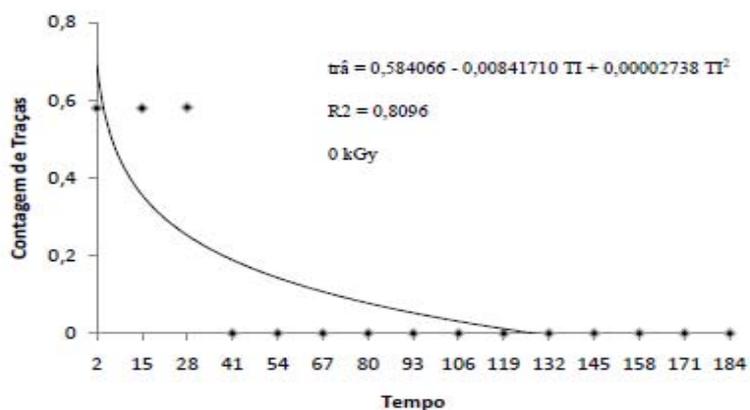
3.2 Infestação por traças dos cereais (*Sitotroga cerealella*)

A infestação por traça dos cereais no arroz foi determinada e expressa pelo número de insetos vivos encontrados nas embalagens das amostras de arroz polido, em função das doses de irradiação, conforme Tabela 2B, Anexo B. As equações de regressões ajustadas e os respectivos gráficos estão expressos na Tabela 9 e no Gráfico 2.

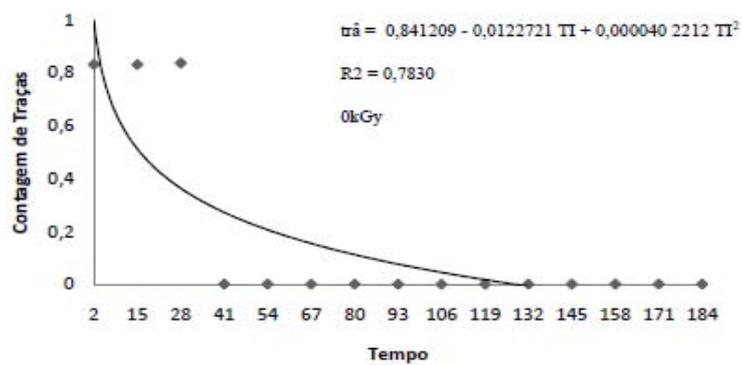
Tabela 9 Equações de regressão ajustadas do número de traças (*Sitotroga cerealella*), em função do tempo para as respectivas combinações de variedades de arroz e doses de radiação.

Variedade	Dose de radiação	Equações ajustadas	R2
Caravera	0 kGy	$\text{trâ}^* = 0,584066 - 0,00841710 \text{ TI} + 0,00002738 \text{ TI}^2$	0,8096
Caravera	6,5 kGy	$\hat{y} = 0,00$	—
Caravera	7,5 kGy	$\hat{y} = 0,00$	—
Relâmpago	0 kGy	$\text{trâ} = 0,841209 - 0,0122721 \text{ TI} + 0,0000402212 \text{ TI}^2$	0,7830
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	$\hat{y} = 0,00$	—

* trã= estimativa do número de traças; TI = tempo de irradiação



(a)



(b)

Gráfico 2 Representação gráfica, equação de regressão e coeficiente de determinação da contagem de traças (*Sitotroga cerealella*) presentes nas amostras de arroz Caravera (a) e Relâmpago (b), em função das doses de radiação.

A infestação por traças de cereais aconteceu até o 28º dia de análise

(Tabela 2B, Anexo B). Por ser um inseto próprio de grãos armazenados em casca, as traças, ao contrário dos gorgulhos, se alimentam das camadas mais externas do grão, não sobrevivendo por muito tempo nos grãos polidos, o que explica sua diminuição até o desaparecimento, ao longo de curto período de armazenamento. A amostra de grãos da cultivar Seleta não submetida à irradiação apresentou maior número de traças dos cereais, atingindo média de 0,25 insetos vivos. 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 insetos igual a 0,06.

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 radiação, talvez porque as amostras analisadas eram de arroz polido. Segundo Aguilar e Arthur (1994), a irradiação gama na dose de 0,5 kGy é suficiente para induzir a mortalidade total dos ovos das traças de cereais, enquanto 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 no controle desse inseto-pragas de grãos armazenados, especialmente arroz.

3.3 Análises microbiológicas

3.3.1 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 treze dias, nas embalagens das amostras de arroz branco polido em função das

diferentes doses de radiação gama, conforme Tabela 3B, Anexo B. As equações de regressão ajustadas e a representação gráfica do número de *Aspergillus* spp. são demonstradas na Tabela 10 e no Gráfico 3.

Tabela 10 Equações de regressão ajustadas do número de *Aspergillus* spp., em função do tempo para as respectivas combinações de variedades de arroz e doses de radiação.

Variedade	Dose de radiação	Equações ajustadas	R2
Caravera	0 kGy	$\hat{a}sp^* = 11,3935 + 0,182367 TI - 0,000652966 TI^2$	0,7171
Caravera	6,5 kGy	$\hat{y} = 0,43$	—
Caravera	7,5 kGy	$\hat{y} = 0,00$	—
Relâmpago	0 kGy	$\hat{a}sp = - 2,92637 + 0,394259 TI - 0,0013791 TI^2$	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	$\hat{y} = 0,00$	—

