

NATANIELLI ALVES DE SOUSA E SILVA

**OZONIZAÇÃO E IRRADIAÇÃO GAMA (^{60}CO)
COMO PROCESSOS ALTERNATIVOS NO
ARMAZENAMENTO DE ARROZ**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, para obtenção do título de Doctor Scientiae.

**VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
2015**

Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa

T

S586o
2015

Silva, Natanielli Alves de Sousa e, 1982-
Ozonização e irradiação gama (60 CO) como processos
alternativos no armazenamento de arroz / Natanielli Alves de Sousa e
Silva. - Viçosa, MG, 2015.
xii, 78f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Orientador: Mônica Ribeiro Pirozi.
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.
Referências bibliográficas: f.69-78.

1. Arroz - Armazenamento - Efeito de radiação gama. 2. Ozônio
- Efeito nos grãos. 3. Arroz - Qualidade. 4. Fungos. I. Universidade
Federal de Viçosa. Departamento de Tecnologia de Alimentos.
Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos.
II. Título.

CDD 22. ed. 633.18

NATANIELLI ALVES DE SOUSA E SILVA

**OZONIZAÇÃO E IRRADIAÇÃO GAMA (^{60}CO)
COMO PROCESSOS ALTERNATIVOS NO
ARMAZENAMENTO DE ARROZ**


Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, para obtenção do título de Doctor Scientiae.

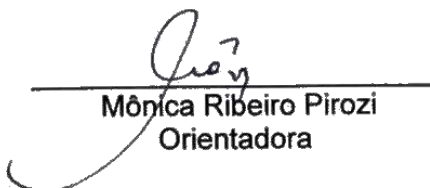
APROVADA: 23 de setembro de 2015.


Plínio César Soares


Eber Antônio Alves Medeiros


Lêda Rita D'Antonino Faroni
Coorientadora


Paulo Roberto Cecon
Coorientador


Mônica Ribeiro Pirozi
Orientadora

A meus amados e
inesperados filhos, Clara e
Lucas, pelo verdadeiro
sentido da vida.

DEDICO

A Divino Daniel Vitor (in
memoriam) pelas lições no
final do expediente e pelo
sorriso eterno esculpido
em minha mente.

OFEREÇO

“Se tu choras por ter perdido o sol, as lágrimas te impedirão de ver as estrelas.”

Antoine de Saint-Exupéry

“Desistir... Eu já pensei seriamente nisso, mas nunca me levei a sério; é que tem mais chão nos meus olhos do que cansaço nas minhas pernas, mais esperança nos meus passos do que tristeza nos meus ombros, mais estrada no meu coração do que medo na minha cabeça.”

Cora Coralina

AGRADECIMENTOS

A todos aqueles que, direta ou indiretamente, tornaram possível a realização deste trabalho.

A Deus pelo dom da vida, meu bem mais precioso, por sua imensa bondade e misericórdia.

À minha família, meu segundo bem mais precioso, principalmente meus filhos, Clara e Lucas, fonte de inspiração e motivação para o término de mais este trabalho. Ao meu marido, Giovane, companheiro fiel e inseparável em todos os momentos da minha vida. Aos meus pais, Altino e Margarida, meu porto seguro, luz no fim do túnel, mão amiga nas horas de desespero, obrigada pelo apoio incondicional e por nunca desistirem de mim. Ao meu irmão, Natanael, e minha cunhada, Cristiane, pela força e pelo empurrão. Aos meus sogros, Darcy e Goreti, pelas orações; meus cunhados, Elton e Laís, pela presença. Aos meus tios e primos, principalmente Eliane, Bárbara, Mateus e Patrícia, por se importarem.

À minha orientadora, Prof^ª. Mônica Ribeiro Pirozi, pelos seus ensinamentos; por se fazer presente nos momentos bons e difíceis da minha vida; pelo pulso firme e pelo abraço acolhedor na hora exata.

Aos professores Lêda Rita D'Antonino Faroni, Paulo Roberto Cecon e Afonso Mota Ramos, pelos indispensáveis conhecimentos e oportunidade de tê-los como colaboradores.

Aos amigos do LAFA, Ana Paula, Flavia Campelo, Antônio Maradini, João Tomaz e Claudia Vieira, pelo apoio, troca de experiências e auxílio na parte experimental. Tatiana Borges, Isabela Campelo, Eduardo Domenez, a todos bolsistas e estagiários que passaram pelo laboratório ao longo desses anos, agradeço a ótima convivência. Em especial, agradeço à Adriz Ricardo e Lucas Domenez, minhas 'crianças' favoritas, minha equipe de trabalho, meus pés e mãos, pela dedicação e afinco, noites famintas e não dormidas. Pelas longas caminhadas ao sol quente e por todo esforço para que este trabalho fosse realizado. Essa conquista eu divido com vocês!

Aos funcionários do DTA/UFV, pela colaboração e ajuda, em especial, ao saudoso Divino (in memoriam) e Juliana Fialho pelo apoio técnico; Maria Geralda e Polyana, pelo aporte; Carla e Letícia, pela presença; Perereca, Edimir, Piu, Marcos e Pi, pelo auxílio.

Ao professor Antônio Galvão do Nascimento e ao técnico Hugo Genier, do Departamento de Microbiologia e Laboratório de Fisiologia de Micro organismos, pela disponibilidade e apoio na realização das análises de cromatografia.

Aos colegas do Departamento de Engenharia Agrícola, Laboratório de Pré-Processamento e Armazenamento de Produtos Agrícolas, Fernanda, Romenique, Gutierrez, Juliana Lobo, Tales Afonso e André Costa, pela enorme ajuda na ozonização.

À EPAMIG/URESM/Lavras, nas pessoas de Moizés, Janir e Claudinha, pela ajuda. E, de forma especial, à Vanda Maria Cornélio (minha parceira) pelas amostras, por viabilizar as análises de microbiologia e, principalmente, por mais uma vez contribuir com a realização de mais um trabalho.

Ao Cristiano (Pepe), do Laboratório de Patologia de Sementes do Departamento de Fitopatologia da UFLA, pelas análises de microbiologia.

Aos pesquisadores e funcionários do CDTN/CNEN, 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 pesquisador do CTAA/EMBRAPA/RJ, Laboratório de Reologia, Dr. Carlos Wanderlei Piler, pela colaboração nas análises de RVA.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de bolsa de doutorado.

As amigas de longa data: Carla, Manoela, Fabrícia, Juliana, Junice, Katia e Ana Lúcia, pelo apoio e amizade.

AGRADEÇO.

BIOGRAFIA

Natanielli Alves de Sousa e Silva, filha de Altino Alves de Sousa Filho e Maria Margarida Teixeira Alves de Sousa, nasceu em Viçosa, Minas Gerais, em 16 de junho de 1982. Graduada em Economia Doméstica pela Universidade Federal de Viçosa (UFV), Minas Gerais, onde estudou de março de 2003 a janeiro de 2008. Mestre em Ciência dos Alimentos pela Universidade Federal de Lavras, onde estudou de agosto de 2008 a fevereiro de 2010. Ingressou no doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos no Departamento de Tecnologia de Alimentos (DTA) da Universidade Federal de Viçosa (UFV), Minas Gerais, em março de 2010.

SUMÁRIO

RESUMO.....	ix
ABSTRACT.....	xi
1 INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	3
2.1 Objetivo Geral	3
2.2 Objetivos Específicos	3
3. REFERENCIAL TEÓRICO	4
3.1. Qualidade do arroz.....	4
3.2 Armazenamento	5
3.2.1 Vantagens e limitações.....	5
3.3. Métodos de controle	7
4. METODOLOGIA.....	14
4.1 Local do experimento	14
4.2 Material.....	14
4.3 Fluxograma do experimento	15
4.4 Tratamentos.....	17
4.5 Métodos.....	20
4.5.1. Teste de sanidade	20
4.5.2. Caracterização físico-química.....	21
4.5.3. Rendimento dos grãos.....	21
4.5.4. Renda do benefício.....	21
4.5.5. Teste de cocção	22
4.5.6. Caracterização da propriedade de pasta	23
4.5.7. Armazenamento	24
4.5.8. Quantificação de proteínas do arroz.....	24
4.5.9. Quantificação das proteínas por cromatografia líquida de alta eficiência por exclusão molecular – análise e leitura dos dados.....	24
4.5.10. Condutividade elétrica	25
4.5.11. Atividade de água	26

4.5.12. Avaliação de cor	26
4.5.13. Análise do grau de infestação por insetos-pragas de grãos armazenados	26
4.5.14. Quantificação e determinação de fungo.	27
4.6. Delineamento experimental e análises estatísticas	27
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	29
5.1 Efeito do armazenamento sobre a qualidade tecnológica e físico-química dos grãos de arroz.	29
5.1.1. Composição centesimal.....	29
5.1.2. Rendimento dos grãos e renda do benefício	35
5.2 Ozonização: Processo alternativo para o tratamento de grãos de arroz.	41
5.2.1. Teste de sanidade	41
5.2.2. Tempo de saturação e concentração residual do ozônio.....	41
5.2.3. Efeito da ozonização sobre a qualidade tecnológica e físico-química dos grãos de arroz.....	42
5.2.4 Efeito da ozonização e irradiação gama (⁶⁰ Co) sobre a qualidade tecnológica e físico-química dos grãos de arroz.....	56
6. CONCLUSÕES	66
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS	67
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	69

RESUMO

SILVA, Natanielli Alves de Sousa e, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, setembro de 2015. **Ozonização e irradiação gama (^{60}CO) como processos alternativos no armazenamento de arroz.** Orientador: Mônica Ribeiro Pirozi. Coorientadores: Leda D'Antonino Faroni, Paulo Roberto Cecon e Afonso Mota Ramos.