* $\hat{a}sp$ = estimativa do número de *Aspergillus*; TI = tempo de irradiação

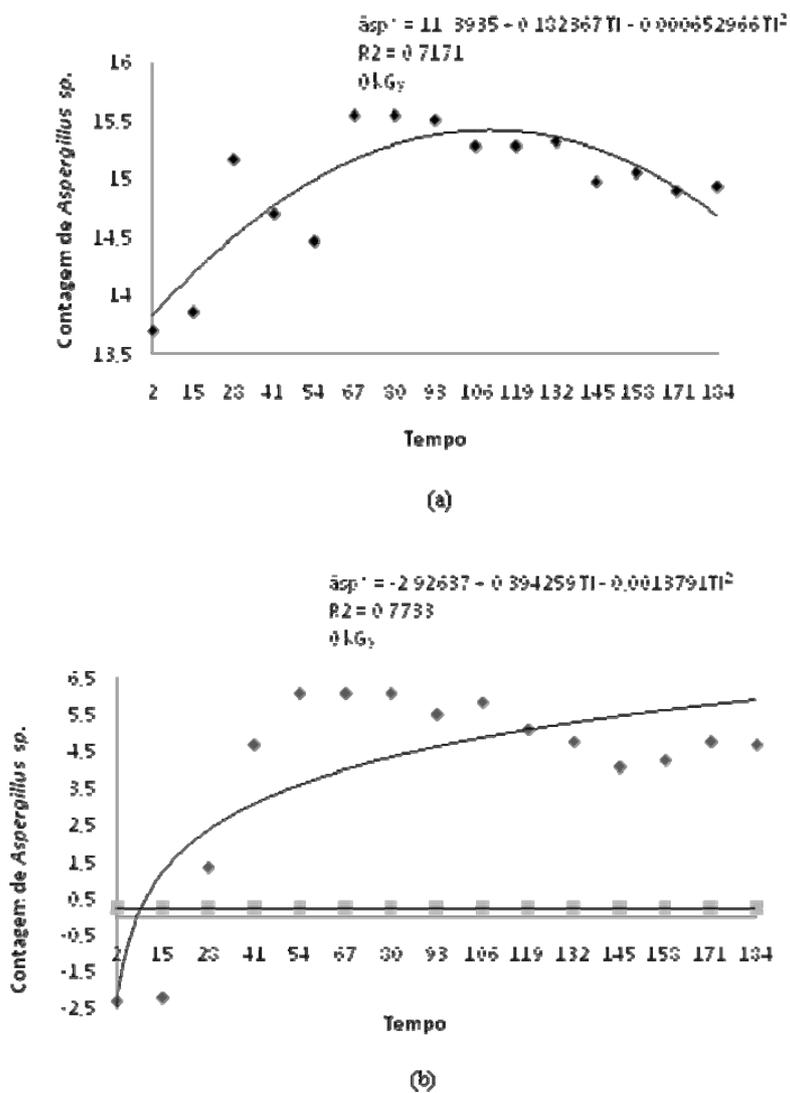


Gráfico 3 Representação gráfica, equação de regressão e coeficiente de determinação da contagem de *Aspergillus* spp. presentes nas amostras de arroz Caravera (a), e Relâmpago (b), em função das doses de radiação.

A análise de regressão para as amostras não irradiadas (0kGy) encontrou ponto máximo de *Aspergillus* spp. , conforme Figura 10, de 24,17% para Caravera e de 25% para a Relâmpago aos 80 dias de análise. 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.

O número de grãos contaminados por *Aspergillus* spp. variou consideravelmente ao longo do tempo e entre as cultivares. As cultivares Caravera e Relâmpago foram as que tiveram maiores níveis de contaminação variando de 13,25 a 25 grãos para Caravera e 1,50 a 25 grãos para Relâmpago. As cultivares Primavera e Seleta também apresentaram variações, entretanto, quando comparadas às primeiras, tiveram menores níveis de contaminação que variaram de 7,50 a 24,25 grãos para Primavera e 1,75 a 20,50 grãos para Seleta.

Embora tenham sido encontrados *Aspergillus* spp. nas amostras de arroz irradiadas a 6,5 kGy, mostrando que esta dose não é eficiente no controle desse fungo, pode-se afirmar que as médias encontradas em cada cultivar estão próximas a zero, não variando ao longo do tempo. Entretanto, pelo fato de se tratar de um estudo de segurança alimentar, desconsideraremos a irradiação gama (^{60}Co) a 6,5 kGy como dose eficiente 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 radiação gama (^{60}Co) para controle e eliminação de cada tipo de fungo. Segundo o autor, a dose mínima de radiação para eliminar *Aspergillus* spp. em arroz branco polido é de 6,94 kGy.

3.3.2 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 treze dias nas embalagens das amostras de arroz branco polido, em função das diferentes doses de radiação gama (^{60}Co), conforme Tabelas 4B, Anexo B. As equações de regressão ajustadas e a representação gráfica do número de *Penicillium* spp. estão demonstrados na Tabela 11.

Tabela 11 Equações de regressão ajustadas do número de *Penicillium* spp., em função do tempo, para as respectivas combinações de variedades de arroz e doses de radiação.

Variedade	Dose de radiação	Equações ajustadas
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 grãos contaminados. A cultivar Primavera obteve média do fungo igual a 1,46, seguida da cultivar Caravera com média de 1,01 e da cultivar Relâmpago com valor médio igual a 0,26, que obteve o menor nível de contaminação por *Penicillium* spp.

Ao contrário de Guimarães (2009), que determinou ponto mínimo de irradiação gama (^{60}Co) 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. nos grãos de arroz branco polido das cultivares estudadas (Tabela 4B, Anexo B), exceto para a cultivar Caravera.

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 às boas práticas de manipulação, transporte e armazenamento, elevando o grau de segurança alimentar e a vida de prateleira desses alimentos (GUIMARÃES, 2009).

3.4 Análises físicas

3.4.1 Avaliação de cor

Quando as amostras de arroz foram expostas à irradiação gama (^{60}Co), as variáveis L, a^* e b^* do sistema de cores “CIE Lab” alteraram significativamente o ΔE^* , devido ao aumento do parâmetro b^* que varia do amarelo ao vermelho, conforme Tabela 12.

Tabela 12 Valores médios de ΔE^* de grãos de arroz, em função das cultivares e doses de radiação.

	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

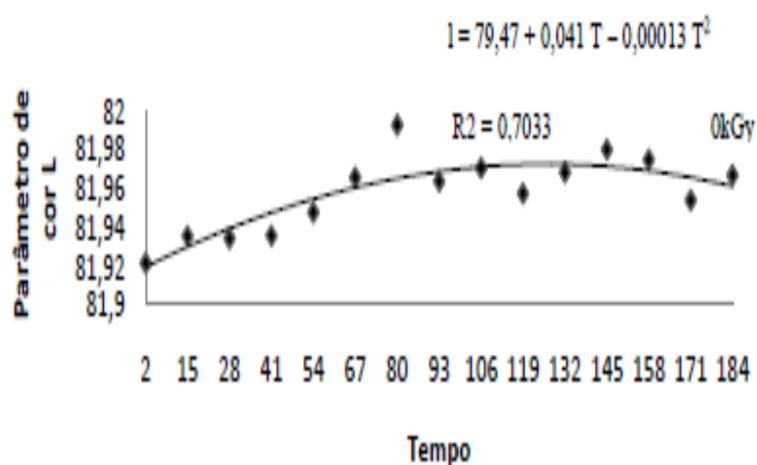
*Média de 4 observações

As equações de regressão ajustadas e a representação gráfica dos valores do parâmetro L, que varia do branco ao preto, encontram-se na Tabela 13 e no

Gráfico 4.

Tabela 13 Equações de regressão ajustadas dos valores do parâmetro L, em função do tempo, para as respectivas combinações de variedades de arroz e doses de radiação.

Variedade	Dose de radiação	Equações ajustadas	R2
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	$\hat{y} = 70,59$	—

Gráfico 4 Representação gráfica, equação de regressão e coeficiente de determinação das leituras do parâmetro b^* das amostras de arroz Primavera, em função das doses de radiação

Conforme dados das leituras de L para as amostras do arroz controle (0 kGy) mantiveram-se constantes ao longo do tempo de análise, exceto para a cultivar Primavera. As médias encontradas situaram-se 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 (6,5kGy e 7,5kGy), as médias encontradas não diferiram entre si, haja vista a proximidade das médias encontradas, que variaram entre 70,22 e 72,54.

Considerando que o parâmetro L refere-se à luminosidade e varia de 0 (preto) a 100 (branco), pode-se afirmar que as amostras de arroz irradiadas apresentaram-se mais escuras em relação ao controle, embora, para as diferentes doses de radiação gama (^{60}Co) 6,5kGy e 7,5 kGy, não tenham alterado muito a luminosidade das amostras de arroz.

De acordo com os dados encontrados por Guimarães (2009), o valor médio de L encontrado na dose 0 kGy 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 Ghosh e Chatterjee (1991), por sua vez, levantaram a hipótese de que as diferenças de cor só são visíveis quando comparam-se 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 suas leituras estão expressas na Tabela 6B, Anexo B. As equações de regressão ajustadas e a representação gráfica dos valores do parâmetro a^* estão demonstradas na Tabela 14 e Gráfico 5.

Tabela 14 Equações de regressão ajustadas dos valores do parâmetro a^* , em função do tempo, para as respectivas combinações de variedades de arroz e doses de radiação.

Variedade	Dose de radiação	Equações ajustadas	R2
Caravera	0 kGy	$\hat{y} = 0,4360$	—
Caravera	6,5 kGy	$\hat{y} = 0,4440$	—
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	$\hat{y} = 0,5607$	—

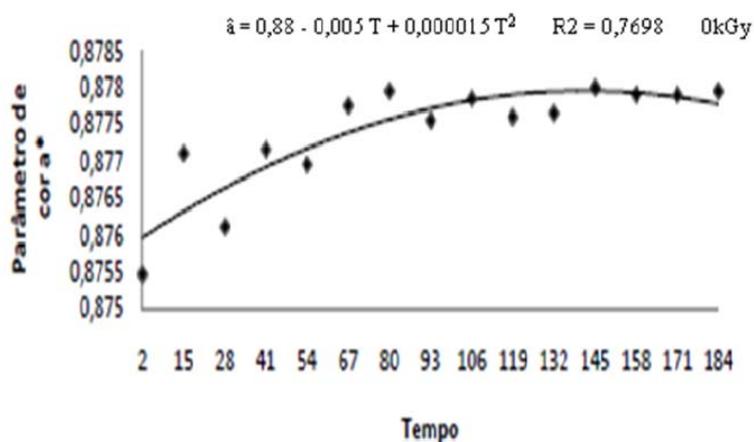


Gráfico 5 Representação gráfica, equação de regressão e coeficiente de determinação das leituras do parâmetro a^* das amostras de arroz Primavera, em função das doses de radiação.

Para a variável a^* , foram encontradas diferenças entre as doses controle (0kGy) e as doses de radiação gama (^{60}Co) 6,5kGy e 7,5kGy. As variações entre as médias da dose controle foram de 0,33 a 0,54, enquanto as doses 6,5kGy e

7,5kGy apresentaram médias entre 0,39 e 0,79, não variando ao longo do tempo, exceto grãos de arroz das cultivares Caravera (6,5 kGy), que apresentou, pela equação de regressão, ponto máximo igual a zero e Primavera que obteve ponto máximo igual a 0,8872 para 0kGy e 0,458 para 7,5kGy, mostrando que houve 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 radiação (6,5kGy e 7,5kGy), que não diferiram entre si. Também Zanão (2007) encontrou alterações da variável a^* nas amostras de arroz controle e nas amostras irradiadas, em função da radiação gama (^{60}Co).

O parâmetro b^* que varia do azul (-60,00) ao amarelo (+60,00) também foi avaliado e as leituras deste parâmetro ao longo das análises, estão expressas nas equações de regressão ajustadas e a representação gráfica dos valores do parâmetro b^* estão demonstradas na Tabela 15 e na Gráfico 6.

Tabela 15 Equações de regressão ajustadas dos valores do parâmetro b^* , em função do tempo, para as respectivas combinações de variedades de arroz e doses de radiação.

Variedade	Dose de radiação	Equações ajustadas	R2
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