As características determinantes da qualidade do arroz influenciam diretamente o valor de mercado do grão, bem como a aceitação pelo consumidor. O período de armazenamento é uma etapa necessária para os grãos atingirem desejável maturação pós-colheita, melhorando especialmente suas propriedades culinárias. É nesse período que são acometidos por insetos-praga e fungos de armazenamento. Não há, no Brasil, fungicidas registrados pelo MAPA para tratamento pós-colheita de grãos de arroz. Deste modo, fazem-se necessários processos alternativos de controle de pragas e fungos. Foram investigados os efeitos do ozônio e da radiação gama (^{60}CO) em grãos de arroz, no controle de insetos-praga, fungos toxigênicos e nas características físico-químicas e reológicas após tratamento e armazenamento. Foram utilizados grãos de arroz com teor de água de 12% b.u. O processo de ozonização realizou-se utilizando 1000 g de grãos acondicionados em recipientes cilíndricos de PVC (20 x 30 cm), com conexões para injeção e exaustão de gás aplicado na concentração de 2,14 mg L⁻¹, em fluxo contínuo de 1,5 L min⁻¹. Foram estabelecidos cinco períodos de exposição (5, 24, 48, 72 e 96 h) para avaliar o efeito do gás na desinfecção microbiológica e na qualidade dos grãos de arroz. No processo de irradiação utilizou-se radiação gama ^{60}CO , na dose de 7,5 kGy, a 22,5 cm de distância da fonte, taxa dose de 4,783 kGy h⁻¹, por 94 min. Observou-se que a concentração e o tempo de saturação do gás ozônio nos grãos de arroz foi de 1,796 mg L⁻¹ e 180,93 min, respectivamente. O ozônio interferiu diretamente na composição centesimal aumentando os teores de lipídeos e cinza do arroz; promoveu a diminuição do rendimento dos grãos e renda do benefício, à medida que se aumentou o período de exposição ao gás; influenciou a qualidade de cocção, aumentando o tempo e o índice de absorção de água durante a cocção; por outro lado, não exerceu efeito nas propriedades de pasta, promovendo o aumento da luminosidade, tendendo mais ao branco à medida que se aumentou o período de exposição ao gás; foi eficiente no combate a insetos-praga e a *Penicillium* sp., mas não reduziu a incidência de *Aspergillus* sp. A radiação gama ^{60}CO aumentou

significativamente os teores de proteína, lipídeos e cinzas; diminuiu o rendimento dos grãos e a renda do benefício; interferiu nas características de cocção do arroz, aumentando o índice de absorção de água e o coeficiente de expansão do volume; exerceu efeito nas propriedades de pasta do arroz aumentando a tendência à retrogradação e diminuindo a viscosidade final; promoveu a diminuição da luminosidade, tendendo ao amarelo; foi eficiente no combate a insetos-praga e reduziu a incidência de *Penicillium* sp e *Aspergillus* sp. O ozônio e a radiação gama influenciaram na composição das proteínas do arroz, causando queda nos percentuais de solubilidade proteica e um aumento nos percentuais de proteínas poliméricas não-extraíveis (UPP). A condutividade elétrica foi afetada significativamente pelo ozônio. A radiação gama ⁶⁰CO ocasionou ligeiro aumento na atividade de água. Os resultados indicam que ambos os tratamentos são boas alternativas para o controle de insetos-praga e de fungos, contudo, mais estudos são necessários.

ABSTRACT

SILVA, Natanielli Alves de Sousa e, D.Sc., UFV, Setembro, 2015. **Ozonation and gamma irradiation (^{60}CO) as alternative processes for rice storage.** Adviser: Mônica Ribeiro Pirozi. Co-advisers: Leda D'Antonino Faroni, Paulo Roberto Cecon and Afonso Mota Ramos.

The determinant characteristics of rice quality directly influence consumer acceptance and the market value of the grain. The storage period is a necessary step towards achieving its post-harvest maturation, thus improving its culinary properties. It is during this storage period that the rice may be affected by pest insects and fungi. In Brazil, there are no fungicides registered by MAPA for the post-harvest treatment of rice grains. Therefore, it is necessary to employ alternative methods for the control of pests and fungi in these grains. The chemical characteristics, rheological properties and other effects of ozone and gamma radiation (^{60}CO) upon rice grains were investigated when these were used to control pests and toxigenic fungi, after processing and during storage. In the ozonation process, 1000g of rice grains with 12% b.u. water content were packed in cylindrical PVC containers (20 x 30 cm), with connections for injections and exhaust gas. Ozone was administered at a concentration of 2.14 mg L⁻¹, with a continuous flow of 1.5 L min⁻¹. There were five periods of exposure (at 5, 24, 48, 72 and 96 hours) to evaluate the efficacy of the gas in microbiological disinfection, and its effect on the quality of the rice grains. The irradiation process used gamma radiation with ^{60}CO at a dose of 7.5 kGy at 22.5 cm distance from the source, with a dose rate of 4.783 kGy h⁻¹ for 94 minutes. Ozone concentration and gas saturation time in the rice grains was 1.796 mg L⁻¹ and 180.93 minutes, respectively. Ozone interfered directly in the centesimal composition, increasing the levels of lipids and turning the rice gray. The use of ozone reduced yields of grains and, consequently, income benefit because of an increased gas exposure period. It affected the cooking quality by increasing the cooking time and the water absorption index. Ozone use had no effect on paste properties, but promoted increased luminosity of the grains, making them whiter. An increased gas exposure period was efficient in combating insect pests and *Penicillium sp.*, but did not reduce the incidence of *Aspergillus sp.* The gamma radiation ^{60}CO significantly increased protein levels, lipids and ash, and decreased the yield of

grain and, therefore, income benefit. The radiation interfered with rice cooking characteristics, increasing the water absorption index and the volume expansion coefficient. It exerted an effect on the rice paste properties, increasing the tendency to retrogradation and decreasing the final viscosity. The radiation also encouraged luminosity reduction, tending to tint the grains yellow. It was efficient in combating insect pests and reducing the incidence of *Penicillium sp* and *Aspergillus sp*. Ozone and gamma radiation influenced the composition of the rice protein, leading to a decrease in the percentage of protein solubility and an increase in the percentage of polymeric non-extractable proteins (UPP). The electrical conductivity of the rice was significantly affected by ozone; whereas ⁶⁰CO gamma radiation resulted in a modest increase in water activity. The results indicate that both treatments are safe alternatives for the control of insect pests and fungi when storing rice; however, more studies are needed.

1 INTRODUÇÃO

O arroz é um dos cereais mais consumidos no mundo. No Brasil, o grão se encontra entre os primeiros do “*ranking*”, ficando atrás apenas do trigo e o milho. A explicação está no fato de ser um alimento consumido principalmente na forma de grãos inteiros, diferentemente dos demais que são comumente consumidos na forma de farinha (GOMES et al, 2004). É excelente fonte de energia, devido à alta concentração de amido, fornecendo também proteínas, vitaminas e minerais, além de baixo teor de lipídios. Possui atributos únicos, como baixo índice glicêmico, facilidade de digestão, sabor suave e baixo potencial alergênico (CHAMPAGNE et al, 2004).

Os aspectos determinantes da qualidade dos grãos de arroz são mais amplos e complexos que aqueles considerados em outros cereais. Usualmente, aspectos como rendimento, aparência dos grãos antes e após cozimento, odor, consistência e sabor são rigorosamente avaliados antes de sua comercialização (CASTRO et al, 1999).

A qualidade “de panela” do arroz, relativa à maciez, sabor e rendimento após o cozimento é a característica principal e mais importante do grão em função de suas propriedades físico-químicas. Essa qualidade culinária pode ser afetada pelo envelhecimento do grão, dito de outra forma, pelas mudanças decorrentes de alterações físico-químicas nos grãos após colheita, armazenamento e beneficiamento. As alterações progressivas das propriedades físico-químicas do arroz ocorrem, principalmente, nos três ou quatro primeiros meses de armazenagem, e independem das condições ambientais. São mais intensas no arroz beneficiado do que no arroz em casca melhorando o seu comportamento de cocção, tornando seus grãos mais secos e soltos após o cozimento (FITZGERALD, 2004; FONSECA; CASTRO, 2008).

Quando o arroz é armazenado, sofre danos pelas mais diversas causas, tais como temperatura, umidade, ataque de roedores, insetos e micro organismos, sendo os insetos e fungos os principais causadores de grandes perdas qualitativas e quantitativas. Os insetos, quando infestam o arroz, trazem prejuízos às características sensoriais e econômicas do grão, podendo também

ser veículos para contaminações fúngicas que inviabilizam a sua comercialização. Algumas espécies de fungos contaminantes são responsáveis pela produção de micotoxinas que causam danos à saúde, podendo levar à morte por intoxicação, em casos mais extremos (TANAKA et al., 2007; ZANÃO et al., 2009).

A utilização contínua de defensivos químicos para o controle dessas pragas vem causando problemas como o de resistência a esses produtos, além de outros inconvenientes como contaminação do ambiente, ocorrência de resíduos tóxicos nos grãos, intoxicação animal e humana (ZANÃO et al., 2009). Em virtude destes inconvenientes, se faz necessário o desenvolvimento de novas pesquisas que busquem outros métodos de controle dessas pragas, dentre os quais se destaca a irradiação gama e a ozonização.

Estudos sobre segurança alimentar comprovaram a eficiência da irradiação gama (^{60}Co) e da ozonização na conservação e proteção dos alimentos, capazes de eliminar e degradar insetos-pragas e fungos-produtores de micotoxinas em grãos armazenados (ZANÃO et al, 2009; GUIMARÃES et al 2012; ALENCAR et al, 2012; CHEN et al. 2014; SAVI et al, 2014). Estes tratamentos não representam prejuízo à saúde, uma vez que a meia vida do ozônio (O_3) é muito curta, não deixando resíduo nos produtos, enquanto na irradiação o alimento nunca entra em contato direto com a fonte de radiação e por isso não se torna radioativo.

A utilização destes tratamentos no controle de insetos-praga e fungos toxigênicos em grãos armazenados poderá contribuir para maior promoção e obtenção de alimento seguro do ponto de vista alimentar. Contudo, os estudos nessa temática ainda são escassos e as informações sobre esses métodos são incipientes, dificultando a sua reprodutibilidade e aplicabilidade. O presente estudo busca investigar os efeitos da ozonização e da irradiação gama (^{60}CO) em grãos de arroz no controle de insetos-praga e fungos de armazenamento, bem como nas suas características físico-químicas e reológicas.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

A proposta deste estudo foi investigar os efeitos do ozônio e da irradiação gama (^{60}Co) em grãos de arroz no controle de insetos-praga e de fungos toxigênicos, bem como nas suas características físico-químicas e reológicas, após tratamento e armazenamento.