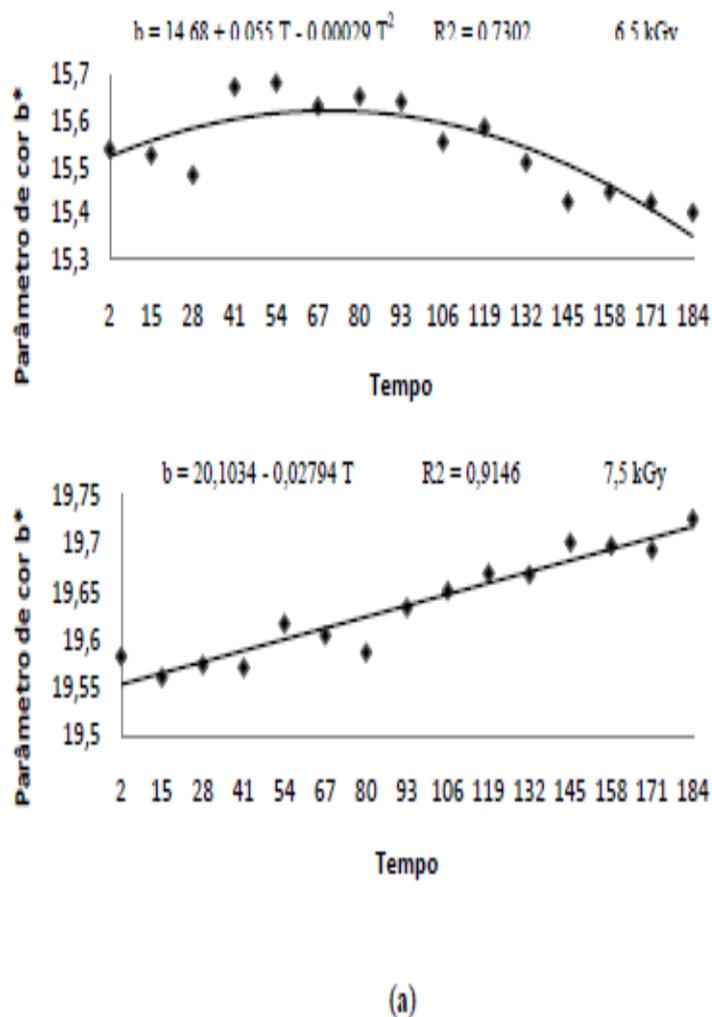
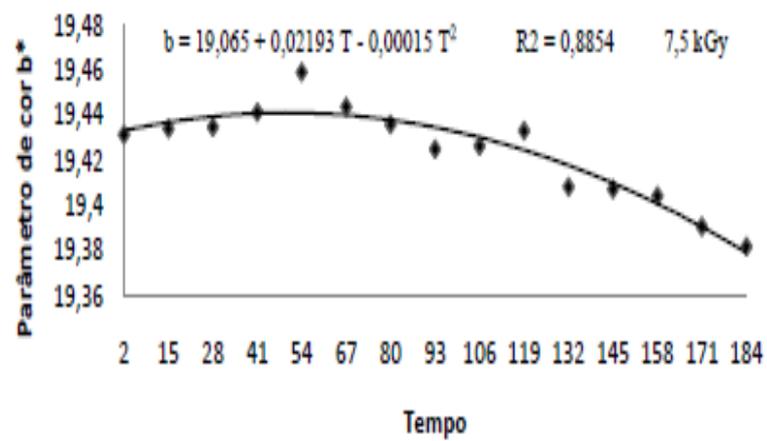
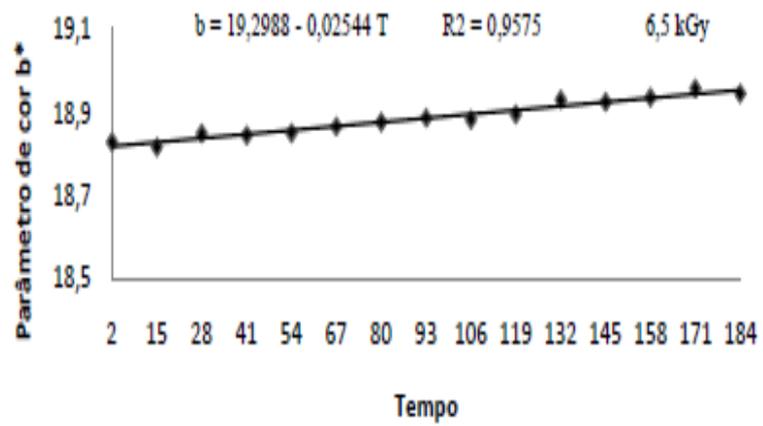


Gráfico 6 Representação gráfica, equação de regressão e coeficiente de determinação das leituras do parâmetro b* das amostras de arroz Caravera (a), Relâmpago (b), Primavera (c) e Seleta (d), em função das doses de radiação

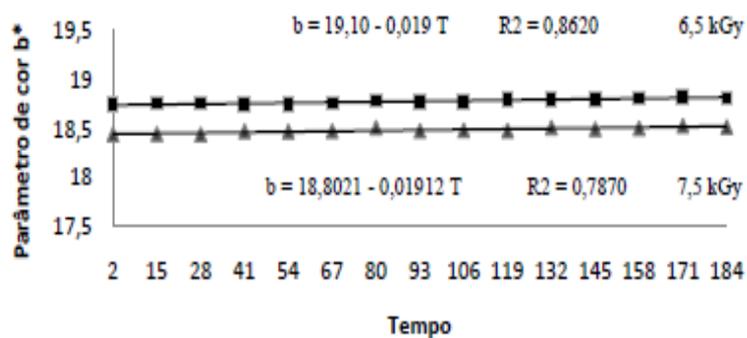
(...Continua...)

Gráfico 6, Cont

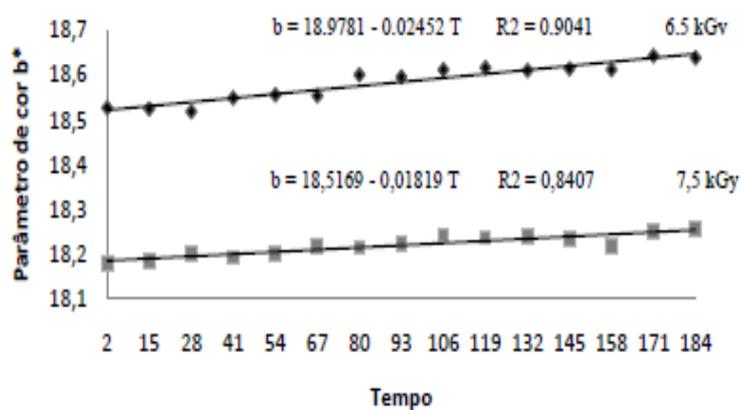


(b)

Gráfico 6, Cont



(c)



(d)

Para o parâmetro b^* , na análise de cor, houve diferenças entre a dose controle e as doses de radiação. Entretanto, não houve variações ao longo do tempo de armazenamento para as amostras não submetidas à irradiação,

conforme dados da Tabela 7B, Anexo B, dada a proximidade entre as médias. Já para as amostras submetidas à irradiação (6,5 kGy e 7,5 kGy), houve importante variação ao longo do tempo de armazenamento, com a diminuição dos valores de b^* , ou seja, as amostras que ficaram amareladas imediatamente após a irradiação, foram diminuindo a tonalidade de amarelo para branco.