2.2 Objetivos Específicos

- ✓ Investigar os efeitos dos tempos de exposição ao ozônio nas características de beneficiamento, teste de cocção, composição centesimal, grau de infestação, quantificação e determinação de fungos de grãos de arroz armazenados por 90 dias;
- ✓ Investigar os efeitos dos tratamentos, do ozônio e radiação gama (^{60}Co) nas características de beneficiamento, teste de cocção, composição centesimal, condutividade elétrica, atividade de água, cor, grau de infestação, quantificação e determinação de fungos de grãos de arroz armazenados por 90 dias;
- ✓ Investigar os efeitos do ozônio e irradiação gama (^{60}Co), na quantificação proteica do arroz por meio de cromatografia líquida de alta eficiência por exclusão molecular;
- ✓ Verificar o efeito do ozônio e irradiação gama (^{60}Co) no comportamento reológico do arroz, pela análise do perfil de viscosidade aparente da pasta dos grãos de arroz por Rapid Visco Analyser;
- ✓ Analisar o efeito do ozônio e irradiação gama (^{60}Co) no grau de infestação por insetos, na determinação e quantificação de fungos e na quantificação do teor de contaminação por aflatoxinas totais por meio de cromatografia líquida de alta eficiência com detecção por fluorescência.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1. 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. 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 (CHILDS, 2004; MONGE-ROJAS et al., 2014). Felizmente, o padrão de qualidade do grão exigido pelo mercado consumidor brasileiro é bem homogêneo, quando comparado a outros países.

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, polidos 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 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; CHILDS, 2004; SANG et al., 2013; WU et al., 2013).

Segundo a Instrução Normativa nº 6, 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. 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 apresentam 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 0,1% e percentual de grãos mofados, ardidos e enegrecidos por contaminação fúngica igual ou superior a 5%.

Algumas características de qualidade são destacadas pelos testes de cocção, os quais compreendem vários testes normativos para identificar o comportamento culinário do arroz quando cozido (KIM et al., 2015). Embora as características do arroz durante o processo de cocção possam ser influenciadas por fatores como maturação fisiológica 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 (FONSECA; CASTRO, 2008; NAITO et al., 2015).

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 (WANG et al., 2012). Do ponto de vista nutricional, o arroz polido caracteriza-se por alta porcentagem de amido ($80 \text{ g} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$) e baixos teores lipídico ($0,6 \text{ g} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$), proteico ($6,5 \text{ g} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ a $7,1 \text{ g} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$) e de fibra alimentar ($1,3 \text{ g} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$). 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 (CHAMPAGNE et al, 2004; OKADA et al., 2007).

3.2 Armazenamento

3.2.1 Vantagens e limitações

O período de repouso pós-colheita ou de armazenamento é uma etapa necessária para os grãos de arroz atingirem a maturação pós-colheita desejável para sua comercialização, devido a mudanças na qualidade dos grãos, decorrentes de alterações físico-químicas ao longo do tempo, melhorando especialmente suas propriedades culinárias (FONSECA; CASTRO, 2008; KONO et al., 2014).

O produto armazenado constitui um sistema biológico no qual interagem fatores bióticos e abióticos. 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 insetos-pragas de grãos armazenados, fungos, bactérias, ácaros, pássaros e roedores (HARA, 1999; CHOI et al., 2015).

Os insetos-pragas 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. Os danos causados aos grãos interferem no sabor, sendo classificado pelo consumidor como “sem sabor”, acarretando prejuízo econômico para o produtor e para a indústria (ZANÃO, 2007; ZANÃO et al, 2009; GUENHA et al., 2014).

Os fungos, principalmente os fungos de armazenamento, 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 (SIMIONATO et al., 2003; TANAKA et al., 2007).

Recentemente, casos de intoxicação por citreoviridina, uma micotoxina, foram diagnosticados no Brasil, no estado do Maranhão, a partir do consumo de arroz contaminado, provocando quadros clínicos de beribéri e levando dezenas de pessoas à morte pela deficiência de vitamina B1 (LIRA; ANDRADE, 2008; HOELTZ et al., 2009).

Um levantamento para avaliar a presença de aflatoxinas em arroz beneficiado polido tipo I, destinado ao consumo dos militares do Exército Brasileiro no período de novembro de 2003 a fevereiro de 2004 verificou a

ocorrência de aflatoxinas B1 e B2 por Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (SILVA et al., 2008). Neste sentido, um estudo recente desenvolvido na china, realizou análises em 370 amostras coletadas em diferentes regiões dos pais, identificando a presença de 63,5% de aflatoxinas e 4,9% de ocróxina A (LAI et al., 2015).

3.3. Métodos de controle

Existem dois processos básicos no controle de micotoxinas em alimentos: descontaminação e detoxificação (OZDEMIR; OZILGEN, 2012). O primeiro é definido como a remoção física das unidades contaminadas, o segundo é a remoção ou destruição da toxina nas unidades contaminadas (ALENCAR et al, 2012).

Um processo de detoxificação ideal deve inativar, destruir ou remover a toxina completamente ou reduzir sua concentração em níveis aceitáveis; não produzir resíduos tóxicos na matéria-prima ou subproduto; preservar o valor nutricional do alimento; destruir micélios e esporos de fungos de modo a evitar a produção da toxina; ser eficiente economicamente; ser de fácil uso e aprovado por agências reguladoras (SHAPIRA; PASTER, 2004; ALENCAR et al, 2012).

As estratégias incluem métodos de inativação térmica, irradiação, extração com solvente, inativação microbiológica, métodos químicos, fermentação e ozonização. Os métodos químicos de inativação têm sido amplamente testados devido à grande capacidade de degradação e inativação das aflatoxinas. Entretanto, apesar da significativa capacidade das substâncias químicas, na maioria das vezes tais métodos são inviáveis tecnicamente e economicamente, proporcionam formação de resíduos tóxicos ou alteram a composição nutritiva dos alimentos (ALENCAR et al, 2012).

Pesquisas recentes utilizando a irradiação gama (^{60}Co) como método de desinfestação e descontaminação de grãos de arroz, comprovaram sua eficiência no combate a insetos-pragas de grãos armazenados, bem como na descontaminação destes grãos a partir de doses de radiação de 6,5 kGy. Estes estudos verificaram que a irradiação não alterou o percentual de quebra dos grãos durante o beneficiamento, não alterando de maneira significativa a

composição centesimal e o conteúdo de amilose aparente. Entretanto, a propriedade de pasta foi alterada, ocorrendo redução da temperatura inicial de pasta, diminuição do tempo para ocorrência do pico viscosidade, redução nos valores de viscosidade máxima e viscosidade final e a tendência à retrogradação se tornou menos acentuada com o incremento das doses de radiação. Foram detectadas ainda diferenças na intensificação da cor dos grãos à medida que se aumentavam as doses e diferenças significativas no aspecto sensorial (ZANÃO et al., 2009; SILVA, 2010; GUIMARÃES et al., 2012; BAN et al., 2014; WANYO et al., 2014; MUSTAPHA et al., 2014).

A eficiência da ozonização no controle de fungos e espécies potencialmente produtoras de aflatoxinas foi demonstrada por Alencar et al. (2012) e Chen et al. (2014) em amendoins. A ozonização na concentração de 21 mg L⁻¹ após 96 h de exposição promoveu redução nas unidades formadoras de colônias por grama, superior a 3 ciclos log e redução nas concentrações de aflatoxinas totais e aflatoxina B1 de aproximadamente 30 e 25%, respectivamente. Outro estudo demonstrou que farinha obtida a partir de grãos de trigo ozonizados não diferiu significativamente do controle quanto à composição centesimal e características (PAES et al, 2010).

3.4. O ozônio

Os principais métodos para a síntese do ozônio consistem na exposição do O₂ à luz ultravioleta ou à descarga eletroquímica. Na formação do ozônio, o oxigênio molecular é dissociado e o oxigênio livre resultante reage com outro oxigênio diatômico para formar a molécula triatômica de ozônio. O método de descarga eletroquímica, conhecido como efeito corona, é o mais utilizado comercialmente, pois gera uma quantidade maior de ozônio com menor custo. No efeito corona, o ozônio é gerado quando uma corrente alternada de alta voltagem é descarregada na presença de oxigênio, como os relâmpagos na natureza. O gerador artificial de ozônio reproduz, de forma controlada e eficaz, este fenômeno natural, aliando a alta tecnologia na área de materiais e eletroeletrônica avançada (KHADRE et al., 2001; CHIATTONE et al., 2008; MENNAD et al., 2014).

O ozônio é permitido na Europa, como desinfetante de água para o consumo humano desde 1893. Nos Estados Unidos, apenas em 1982 o FDA (Food and Drug Administration), por considerá-lo substância GRAS (Generally Recognized as Safe), liberou seu uso no processo de lavagem de garrafas para comercialização de água (USDA, 1997).

Como agente conservante de alimentos, o primeiro uso do ozônio foi em 1909, na forma gasosa, em câmaras frias de estocagem de carnes, como desinfetante, no entanto, não atingiu maiores proporções na indústria de alimentos, principalmente devido ao seu custo em relação a outras substâncias como, por exemplo, o cloro. O problema é que os compostos clorados vêm sofrendo restrições desde 1975, quando se descobriu que sua aplicação em materiais orgânicos pode gerar organoclorados (Trihalometanos – THMs), os quais são potencialmente cancerígenos (WEI et al., 1985).

O reconhecimento oficial do ozônio como agente sanificante seguro, que se deu em 1997 pelo EPRI (Electric Power Research Institute), criou oportunidades adicionais para a sua aplicação na indústria de alimentos e outros setores (YUAN et al., 1999).

Como consequência, ainda em 1997, foi aprovada pelo departamento de agricultura dos Estados Unidos a utilização legal de ozônio na água usada na lavagem de carcaças da indústria de processamento de frangos. No Brasil, entretanto, o emprego de ozônio na indústria alimentícia ainda é limitado, não havendo até o momento uma legislação específica para seu uso em alimentos (CHIATTONE et al., 2008).

Sabe-se que o ozônio exerce forte efeito germicida devido ao seu alto potencial oxidante e que sua aplicação na indústria de alimentos apresenta vantagens na higienização de alimentos (SEGAT et al., 2014; SAVI et al., 2014; CHEN et al., 2014; ISIKBER et al., 2014), no tratamento de água para reuso, no tratamento de efluentes, na redução da demanda química e bioquímica de oxigênio, na redução de trihalometanos (THMs), na remoção de ferro e manganês solúveis e na remoção de gostos e odores indesejáveis (FLORES-PAYÁN et al., 2015; SADRNOURMOHAMMADI e GORCZCA, 2015). Além disso, o ozônio tem sido utilizado em torres de resfriamento de água para reduzir a formação de incrustações; como agente branqueador de compostos orgânicos;

no armazenamento e conservação de pescado; na forma de gelo ozonizado; na desodorização de ambientes; em lavanderias hospitalares, com fins de reduzir custos em energia para esterilização; na odontologia, como tratamento alternativo de cáries; e, na medicina, em ozonoterapia (CHIATTONE et al., 2008).

Além de apresentar grande capacidade de inativar micro organismos, o gás ozônio tem sido proposto como agente na degradação de micotoxinas. Estudos realizados sobre este gás o mencionam como agente capaz de degradar aflatoxinas, fumonisina, ocratoxina, patulina, deoxinivalenol e zearalenona (ALENCAR et al., 2012; CHEN et al., 2014; SAVI et al., 2014).

Decorrente dessas vantagens, o ozônio já vem sendo utilizado na manipulação e no processamento de alimentos de origem vegetal e animal com garantia na higiene, cor, odor e aspecto visual, sem deixar resíduos que possam provocar reações indesejáveis (CHIATTONE et al., 2008; SANDHU et al., 2011; SEGAT et al., 2014; CHEN et al., 2014; MARSTON et al., 2015).

A utilização do gás ozônio na agricultura e na indústria de alimentos promove benefícios especialmente no que tange às etapas de pós-colheita, com o aumento da vida de prateleira, com o controle de insetos-praga, inibição do desenvolvimento de fungos, especificamente com detoxificação de micotoxinas (KIM et al., 1999; LUO et al., 2014, SAVI et al., 2014; ISIKBER et al., 2014). Outro benefício do ozônio é que sua utilização não promove consideráveis alterações físico-química ou nutricional do alimento. Segundo Mendez et al. (2003) nenhum efeito negativo na qualidade e nas características nutricionais do trigo, milho e arroz ozonizados foi verificado, quando submetidos a um tratamento com 50 mg kg⁻¹ de ozônio durante 30 dias.

Na armazenagem de grãos, ainda que limitado a estudos laboratoriais e experimentais, o ozônio é descrito como uma ferramenta eficiente (ALWI e ALI, 2014; GLOWACZ et al., 2015), podendo substituir o controle químico de insetos-praga, evitando o uso de inseticidas como piretróides, organofosforados e fumigantes, os quais apresentam atividade nociva ao organismo humano. Do ponto de vista operacional, essa tecnologia é bastante segura e de fácil execução, pois é um sistema que atua com fluxo contínuo e não requer precisão

absoluta no controle de volume, além de ser ambientalmente limpo (ROZADO, 2008; ISIKBER et al., 2014).

Alguns cuidados são necessários no que tange à segurança do trabalhador durante as atividades ou operações em que possam ficar expostos ao ozônio. No Brasil, a Portaria Nº 3.214 de 1978 da CLT, através da Norma Reguladora nº 15 que trata das condições insalubres, estabelece limite de exposição de trabalhadores ao gás ozônio, de até 0,08 ppm ou 0,16 mg m⁻³, para jornada semanal de trabalho de até 48 h. O emprego do ozônio na indústria alimentícia ainda é limitado, não havendo até o momento uma legislação específica que regulamente seu uso bem como, que garanta a obrigatoriedade da informação de sua aplicação como tratamento nos rótulos dos alimentos ozonizados.

3.5. Radiação gama

A radiação ionizante vem sendo aplicada em diversos produtos como tratamento para conservação. Refere-se à energia radiante que se move através do espaço na forma de ondas eletromagnéticas. A irradiação é um processo no qual a radiação ionizante penetra o produto exposto às fontes de radiação (KONG et al., 2015; WANG et al., 2015; MUSTAPHA et al., 2014). As radiações ionizantes são partículas ou fótons com energia suficiente para produzir íons (partículas eletricamente carregadas) nos materiais com os quais entram em contato. 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 (⁶⁰Co), césio 137 (¹³⁷Cs), irídio 192 (¹⁹²Ir) e amerício 241 (²⁴¹Am) (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; GOODWIN et al., 2014).

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; MUSTAPHA et al., 2014).

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).

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 (SILVA, 2010).

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 micro organismos decompositores, detoxificação de micotoxinas, redução ou eliminação de patógenos não formadores de esporos; irradiação de alta dose (acima de 10 kGy), capaz de reduzir o nível de micro organismos dos alimentos, ao ponto da esterilidade (ICGFI, 1999; FAO, 1999; ANTONIO et al., 2011; 2012; KANAPITSAS et al., 2015).

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 parasita desejado sem alterar as características sensoriais dos alimentos (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, a qual 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 1). Entretanto, a resolução recomenda apenas essas informações e não obriga ou prevê punições para os fabricantes, o que contribui para que o consumidor ingira alimentos irradiados sem saber.

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 (GCIIA, 1991).



Figura 1. Radura (símbolo internacional de alimentos irradiados).

4. METODOLOGIA

4.1 Local do experimento

O experimento foi conduzido no Laboratório de Pesquisa em Cereais, Laboratório de Embalagens do Departamento de Tecnologia de Alimentos e no Laboratório de Pré-Processamento e Armazenamento de produtos Agrícolas do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa, MG. No Laboratório de Patologia de Sementes do Departamento de Fitopatologia da Universidade Federal de Lavras (UFLA), no Laboratório de Irradiação Gama (LIG) do Centro de Desenvolvimento de Tecnologia Nuclear (CDTN) na Universidade Federal de Minas Gerais e no Laboratório de Reologia de Cereais do Centro de Tecnologia Agrícola e Alimentar, na Embrapa Agroindústria de Alimentos, Rio de Janeiro.

4.2 Material

O material, 21 kg de arroz recém-colhido em casca, cultivar BRSMG Caçula, cultivado na Fazenda Experimental da EPAMIG em Lambari/MG foi fornecido pela EPAMIG/Unidade Regional do Sul de Minas (URES), Lavras/MG.

Os grãos de arroz foram armazenados em condições propícias para que ocorresse infestação e contaminação, oriundas da reprodução dos insetos e fungos naturalmente presentes nos grãos. A infestação ocorreu após deixar 3 kg

do mesmo arroz no período de 30 dias em recipiente de plástico fechado com condições ambientes (25 a 27 °C). A contaminação foi realizada após deixar outros 3 kg do mesmo arroz em bandeja de plástico forrada com papel-*germitest* umedecido em câmara de germinação por 14 dias para acelerar o crescimento de fungos. As amostras infestadas e contaminadas foram devidamente homogeneizadas ao restante dos grãos antes de serem divididas e submetidas aos tratamentos. O material foi dividido em três amostras de 15 kg, 3 kg e 3 kg, cada uma das partes foi submetida a diferentes tratamentos, ozonização, irradiação gama (^{60}Co) e controle, respectivamente.

Todas as amostras, após ozonização e antes da irradiação, foram divididas em sete sub-amostras de 420 g, sendo cada sub-amostra considerada uma repetição, acondicionadas em embalagens de polipropileno, armazenadas por três meses em temperatura ambiente (25 ± 2 °C) e analisadas cada repetição em duplicata.

4.3 Fluxograma do experimento

O delineamento desse experimento foi baseado no fluxograma apresentado na Figura 2.

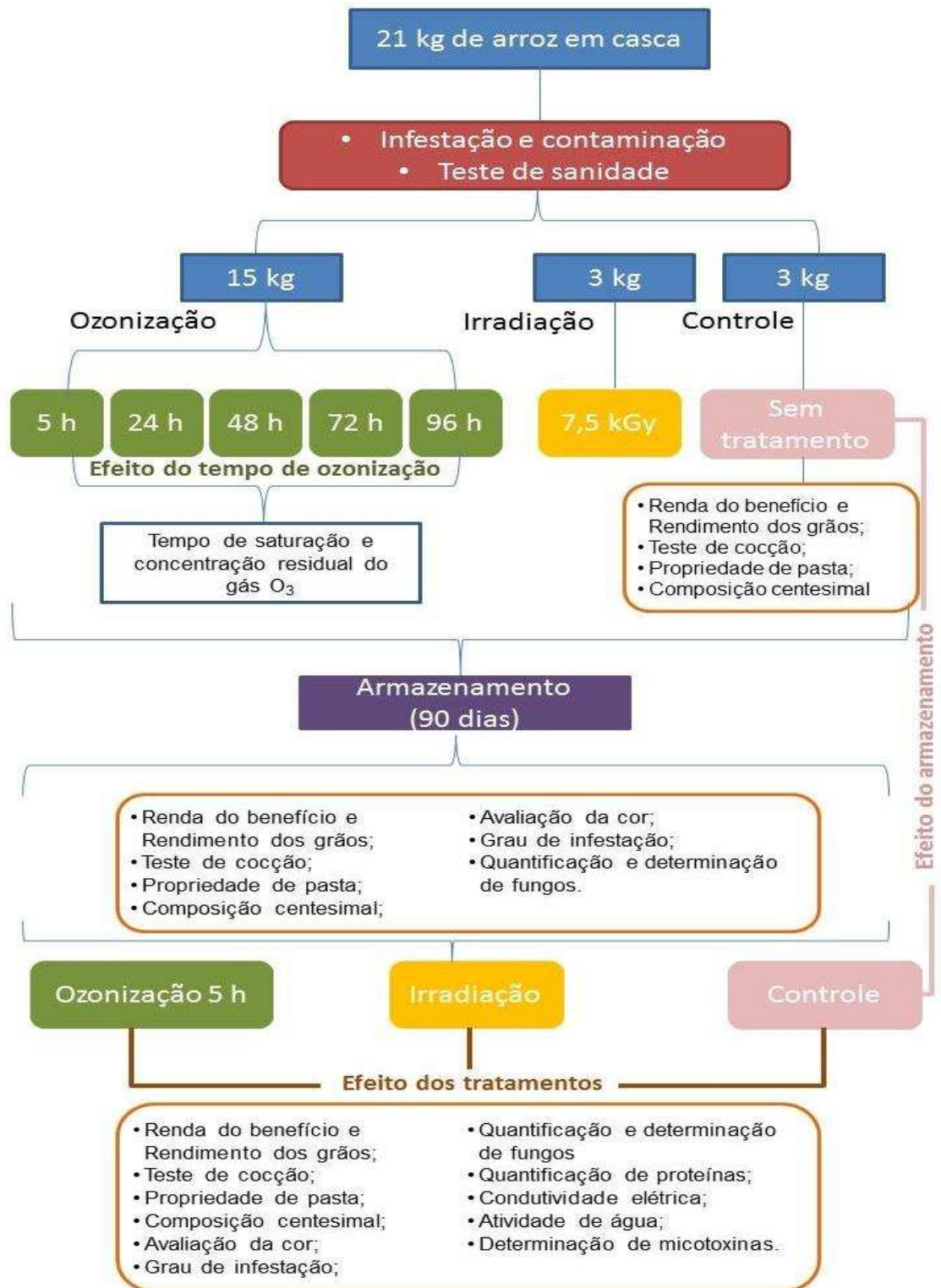


Figura 2 – Fluxograma das etapas de desenvolvimento do trabalho.