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

Os resultados apresentados com relação às análises de cor dos grãos são visíveis. Assim, na Figura 8 observa-se a variação de cor dos grãos de arroz branco polido, no 2º dia e no 184º dia após a irradiação, em função das doses utilizadas.

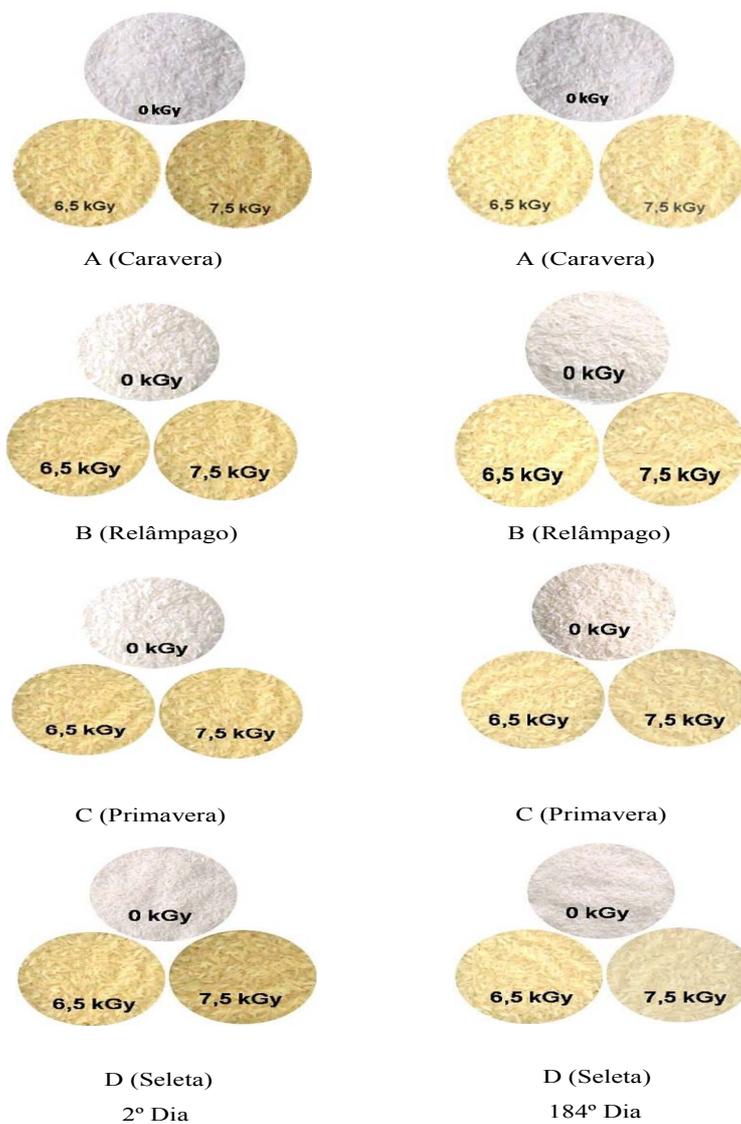


Figura 8 Variação de cor dos grãos de arroz branco polido, em função do tempo e da dose de radiação gama (^{60}Co).

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 melanoidinas, 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.

3.4.2 Ressonância paramagnética eletrônica (RPE)

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 radiação (6,5 kGy e 7,5 kGy), estão representados no Gráfico 7.

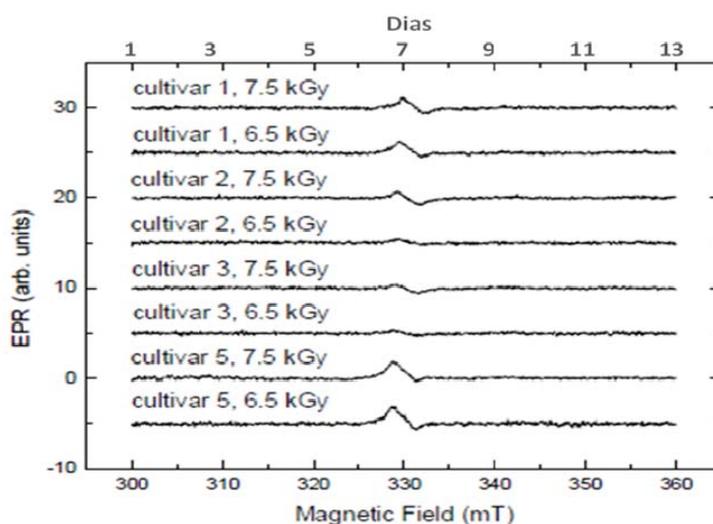


Gráfico 7 Espectros de RPE das cultivares Caravera (cultivar 1), Relâmpago (cultivar 2), Primavera (cultivar 3) e Seleta (cultivar 5), em função das doses de radiação.

Conforme representado nos espectros do Gráfico 7, 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 mostrou, ainda, que as cultivares Relâmpago e Primavera apresentaram menores níveis de radicais livres após a irradiação em relação às cultivares Caravera e Seleta.

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 sete primeiros dias consecutivos, após a irradiação.

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, a fim de que os radicais livres oriundos do processo de irradiação se reorganizem e se estabilizem.

3.5 Análises das propriedades reológicas

3.5.1 Propriedade de pasta

Os perfis viscoamilográficos apresentados no Gráfico 8 e na Tabela 16 referem-se à propriedade de pasta do amido das cultivares de arroz não irradiado e irradiado analisadas neste estudo, avaliados pelo Rapid Visco Analyser (RVA).