4.4 Tratamentos

4.4.1. Ozonização

4.4.1.1 Obtenção do gás ozônio

O gás ozônio foi obtido por meio de um gerador de ozônio O&L3 ORM (Ozone & Life, São José dos Campos, Brasil). No processo de geração do ozônio, o oxigênio, isento de umidade, foi retirado do ar atmosférico pelo concentrador OxixiSul, *Mark 5 Plus Oxygen Concentrator* (Ozonebras, Curitiba, Brasil) e passou por um reator refrigerado, onde ocorreu uma Descarga por Barreira Dielétrica (DBD). Este tipo de descarga é produzida ao aplicar uma alta voltagem entre dois eletrodos paralelos, tendo entre eles um dielétrico (vidro) e um espaço livre por onde fluiu o ar seco (oxigênio). Neste espaço livre, é produzida uma descarga em forma de filamentos, onde são gerados elétrons com energia suficiente para produzir a quebra das moléculas de oxigênio, formando o ozônio (O₃).

A concentração de ozônio foi obtida pelo ajuste de um variador de tensão do gerador e do fluxo de oxigênio, que foi constantemente monitorado com auxílio de um medidor de vazão de ar (rotâmetro). Para a quantificação da concentração de ozônio utilizou-se o método iodométrico, por meio da titulação indireta (APHA, 2005) conforme recomendado pela International Ozone Association (IOA).

4.4.1.2 Processo de ozonização dos grãos de arroz

Grãos de arroz em casca na temperatura ambiente (25 ± 1 °C), com teores de água determinado pelo método gravimétrico em estufa com circulação forçada de ar e temperatura de 105 ± 1 °C por 24 h (BRASIL, 2009) foram acondicionados em três câmaras de fumigação, recipientes cilíndricos de cloreto de polivinil (PVC) com 20 cm de diâmetro e 30 cm de altura. A 10 cm de altura de cada recipiente foi inserido um *plenum* (chapa galvanizada homogeneamente

perfurada) para sustentação dos grãos. A injeção e exaustão do gás foram feitas por intermédio de uma conexão na parte inferior lateral de cada pote e na tampa superior, respectivamente (Figura 3).



Figura 3. I - Câmaras de fumigação, com conexões para injeção (A) e exaustão (B) do gás; II – Ozonizador.

Os tratamentos foram realizados em três repetições, três câmaras de fumigação, sendo cada repetição constituída de 1,0 kg de grãos de arroz em casca (Figura 4), e injetado gás ozônio com uma vazão de $1,5 \text{ L min}^{-1}$ e concentração de $2,14 \text{ mg L}^{-1}$ (SILVA, 2011) para determinação do tempo de saturação do gás na massa de grãos e para ozonização dos grãos em cinco períodos de exposição: 5 h, 24 h, 48 h, 72 h e 96 h (ALENCAR et al., 2012).

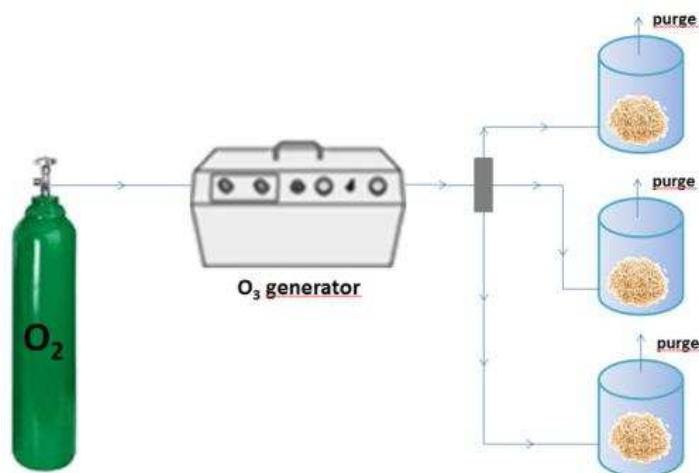


Figura 4. Esquema do processo de ozonização dos grãos de arroz.

4.4.1.3 Determinação do tempo de saturação do gás ozônio nos grãos de arroz

Para determinar o tempo de saturação do ozônio na massa de grãos de arroz foi necessário a injeção do gás ozônio, nas câmaras de fumigação, contendo 1,0 kg de grãos cada, até que ocorresse a saturação do meio pelo gás. O tempo de saturação do meio, após a passagem do gás pelo produto, foi determinado por meio da quantificação da concentração residual do ozônio, em intervalos de tempos regulares, utilizando o método iodométrico pela titulação indireta (APHA, 2005), até que a concentração residual se mantivesse praticamente constante, seguindo método proposto por Santos et al. (2007). O tempo de saturação foi determinado através de Regressão *Linear Response Plateau* (R.L.P.) com auxílio do programa estatístico SAEG 9.1 - UFV, Viçosa, Brasil - (SAEG, 2007).

4.4.2. Irradiação Gama (^{60}Co)

Uma das amostras recém-colhidas de 3 kg de arroz em casca foi dividida em sete amostras de 420 g colocadas em embalagem plástica devidamente identificadas e submetidas à irradiação gama na dose de radiação 7,5 kGy (SILVA, 2010) utilizando irradiador Gammacell panorâmico GB-127, IR-214 (MDS Nordion, Canadá), Figura 5, 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).



Figura 5. Interior da câmara de irradiação; A – base elevatória contendo a fonte de radiação; B – Base giratória com ajuste de distante da fonte.

As amostras foram dispostas em base giratória circular localizada ao redor da fonte de ^{60}Co , com distância da fonte de 22,5 cm e tempo de exposição de aproximadamente 94 min, proporcionando a irradiação simultânea de todos os grãos. Para a otimização do processo, foi utilizado dosímetro e taxa de dose de 4,783 kGy h⁻¹. O tempo de exposição para cada dose absorvida desejada é calculado automaticamente pelo equipamento, acionado pelo técnico responsável.

4.5 Métodos

I) Avaliação das características físicas e fisiológicas dos grãos de arroz

Essas análises foram realizadas no arroz recém-colhido, e após armazenamento, sem tratamento e tratados por ozônio e radiação gama ^{60}CO , conforme item 4.3.

4.5.1. Teste de sanidade

Foi empregada a metodologia proposta por Prudente (2008) modificada, onde os grãos de arroz em casca são acondicionados por um período de 10 dias em câmara climática a temperatura de 28 ± 3 °C e umidade relativa de 95 ± 2 %, para o crescimento de fungos aflatoxigênicos e para produção de aflatoxinas.

Os grãos de arroz em casca, recém-colhidos e contaminados, antes de serem tratados foram submetidos a teste de sanidade segundo metodologia do “*Blotter Test*” (NEERGARD, 1977) recomendada pelas Regras de Análise de Sementes (BRASIL, 2009) para grãos em casca. O teste foi realizado sem assepsia prévia para não eliminar possíveis fungos, o que interferiria nos resultados. Foram submetidas aos tratamentos apenas as amostras de arroz contaminadas por fungos, especialmente por fungos do gênero *Aspergillus* sp., potenciais produtores de aflatoxinas.

4.5.2. Caracterização físico-química

As análises da composição centesimal dos grãos de arroz foram realizadas segundo as metodologias descritas pela Association of Official Analytical Chemists (AOAC, 1998): lipídios (Método 920.85), proteína (n. 960.52) e cinzas (n. 923.03). O teor de água foi determinado utilizando-se o método-padrão de estufa, segundo as normas das Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 2009), as quais prescrevem a utilização de estufa com circulação de ar forçado a 105 ± 1 °C, durante 24 h.

4.5.3. Rendimento dos grãos

O rendimento dos grãos, antes dos tratamentos e após tratamentos e armazenamento, será 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 será utilizado para separar os grãos inteiros dos demais grãos; os grãos quebrados ficarão retidos dentro de uma canaleta, enquanto os grãos inteiros ficarão soltos dentro do “trieur”. Os grãos quebrados serão colocados no “trieur” de número 1, onde os grãos chamados de grãos $\frac{3}{4}$ serão separados dos demais. O “trieur” de número 0 será utilizado para separar os grãos $\frac{1}{2}$ dos $\frac{1}{4}$ + quirera. O rendimento do grão será expresso em percentagem de grãos inteiros, a partir do arroz brunido.

4.5.4. Renda do benefício

Para o teste de determinação da renda do benefício, 100 g de arroz em casca, foram submetidos, em sete repetições e em duplicata, ao descascamento e à brunição por 1 min, em engenho de provas (Suzuki, modelo MT96, Brasil), do Departamento de Tecnologia de Alimentos da UFV. A renda do benefício foi expressa em percentagem de grãos brunidos, a partir do arroz em casca e foi realizada antes dos tratamentos e após tratamentos e armazenamento.

4.5.5. Teste de cocção

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 min, foram tomados três grãos entre duas lâminas de vidro, comprimindo-os. Esta compressão foi repetida em intervalos de tempo de 1 min, até que os grãos de arroz estivessem totalmente transparentes, ou seja, não apresentassem nenhum núcleo amiláceo (branco) no centro, segundo o método 66-50 (AACC, 1999).

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 segundo o método 66-50 (AACC, 1999).

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

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 o método 66-50 (AACC, 1999).

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

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 min 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 segundo o método 66-50 (AACC, 1999):

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

em que

PSS= perda de sólidos solúveis;

V= volume (mL) da água de cocção;

RS= resíduo seco;

p = peso do arroz cru (g).

4.5.6. Caracterização da propriedade de pasta

Amostras de arroz foram avaliadas em aparelho Rapid Visco Analyser, série 4 (RVA; Newport Scientific Pty Ltd, Sidney, Austrália), na concentração de 3,0 g 25 mL⁻¹ de água, para determinação do perfil de viscosidade aparente da pasta dos grãos de arroz antes dos tratamentos e após tratamentos e armazenamento. Os resultados foram analisados pelo programa Std 1 (Standard Analysis 1) do software Thermocline for Windows versão 3.06, para proceder à avaliação.

4.5.7. Armazenamento

Grãos de arroz em casca tratados e não tratados, acondicionados em embalagens de polipropileno seladas sem vácuo, em seladora Selovac (modelo 200B – Brasil), foram armazenados por 90 dias em armário de ferro com prateleiras e telado nas laterais, em laboratório, à temperatura ambiente (25 ± 2 °C). As amostras foram organizadas nas prateleiras por tratamento e a disposição das prateleiras foi modificada semanalmente de forma aleatória. O controle da temperatura e umidade relativa foi realizado duas vezes por dia, com leituras numa mesma prateleira por semana, alterando o lugar da leitura aleatoriamente.

4.5.8. Quantificação de proteínas do arroz

Os extratos proteicos foram preparados para análise de cromatografia líquida de alta eficiência por exclusão molecular (SE-HPLC) usando método descrito por Pirozi et al. (2008). As proteínas “solúveis” de 10 mg de amostra foram extraídas com tampão fosfato de sódio contendo 0,5 % de SDS – Sulfato Dodecil de Sódio (pH 6,9). A suspensão foi agitada por 30 min e depois centrifugada por 10 min. O sobrenadante foi filtrado, utilizando um filtro de nylon de 0,45 μm para *vials* de 2 mL. No segundo passo da extração, proteínas foram isoladas usando as mesmas condições descritas acima e aplicação de sonicação com amplitude de 50 % por 30 s. Esta fração foi chamada de proteínas “insolúveis”.

4.5.9. Quantificação das proteínas por cromatografia líquida de alta eficiência por exclusão molecular – análise e leitura dos dados

As amostras de proteínas foram analisadas por cromatografia líquida de alta eficiência por exclusão molecular (SE-HPLC), em um sistema SHIMADZU SCL-10AVP com injeção automática, empregando uma coluna de exclusão molecular tipo BioSep SEC 4000 (6 μm , 300 Å, 9,4 x 25,0 mm). A quantidade de amostra injetada, o comprimento de onda e o tempo de eluição foram de 20 μL ,

214 nm e 18 min, respectivamente. As amostras foram eluídas através da coluna com fluxo de 1 mL min⁻¹ por 20 min usando 50 % de acetronitrila (+0,05 % TFA) como fase móvel. A quantidade relativa dos componentes individuais foi expressa como a porcentagem de cada pico em relação a área total (AT). O total extraível (proteína “total”) foi calculado como a somas das áreas dos picos correspondentes nas frações “solúveis” e frações “insolúveis”.

4.5.10. Condutividade elétrica

A condutividade elétrica da solução contendo grãos de arroz foi medida utilizando-se o Sistema de Copo ou Condutividade de Massa (VIEIRA e CARVALHO, 1994). Os testes foram realizados com três repetições de 50 grãos, retirados aleatoriamente de cada tratamento. Os grãos foram pesados em balança com precisão de 0,01 g e colocados em copos com capacidade para 200 mL, aos quais foram adicionados 75 mL de água destilada. Em seguida, os copos foram postos em câmara climática do tipo BOD à temperatura de 25 °C, durante 24 h. Depois desse período os copos foram retirados da câmara, para que fossem feitas as medições da condutividade elétrica da solução contendo os grãos. As leituras foram feitas com um medidor de condutividade elétrica da marca Tecnopon, modelo mCA-150, com ajuste para compensação de temperatura e eletrodo com a constante da célula de 1 µS cm⁻¹. Antes de realizar as leituras, o aparelho foi calibrado com uma solução-padrão com condutividade elétrica conhecida à temperatura de 25 °C. O valor da condutividade elétrica (µS cm⁻¹) fornecido pelo aparelho foi dividido pela quantidade de matéria seca dos grãos, obtendo-se então o valor expresso em µS cm⁻¹ g⁻¹ de matéria seca.

4.5.11. Atividade de água

Para a determinação da atividade de água, foi utilizado o aparelho digital AquaLab, modelo CX-2 (Decagon Devices Inc., EUA), com leituras em temperatura controlada de $25 \pm 0,3$ °C.

4.5.12. Avaliação de cor

A análise da cor instrumental de grãos de arroz foi realizada em amostras de cada tratamento (ozonização, irradiação e controle), beneficiadas após armazenamento. Para tanto, utilizou-se colorímetro Minolta CR-4000 (Minolta Chromameter/Japão) com sistema "CIE Lab" com as coordenadas L a* b* Color Space, por reflectância (MINOLTA, 1997), trabalhando com D65 (luz do dia). 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;

4.5.13. Análise do grau de infestação por insetos-pragas de grãos armazenados

A análise do grau de infestação de grãos foi realizada por meio da contagem de grãos danificados por insetos em amostras de 100 grãos de arroz em casca, para cada tratamento, segundo o Exame de Sementes Infestadas (Danificadas por Insetos) descrito pelas Regras de Análise de Sementes (BRASIL, 2009). Foram considerados danificados por insetos os grãos que continham ovo, larva, lagarta, pupa, inseto adulto e os que tinham orifício de

saída do inseto, quer tenham sido danificadas por uma única espécie de inseto ou por várias. A determinação foi realizada imediatamente após a aplicação dos tratamentos e ao final dos três meses de armazenamento. Os valores foram expressos em número de grãos danificados.

4.5.14. Quantificação e determinação de fungo.

Para avaliação do efeito fungicida do gás ozônio, utilizou-se grãos de arroz (14% b.s.) contaminados com *Aspergillus* spp e *Penicillium* spp. Adotou-se o método de plaqueamento direto para quantificação de fungos, o método de Incubação em Substrato de Papel ou Método do Papel Filtro (“*Blotter Test*”).

No método de contagem em placas, foram utilizadas 200 sementes por tratamento, distribuídas em placas de Petri de 15 cm de diâmetro, previamente mergulhadas em formol a 10% durante 72 h, 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 com uma fina camada de 5 mL de ágar-água 0,5%. Os grãos foram plaqueados e as placas colocadas em câmara de crescimento, à temperatura de 20 °C, por sete dias, para grãos de arroz, sendo, ao final, registrada a ocorrência de cada espécie de fungo.

As placas foram analisadas em microscópio óptico OLYMPUS BX 50 com câmara clara e sistema de captura de imagem acoplado, utilizando-se objetiva de 40 x. Os resultados obtidos foram expressos em número de grãos infectados/contaminados por placa.

4.6. Delineamento experimental e análises estatísticas.

Na primeira parte do experimento, os grãos de arroz foram expostos ao ozônio seguindo um Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC) com 3 repetições e cinco tempos de exposição. Os dados experimentais foram analisados por análise de variância da regressão. Os modelos foram escolhidos na significância dos coeficientes de regressão, utilizando-se o teste “t” e

adotando o nível de 5 % de probabilidade. Para comparar a média dos controles com as demais, foi utilizado o teste de Dunnett adotando-se o nível de 5 % de probabilidade.

Na segunda parte do experimento, três tratamentos, ozonização (utilizando o tempo de exposição que obteve melhores resultados), irradiação e controle, foram comparados utilizando Delineamento Inteiramente Casualizado, com 7 repetições. Os dados foram analisados por meio de análise de variância. As médias foram comparadas utilizando-se o teste de Tukey adotando o nível de 5 % de probabilidade.

As análises estatísticas dos dados experimentais foram realizadas por uso do software SAEG 9.1 (SAEG, 2007).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Efeito do armazenamento sobre a qualidade tecnológica e físico-química dos grãos de arroz.

Durante os 90 dias, grãos de arroz em casca foram armazenados a temperatura de 25 ± 2 °C e umidade relativa do ar no ambiente a 59 ± 9 °C.

5.1.1. Composição centesimal

Os grãos de arroz armazenados apresentaram menor teor de água e maiores percentuais de proteínas em relação ao arroz recém-colhido (Tabela 1).

Tabela 1 Valores médios* (em base seca) das variáveis teor de água (TA), proteína, lipídeos e cinzas, em função do armazenamento.

Arroz	TA (%)	Proteína (%)	Lipídeo (%)	Cinza (%)
Recém-colhido	14,13 a	5,61 b	0,66 a	0,37 b
Armazenado	11,22 b	6,76 a	0,59 a	0,39 b

* médias com letras iguais na coluna não diferem pelo teste F a 5% de probabilidade.

Segundo a Instrução Normativa nº 6, de 16 de fevereiro de 2009, do Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (BRASIL, 2009), os teores de água que garantem a segurança alimentar para arroz branco polido é de até 14 %. Embora as duas amostras tenham apresentado teores dentro do recomendado pela legislação, do ponto de vista da segurança alimentar, o arroz armazenado apresentou níveis mais seguros.

O teor de água do arroz é um importante fator de qualidade, ligado à sua estabilidade, sanidade e composição, podendo afetar a estocagem e o beneficiamento/processamento, pois têm influência direta no controle da taxa de deterioração por micro organismos, nas reações enzimáticas e químicas que ocorrem durante o armazenamento e maturação do arroz. Grãos estocados com alta umidade se deterioram rapidamente devido ao crescimento de micro organismos (CECCHI, 2003; FELLOWS, 2006; AZEREDO et al., 2012).

No caso dos grãos de arroz, a água é um componente fundamental no processo de maturação do grão, uma vez que além de participar das interações intramoleculares, influencia alterações químicas e bioquímicas como, por exemplo, a oxidação de lipídeos e o envelhecimento das proteínas (BOBBIO e BOBBIO, 2001; FELLOWS, 2006; AZEREDO et al., 2012b).

Para grãos com baixos níveis de teor de água, a oxidação lipídica é rápida, pois os ácidos graxos estão muito expostos ao oxigênio. A água pode, ainda, favorecer a hidrólise de triglicerídios, formando ácidos graxos livres, mais oxidáveis (BOBBIO e BOBBIO, 2001; FELLOWS, 2006; AZEREDO et al., 2012b).