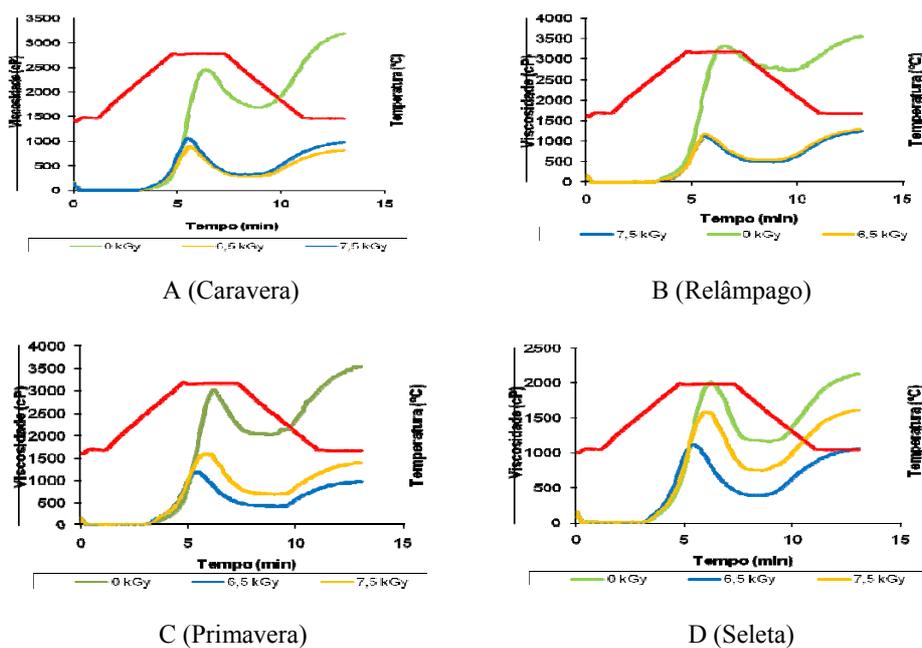


Gráfico 8 Perfis viscoamilográficos das cultivares de arroz Caravera (Figura 16A), Relâmpago (Figura 16B), Primavera (Figura 16C) e Seleta (Figura 16D), em função das doses de radiação gama (^{60}Co) (0kGy; 6,5kGy, 7,5kGy), avaliados pelo Rapid Visc Analyser (3g 25ml⁻¹).

O processo de irradiação gama (^{60}Co) 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) apresentaram redução intensa na viscosidade. 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 radiação gama (0kGy, 6,5kGy e 7,5kGy), obtidos a partir dos amilogramas, estão apresentados na Tabela 16.

Tabela 16 Valores médios* das propriedades de pasta de cultivares de arroz, em função das diferentes doses de radiação gama (0kGy, 6,5kGy e 7,5kGy).

PARÂMETROS	VALORES MÉDIOS*											
	Caravera			Relâmpago			Primavera			Seleta		
	0 kGy	6,5kGy	7,5kGy	0kGy	6,5kGy	7,5kGy	0kGy	6,5kGy	7,5kGy	0kGy	6,5kGy	7,5kGy
Temperatura inicial de pasta (°C)	89,9	85,37	81,1	78,42	84,05	87,2	78,67	76,85	77,72	79,57	77,05	78,95
Viscosidade máxima (cP)	2.448	894	1.605	3.332	1.162	1.128	3.018,5	1.207	1.596	2.013	1.121	1.586
Tempo da viscosidade máxima (min)	6,275	5,59	5,47	6,56	5,40	5,59	6,19	5,44	5,58	6,22	5,42	5,57
Viscosidade mínima (cP)	1681,5	274,5	307,5	2.781	523	485,5	2.021	413	684,5	1.160,5	386,5	744
Viscosidade final (cP)	3.191,5	819,5	978	3.555,5	1.276,5	1.237,5	3.547	982,5	1.398	2.127	1.060	1.613
“Setback” (cP)	1.632,25	545	670,5	674,5	753,5	752	1.526	569,5	713,5	966,5	673,5	896

*Média de 4 repetições

De acordo com os dados da Tabela 16, as alterações reológicas ocasionadas pelo aumento das doses de radiação 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 aumentar, esteve na faixa de 76,85°C a 89,9°C. Assim, a temperatura mínima necessária para o cozimento das amostras não foi significativamente afetada pela irradiação, embora as amostras irradiadas tenham apresentado 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), variando de 83,32°C 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 86,72°C a 92,84°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 aumentam as doses de radiação, nas cultivares Caravera e Seleta. Para as amostras não irradiadas, a viscosidade máxima variou entre 1.605,00 cP e 3.332,00 cP, tendo a cultivar Primavera sido a que apresentou maior viscosidade máxima. Já para as amostras irradiadas, a viscosidade máxima variou de 894,00 cP a 1.207,00 cP (6,5 kGy) e de 1.162,00 cP a 1.605,00 cP (7,5kGy), tendo a cultivar Caravera sido 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 cP (0kGy), 808,86 cP (6,5 kGy), 691,57 cP (7,5kGy) e Zanão (2007), que embora tenha aplicado diferentes doses de radiação (1,0kGy,

3,0 kGy e 5,0 kGy), também encontrou diferenças significativas entre a viscosidade máxima que variaram de 201,00 cP (0 kGy) a 61,00 cP (5,0 kGy).

Com relação ao tempo de cozimento, ou tempo da viscosidade máxima, as amostras irradiadas (6,5kGy e 7,5kGy) apresentaram menor tempo em relação ao controle, variando de 5,40 a 5,59 (6,5 kGy) e 5,47 a 5,59 minutos (7,5 kGy), enquanto a dose controle (0 kGy) variou de 6,19 a 6,56 minutos. Guimarães (2009), Zanão (2007) e Yu e Wang (2007) que também encontraram menor tempo de cozimento para as amostras submetidas à irradiação.

A viscosidade mínima variou consideravelmente entre as variáveis, tendo também sido afetada pela irradiação, variando entre 1.160,5 cP e 2.781,00 cP, na dose controle, entre 274,5 cP e 523,00 cP, na dose de radiação (6,5kGy) e entre 307,5 cP e 684,5 cP (7,5kGy). A viscosidade final, por sua vez, apresentou decréscimo em função das doses de radiação. A variação da viscosidade final foi de 2.127,00 cP e 3.547,00 cP para 0kGy, 819,50 cP e 1.276,5 cP para 6,5kGy e 978,00 cP e 1.613,00 cP 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 mínima. Conforme 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 (^{60}Co) 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 radiação. Em geral, a redução desse parâmetro variou entre 674,5 cP e 1.526,00 cP (0kGy), 545,00 cP e 753,5 cP (6,5 kGy), 670,5 cP e 869,0 cP (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.

Segundo Yu e Wang (2007), a irradiação gama (^{60}Co) pode gerar radicais livres nas macromoléculas de amido, que são capazes, por meio da hidrólise do amido de produzir pequenos fragmentos de dextrina, alterando sua estrutura e funcionalidade. Guimarães (2009), Zanão (2007) e Yu e Wang (2007) atribuem a diminuição da viscosidade do arroz à irradiação, causada pela modificação da microestrutura do amido.

3.6 Análises das propriedades microestruturais

3.6.1 Microscopia ótica sob luz polarizada

Para análise das microestruturas dos grânulos de amido das variedades de arroz, em função das doses de radiação (0kGy, 6,5kGy, 7,5kGy), foi utilizada a microscopia ótica sob luz polarizada, e os resultados estão expressos na Figura 9.

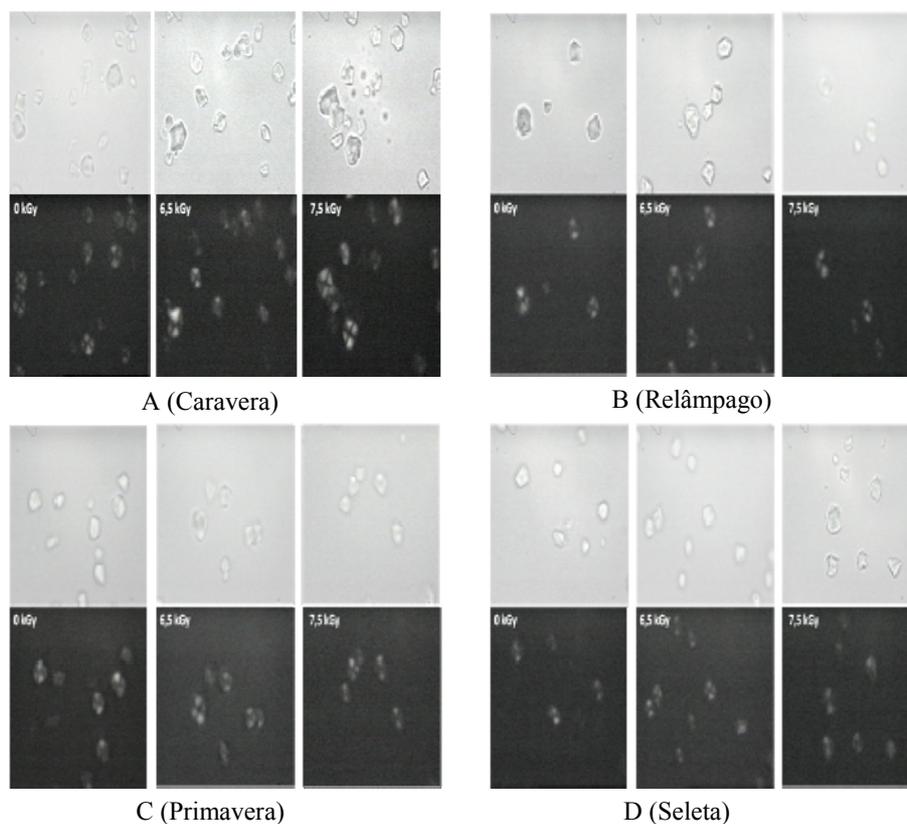


Figura 9 Fotomicrografias dos grânulos de amido das cultivares de arroz Caravera (Figura 9A), Relâmpago (Figura 9B), Primavera (Figura 9C) e Seleta (Figura 9D), em função das doses de radiação (0kGy; 6,5kGy. 7,5kGy), avaliadas em microscópio ótico sob luz polarizada (1000x).

Conforme 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 apresenta 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; BOUCHET; BADWIN, 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 neste estudo.

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 e Wang (2007), que observaram alterações na microestrutura dos grânulos de amido de arroz após irradiação.

4 CONCLUSÃO

Com base nos resultados encontrados no presente estudo, pode-se concluir que:

- a) as doses de radiação gama (^{60}Co) 6,5 kGy e 7,5 kGy são eficientes no controle de insetos-pragas do arroz das quatro cultivares analisadas;
- b) a dose de radiação gama 6,5 kGy não é efetiva na eliminação de fungos toxigênicos (*Aspergillus* spp.), entretanto, a dose de 7,5 kGy é suficiente no controle desse mesmo fungo;
- c) as doses de radiação 6,5 kGy e 7,5 kGy são efetivas na eliminação de fungos toxigênicos (*Penicillium* spp.);
- d) a presença de radicais livres nas amostras irradiadas só é encontrada no 6º e no 7º dia, contados a partir da irradiação, determinando um período de carência para a comercialização dos grãos, de uma semana;
- e) a irradiação gama provoca alterações na cor dos grãos, tornando-os mais amarelados com o aumento das doses de radiação, podendo ser uma característica que influencie na aceitação do produto;
- f) a irradiação gama provoca alterações na viscosidade da pasta das cultivares de arroz, diminuindo a viscosidade máxima, a viscosidade final e a tendência a retrogradação, à medida que aumentam as doses de radiação;
- g) as microestruturas dos grânulos de amido do arroz não são afetadas pela irradiação gama, mantendo a cristalinidade e a birrefringência.

REFERÊNCIAS

- AGUILAR, J. A.D.; ARTHUR, V. Dose letal de radiação gama para ovos de *Corcyra cephalonica* (Stainton, 1865) (Lepidoptera: Pyralidae), traça do arroz. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 51, n. 1, p. 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, jan. 1997.
- BERNARDES, A. **SAEG**: sistema para análises estatísticas: versão 9.1. Viçosa, MG: UFV, 2007.
- BRYCE, J. R.; POEMA, P. L. Microscopic examination of foods and care and use of the microscope. In: FENG, P.; WEAGANT, S. D.; GRANT, M. A. **Bacteriological analytical manual**. 8th ed. Gaithersburg: AOAC, 1995. p. 201-206.
- BURGT, Y. E. M. van der et al. Structural studies on methylated starch granules. **Starch/ Stärke**, Weinheim, v. 52, n. 2/3, p. 40-43, Apr. 2000.
- CIACCO, C. F.; CRUZ, R. **Fabricação de amido e sua utilização**. São Paulo: Secretaria da Indústria, Comércio, Ciência e Tecnologia, [1982]. 152 p.
- GALLANT, D. J.; BOUCHET, B.; BADWIN, P. M. Microscopy of starch: evidence of a new level of granule organization. **Carbohydrate Polymers**, Barking, v. 32, n. 3/4, p. 177-191, Mar./Apr. 1997.
- GOMES, A. S.; MAGALHÃES JUNIOR, A. M. **Arroz irrigado no sul do Brasil**. Brasília: Embrapa, 2004. 899 p.
- GUIMARÃES, I. C. O. **Efeito da irradiação gama (co-60) na qualidade e segurança do arroz**. 2009. 115 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.
- HUSSEIN, H. S.; BRASEL, J. M. Toxicity, metabolism, and impact of mycotoxins on humans and animals. **Toxicology**, Limerick, v. 167, n. 2, p. 101-134, Oct. 2001.
- LEE, J.; O. H. et al. The effect of irradiation temperature on the non-enzymatic browning reaction in cooked rice. **Radiation Physics and Chemistry**, Oxford, v. 76, n. 5, p. 886-892, May 2007.