Em relação ao papel da água nas funções das proteínas, Brogan et al. (2012), embora tenham descoberto que a água não é necessária para o envelhecimento das proteínas e a execução de suas funções, como se acreditava, relataram que para que este processo ocorra é necessário todos os tipos de ligações químicas possíveis, as quais, por sua vez, são todas afetadas pela água.

No que diz respeito aos teores de proteínas encontrados nessa pesquisa, notou-se um aumento das proteínas no arroz armazenado em relação ao arroz recém-colhido, isso indicou não apenas uma influência positiva do armazenamento sob as amostras como também, demonstrou que o processo de maturação do arroz está acontecendo com sucesso dado aos rearranjos dos aminoácidos e das subunidades das proteínas.

O conteúdo proteico do arroz polido varia de aproximadamente 6,2% a 8,4 %, mas pode oscilar entre 5 % e 13 %, conforme características das variedades (JULIANO, 1985; ZHOU et al., 2002b; NAVES, 2007). Embora a proteína não seja o componente mais usual para auspiciar a qualidade culinária do arroz, variedades de arroz com baixo conteúdo proteico, geralmente apresentam maior adesividade entre os grãos cozidos (JULIANO, 1985, KAMINSKI et al., 2013). Além disso, modificações dos componentes proteicos durante o armazenamento, são responsáveis para modificações reológicas associadas com a maturação do grão (ZHOU et al., 2002a).

As principais frações proteicas que constituem a proteína do arroz são a albumina (9,7 % - 14,2 %), globulina (13,5 % - 18,9 %), prolamina/orizina (3,0 %

- 5,4 %) e a glutenina/orezinina (63,8 % - 73,4 %), esta última com 16,8 % de nitrogênio e teores consideráveis de lisina, aminoácido essencial e limitante (ZHOU et al., 2002b; NAVES, 2007).

Tentativas para explicar as alterações na funcionalidade do arroz estão associadas à maturação dos grãos e as propriedades de amido, proteína e lipídeos, bem como, a interação entre elas durante o armazenamento. Embora ocorram algumas mudanças bruscas nestes componentes, diversos estudos relataram alteração mínima no armazenamento. Nessas mudanças, as proteínas apresentaram aumento no número de ligações dissulfeto entre as cadeias polipeptídicas, promovendo maior interação proteica, expressivo aumento no peso molecular, redução na solubilidade e amenização de aroma sulfuroso indesejável, característico no arroz novo (CHRASTIL, 1990; CHRASTIL; ZARINS, 1992; ZHOU et al., 2002a; KAMINSKI et al., 2013).

Contraditoriamente, é relatado aumento de aminoácidos livres, principalmente, nas camadas externas do grão, que servem de substratos para reações de Maillard (escurecimento não enzimático), com alterações de cor no arroz armazenado (DHALIWAL; SEKHON; NAGI, 1991; ZHOU et al., 2002a; KAMINSKI et al., 2013).

Em relação aos teores de lipídeos desse estudo, não houve diferença significativa entre as amostras recém-colhidas ou armazenadas, conforme prevê a literatura (CHRASTIL, 1990; CHRASTIL; ZARINS, 1992; ZHOU et al., 2002a; KAMINSKI et al., 2013).

No entanto, vários estudos constataram redução do conteúdo lipídico do arroz durante o armazenamento, justificada pela hidrólise de lipídeos para produzir ácidos graxos livres (incluindo os ácidos graxos livres para produzir hidroperóxidos) e pela formação de produtos da oxidação lipídica, tais como propanal, pentanal e hexanal, formado a partir do ácido linoleico, que caracterizam o aroma de arroz velho (TSUZUKI; TANAKA; SHIDA, 1981; ZHOU et al., 2002a).

As alterações no perfil de ácidos graxos e aumento de ácidos graxos livres durante o armazenamento se dá pela ação da lipase no ácido linoleico e pela degradação de triacilglicerídeos, aumentando os níveis de peróxidos, carbonila

e ácidos graxos livres, sendo esses usados como índice para determinação do período de armazenamento (ZHOU et al., 2002a) .

Outro processo que envolve alterações nos lipídeos durante o armazenamento do arroz é a oxidação em hidroperóxidos, mais comuns nas camadas externas dos grãos, onde ocorre maior concentração dos lipídeos não amiláceos ou lipídeos livres, sendo estes importantes contribuintes para a descoloração dos grãos de arroz durante o armazenamento. Os lipídeos de amido ou lipídeos amiláceos, compreendem de 0,5-1,0 % do arroz branco polido e são geralmente presentes em maiores quantidades no grão, exercem efeito protetor contra a hidrólise e oxidação (ZHOU et al., 2002a; KAMINSKI et al., 2013).

Os lipídeos de cereais são um grupo quimicamente diverso que foram separados por Mano et al. (1999) em lipídeos neutros, glicolipídeos e fosfolipídeos, variando segundo cada cultivar. Os conteúdos de lipídios no arroz são concentrados na fracção do farelo de onde ela pode contribuir para até 80% da massa; dentro do endosperma, podem contribuir com cerca de 20%, mas estes são distribuídos de forma desigual, com a quantidade mais elevada na camada exterior e diminuindo progressivamente em direção ao centro do núcleo do grão. No arroz branco polido são baixos, normalmente menos de 1%, visto que estes componentes são removidos no beneficiamento e polimento. Apesar dos baixos teores de gordura no arroz, esta é rica em ácidos graxos insaturados - oleico (C18:1) e linoleico (C18:2), que possuem papel importante em vários processos fisiológicos e que, por não serem sintetizados pelo organismo humano, devem ser supridos pela alimentação (JULLIANO, 1985; ZHOU et al., 2002a; ZHOU et al., 2003; NAVES, 2007; WALTER et al., 2008; KAMINSKI et al., 2013).

Os lipídeos de arroz são normalmente estáveis, no entanto, quando a membrana lipídica é destruída pela ação de enzimas fosfolipases, lesão física ou por elevadas temperaturas, a hidrólise dos lipídeos em ácidos graxos livres e glicerol é iniciada pela ação das lipases. Entre as fracções lipídicas, a maior variação foi observada em ácidos graxos livres, dentre eles os ácidos oleico e linoleico foram quantitativamente os ácidos graxos mais importantes. A proporção de ácidos oleico e linoleico diminui durante o período de

armazenamento na fração de lipídeo neutro ao passo que há um aumento de ácidos graxos livres (ZHOU et al., 2002a; KAMINSKI et al., 2013).

A contribuição dos lipídeos na qualidade culinária do arroz ainda não é bem esclarecida. Quando são removidos antes da cocção, não interferem na textura, adesividade e solubilidade dos grãos de arroz cozido, porém quando removidos antes do armazenamento, retardam o processo de maturação dos grãos, com menor alteração de propriedades viscoamilográficas, aroma e cor (ZHOU et al., 2002; KAMINSKI et al., 2013).

Em relação aos níveis minerais das amostras, não houve diferença significativa do teor de cinzas ou minerais na amostra armazenada em relação à recém-colhida.

Embora o incremento dos minerais no arroz armazenado quase não tenha sido relatado por estudiosos, à hipótese para a ocorrência é a migração destes compostos das camadas externas para o endosperma em decorrência da atividade enzimática que os requer como cofatores enzimáticos (KAMINSKY et al., 2013).

Variações no conteúdo mineral dos grãos de arroz são principalmente influenciadas pelas condições de cultivo, incluindo fertilização e condições do solo, tipo de processamento e características das variedades (JULIANO, 1985; KAMINSKY et al., 2013).

Quanto aos minerais, merecem destaque o ferro e o zinco pelo papel relevante que desempenham na nutrição e saúde dos indivíduos. O ferro e o zinco estão presentes no arroz em quantidades similares entre si e bem menores no grão polido, aproximadamente 1 %, podendo oscilar bastante conforme a variedade do cereal (NAVES, 2007). Entretanto, não foi encontrado na literatura, trabalhos capazes de predizer níveis de minerais próximos a 1%.

Kaminski et al. (2013), ao avaliarem o efeito do armazenamento e da temperatura na composição química e estrutural de três variedades de arroz branco polido cultivado sob irrigação não obtiveram resultados significativos que comprovassem o efeito do armazenamento a 120 dias na composição centesimal dos grãos. As amostras recém-colhidas e as armazenadas apresentaram, respectivamente, teor de proteínas variando de 8,30 a 9,51 % e

8,44 a 9,28 %, teor de lipídeos de 0,48 a 0,66 % e 0,49 a 0,61 % e teor de minerais de 0,33 a 0,39 % e 0,37 a 0,40 %.

Songtip et al. (2012) estudaram as alterações ocorridas na farinha de arroz obtida de arroz em casca de diferentes períodos de armazenamento durante um ano. As amostras tiveram teor de água variando de 6,1 a 9,2 % em base úmida e teor de proteína variando de 6,2 a 8,9 %.

Likitwattanasade e Hongsprabhas (2010) avaliaram o efeito do armazenamento forçado a alta temperatura (60 °C a 70 °C) durante cinco dias, nos níveis de proteínas de arroz branco polido e não encontraram influência significativa do armazenamento, os valores encontrados variaram de 6,73 % a 9,64 % nos grãos recém-colhidos e de 6,56 % a 9,56 % nos grãos armazenados.

Santos et al. (2014) encontraram valores de composição centesimal aproximado em grãos de arroz de diferentes graus de polimento. As amostras apresentaram teor de água variando de 11,9 a 13,2 %, teor de proteínas de 7,15 a 7,80 %, teor de lipídeos de 0,18 a 1,84 % e teor de minerais variando de 0,20 a 0,73 %.

De maneira geral, os resultados da composição química dos grãos reproduzem alguns trabalhos que buscaram evidências sobre as alterações na qualidade culinária do arroz armazenado e observaram variações muito pequenas em condições normais de armazenamento (MARSHALL; WADSWORTH, 1994; ZHOU et al., 2002; KAMINSKI et al., 2013).