LUCCA FILHO, O. A. Metodologia dos testes de sanidade em sementes. In: SOAVE, J.; WETZEL, M.V. da S. (Ed.). **Patologia de sementes**. Campinas: Fundação Cargill, 1987. p. 276-298.

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

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

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

NEWPORT SCIENTIFIC. **Operation manual for the Series 4 rapid Visco Analyser**. Vienna: Instrument Support Group, 1995. 92 p.

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

ROY, M. K.; GHOSH, S. K.; CHATTERJEE, S. R. Gamma-irradiation of rice grains. **Journal of Food Science and Technology**, Oxford, v. 28, n. 4, p. 337-340, Aug. 1991.

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

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

SOUZA, A. S.; MARIA NETTO, F. Influência da irradiação e do armazenamento nas características estruturais da proteína de soja. **Revista brasileira de tecnologia de alimentos**, Campinas, v. 9, n. 3, p. 36-43, jan. 2006.

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS. **Tabela brasileira de composição de alimentos**: versão 2. Campinas, 2006.

WHISTLER, R. L. **Methods in carbohydrate chemistry**. New York: Wiley, 1994. v. 4, 332 p.

YU, Y.; WANG, J. Effect of γ -ray irradiation on starch granule structure and physicochemical properties of rice. **Food Research International**, Amsterdam, v. 40, n. 2, p. 297-303, Mar. 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.** 2007. 71 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2007.

ANEXOS

ANEXO A

Tabela 1A 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 dos tipos de arroz.

Tabela 2A 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 para as respectivas cultivares.

Tabela 3A 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 dos tipos de arroz.

Tabela 4A Análise de variância, significância e coeficiente de variação das variáveis aparência, aroma, sabor, textura e aspecto global em função dos tipos de arroz.

Figura 1A Modelo de ficha de respostada análise sensorial, utilizando-se a escala hedônica de nove pontos para o Teste de Aceitação

Tabela 1A Análise de variância, significância e coeficiente de variação das variáveis grãos inteiros $\frac{3}{4}$, $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{4}$ + quirera, casca e farelo, envolvidas no beneficiamento, em função dos tipos 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
CV (%)		3,34	8,63	16,88	2,71	3,19	11,92

* F significativo, a 1% de probabilidade;

Tabela 2A 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, para as respectivas cultivares.

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 ^{ns}
Resíduo	8	0,22	0,011	0,56	0,0026	0,0008	0,46	2,85
CV (%)		3,66	31,42	8,90	21,01	10,66	0,87	0,485

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

Tabela 3A 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 dos tipos 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 ^{ns}	0,23*	5,85*	
Resíduo	8	0,00	0,028	0,01	0,46	
CV (%)		0,00	5,01	3,32	9,78	

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

Tabela 4A 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	Aparência
Fonte	3	5,64*	4,25*	4,64*	5,50*	3,89*	5,64*
Resíduo	8	16,11	6,45	28,39	12,87	21,40	16,11
CV (%)		20,63	17,63	24,03	22,32	19,16	20,63

* F significativo, a 1% de probabilidade;

FICHA DE AVALIAÇÃO SENSORIAL

Sexo:

Idade:

Data:

Por favor, avalie as amostras de arroz da esquerda para a direita e indique, utilizando a escala abaixo, o quanto você gostou ou desgostou de cada amostra.

9 - gostei extremamente					
8 - gostei muito	Nº da	Nota	Nota	Nota	Nota
7 - gostei moderadamente	Amostra	Aparência	Sabor	Textura	Aspecto Global
6 - gostei ligeiramente					
5 - nem gostei/ nem desgostei	_____	_____	_____	_____	_____
4 - desgostei ligeiramente	_____	_____	_____	_____	_____
3 - desgostei moderadamente	_____	_____	_____	_____	_____
2 - desgostei muito	_____	_____	_____	_____	_____
1 - desgostei extremamente	_____	_____	_____	_____	_____

Comentários: _____

Figura 1A Modelo de ficha de resposta da análise sensorial, utilizando-se a escala hedônica de nove pontos para o teste de aceitação

ANEXO B

Tabela 1B Valores médios e desvios padrão de Gorgulho em função das variedades de arroz, tempo e doses de radiação

Tabela 2B Valores médios e desvios padrão de Traça em função das variedades de arroz, tempo e doses de radiação

Tabela 3B Valores médios e desvios padrão de *Aspergillus* em função das variedades de arroz, tempo e doses de radiação

Tabela 4B Valores médios e desvios padrão de *Penicillium* em função das variedades de arroz, tempo e doses de radiação

Tabela 5B Valores médios da leitura do parâmetro L* em função das variedades de arroz, tempo e doses de radiação

Tabela 6B Valores médios da leitura do parâmetro a* em função das variedades de arroz, tempo e doses de radiação

Tabela 7B Valores médios da leitura do parâmetro b* em função das variedades de arroz, tempo e doses de radiação

Tabela 1B Valores médios e desvios padrões de gorgulho, em função das variedades de arroz, tempo e doses de radiação.

Tempo (dias)	Caravera			Relâmpago			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±3,01	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 3B Valores médios e desvios padrão de *Aspergillus*, em função das variedades de arroz, tempo e doses de radiação.

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	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 4B Valores médios e desvios padrão de *Penicillium* spp., em função das variedades de arroz, tempo e doses de radiação

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 5B Valores médios da leitura do parâmetro L*, em função das variedades de arroz, tempo e doses de radiação.

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 6B Valores médios da leitura do parâmetro a*, em função das variedades de arroz, tempo e doses de radiação.

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 7B Valores médios da leitura do parâmetro b*, em função das variedades de arroz, tempo e doses de radiação.

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	18,98	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	16,03	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