Muito embora o arroz, especialmente o branco polido, não seja boa fonte de minerais, ele vem sendo utilizado como veículo para a fortificação com ferro no combate à fome oculta no mundo, dado à sua aceitação pelo consumidor, por ser um alimento tradicionalmente base da dieta humana. A fome oculta é caracterizada pela desnutrição por micronutrientes, vitaminas e minerais, e estima-se que dois bilhões de pessoas no mundo sofram com ela (MASON et al., 2001). Além disso, as deficiências de vitamina A e zinco contribuem para a morte de um milhão de crianças anualmente; a carência de ferro e ácido fólico em gestantes causa defeitos congênitos graves em mais de 200 mil bebês por ano no mundo. A anemia ferropriva afeta 40 % das crianças pré-escolares, prejudicando seu desenvolvimento físico e cognitivo; a desnutrição está por trás de 54 % de todas as mortes de crianças de até cinco anos (WORLD HEALTH

ORGANIZATION, 2001; KRAEMER e ZIMMERMANN, 2007; BLACK et al., 2008).

5.1.2. Rendimento dos grãos e renda do benefício

Houve diferença significativa entre os grãos recém-colhidos e os armazenados. O rendimento dos grãos e a renda do benefício foram negativamente afetados pelo armazenamento (Tabela 2).

Tabela 2 Valores médios* em porcentagem das variáveis rendimento e renda do benefício em função do armazenamento.

Arroz	Rendimento (%)	Renda do benefício (%)
Recém-colhido	72,43 a	72,53 a
Armazenado	70,79 b	68,72 b

* médias com letras iguais não diferem pelo teste F a 5% de probabilidade.

A diminuição do rendimento e da renda do benefício, em função do armazenamento, pode ter acontecido por vários motivos. Um dos possíveis está relacionado ao processo de beneficiamento propriamente dito, uma vez que frações de grãos podem ser eliminadas junto com as cascas ou devido aos ajustes do equipamento utilizado e a qualidade do mesmo. Outro fator está diretamente ligado ao teor de água dos grãos, grãos com menor grau de umidade tendem à quebra.

Embora o armazenamento tenha diminuído o rendimento de grãos inteiros e a renda do benefício, os valores médios do arroz armazenado foram próximos aos encontrados na literatura. Boêno et al. (2011), ao determinarem a qualidade tecnológica de grãos de quatro genótipos de arroz vermelho comparados ao arroz branco, observaram uma renda de benefício para o arroz branco polido de 68,0 %, valor correspondente ao encontrado neste estudo para os grãos armazenados. Segundo os autores, são vários os fatores que contribuem para a quebra do arroz durante o beneficiamento, as fissuras ocorridas no grão ainda no campo devido à secagem muito rápida e o grau de umidade, são os principais.

Kaminski et al (2013) ao avaliarem o efeito do armazenamento nas características tecnológicas de arroz em casca, ao longo de seis meses, observaram que no beneficiamento das amostras não foram evidenciadas alterações significativas ($p>0,05$) no rendimento de grãos inteiros ao longo de todo período de armazenamento, com médias variando de 58,5 % a 62,1 % para as diferentes variedades estudadas. Resultados diferentes ao encontrado neste estudo tanto para o arroz recém-colhido quanto para o arroz armazenado que indicam um efeito negativo do armazenamento no rendimento dos grãos e na renda do benefício.

Os resultados encontrados para renda do benefício, referentes aos grãos recém-colhidos, se aproximaram aos valores divulgados pela EPAMIG/URESM/Lavras, no lançamento da cultivar utilizada nessa pesquisa, a BRSMG Caçula (EPAMIG, 2012); ambos os estudos encontraram valores próximos a 72,0 %.

O armazenamento é uma etapa primordial que proporciona a maturação do grão na medida certa para o consumo. Embora nesta pesquisa o período de armazenamento não tenha exercido efeito positivo no beneficiamento do arroz, estudos relatam a alteração de algumas características intrínsecas dos grãos necessárias para um bom rendimento de grãos inteiros, como resistência à tração e quebra (BARBER, 1972; ZHOU et al, 2002a), e menor aderência da casca e pericarpo ao endosperma amiláceo (CASTRO et al., 1999), facilitando sua remoção e contribuindo para diminuir o índice de quebra dos grãos, melhorando a eficiência do processo além de diminuir o desgaste dos roletes descascadores e promover menores gastos no processamento.

5.1.3. Teste de Cocção

O arroz armazenado apresentou melhores valores de índice de absorção de água e de coeficiente de expansão de volume (Tabela 3). O tempo de cocção não variou significativamente, e maior perda de sólidos solúveis foi observada no arroz armazenado em relação ao recém-colhido.

Tabela 3 Valores médios* das variáveis: tempo de cocção (TC), índice de absorção de água (IAA), coeficiente de expansão de volume (CEV) e perda de sólidos solúveis (PSS) em função do armazenamento.

Arroz	TC (min)	IAA (%)	CEV (%)	PSS (%)
Recém-colhido	23,5 a	290,40 b	302,97 b	6,46 b
Armazenado	24,5 a	346,99 a	475,34 a	11,60 a

* médias com letras iguais na coluna não diferem pelo teste F a 5% de probabilidade.

O armazenamento é um processo de maturação necessário para que ocorra mudanças na composição dos grãos de arroz, fazendo com que obtenham ótimas características sensoriais e qualidade de cocção. Grãos armazenados, geralmente, apresentam maiores rendimentos gravimétricos e volumétricos que o arroz fresco ou recém-colhido (ZHOU et al., 2002a; KAMINSKI et al., 2013), como os resultados apresentados por esta pesquisa.

O teor de amilose está diretamente relacionado ao índice de absorção de água, coeficiente de expansão de volume, maciez e separabilidade dos grãos cozidos (SHOWBHAGYA e BHATTACHARYA, 2001). Os grãos de arroz da cultivar BRSMG Caçula, analisada neste estudo, apresentaram teor intermediário de amilose de 24,6% (EPAMIG, 2012) resultando em grãos com propriedades de cocção preferidas pelo consumidor, por apresentarem grãos mais macios, secos e soltos após o cozimento, mesmo quando reaquecidos, uma vez que o teor da amilose do arroz exerce importante influência em seu desempenho de cocção (BASSINELLO; ROCHA; COBUCCI, 2004; MARTINEZ; CUEVAS-PEREZ, 1989).

Os resultados obtidos para índice de absorção de água ou rendimento gravimétrico apresentam-se superiores à Guimarães (2013) que obteve valor médio de 277,54 %, Bassinello et al. (2004) com valores entre 202 % e 275% e Pereira (1996), entre 204,52 % e 211,4 % , para distintas cultivares de arroz. O coeficiente de expansão de volume, ou rendimento volumétrico, determina o rendimento de panela e também foi afetado positivamente pelo armazenamento apresentando-se superior aos encontrados por Guimarães (2013), de 365,65 %, e Pereira (1996), que variaram de 263, 3 % a 365,65 %.

Talhamento et al. (2014) avaliaram o efeito da temperatura e da incidência de luz nas propriedades de cocção de grãos de arroz com pericarpo preto,

armazenados durante 4 meses. Os autores encontraram para os grãos armazenados a 25 °C e sem a incidência de luz, como os grãos utilizados nesta pesquisa, tempo de cocção de 24 min, índice de absorção de água de 342,03 %, valores próximos ao encontrado no presente estudo, e 276,88 % para coeficiente de expansão de volume.

Contraditoriamente, Showbhagya e Bhattacharya (2001) ao avaliar as mudanças nas características de pasta de grãos de arroz durante armazenamento, afirmaram que a maturação dos grãos está diretamente ligada à extrema organização de seus compostos que se dá durante o armazenamento traduzindo em diminuição progressiva da capacidade de hidratação (IAA), perda de sólidos solúveis (PSS), solubilidade de amido e proteínas e em um aumento da dureza dos grãos cozidos.

Além da maturação natural ocorrida nos grãos de arroz durante o armazenamento, a temperatura de armazenamento se mostrou uma variável extrínseca de grande influência neste processo. Alguns estudos realizados neste sentido sugerem a possibilidade do armazenamento do arroz em maiores temperaturas para conferir maior qualidade culinária em menor tempo de armazenamento (ZHOU et al., 2007; KAMINSKI et al., 2013).

5.1.4. Propriedade de Pasta

A temperatura inicial de pasta foi de 81 °C (Tabela 4) para os grãos de arroz recém-colhidos e a 82,3 °C para o arroz armazenado, não variando significativamente entre si ($p > 0,05$).

Tabela 4 Valores médios* das variáveis temperatura inicial de pasta (TIP), viscosidade máxima (VMax), quebra de viscosidade (QV), tendência à retrogradação (Ret) e viscosidade final (VFinal), em função do armazenamento.

Arroz	TIP(°C)	VMax (cP)	QV (cP)	Ret (cP)	VFinal (cP)
Recém-colhido	81,0 a	1829,9 a	411,7 a	1994,7 a	3401,6 a
Armazenado	82,3 a	1354,0 b	188,3 b	1751,0 b	2909,9 b

* médias com letras iguais na coluna não diferem pelo teste F a 5% de probabilidade.

Os resultados encontrados estão próximos daqueles reportados por Guimarães et al. (2013), 83,2 °C para arroz branco polido. Kaminski et al. (2013), também observaram queda em todas as propriedades da viscosidade aos 120 dias de armazenamento à 20 °C. Os valores obtidos para os grãos recém-colhidos e armazenados, respectivamente, foram de 87 °C e 85 °C para temperatura inicial de pasta; viscosidade máxima de 2400 cP e 2760 cP; quebra de 384 cP e 540 cP; tendência à retrogradação de 1560 cP e 1800 cP; viscosidade final de 3600 cP e 4200 cP.

Os valores de viscosidade máxima, quebra de viscosidade e viscosidade final foram significativamente maiores para as amostras recém-colhidas em relação às armazenadas. A quebra de viscosidade é considerada a propriedade primária do viscograma, com tendência a diminuir durante a maturação do arroz. O mesmo ocorre com a viscosidade máxima e final, uma vez que os grânulos de amido do arroz armazenado são mais resistentes, organizados e estáveis à ruptura, indicando menor desintegração destes com a agitação do amido gelatinizado (SHOWBHAGYA e BHATTACHARYA, 2001; ZHOU et al., 2002a; ZHOU et al., 2003; ASGHA et al., 2012).

Outra alteração relevante deve-se a tendência à retrogradação, propriedade mais tradicional da análise viscoamilográfica, com tendência a aumentar no arroz armazenado (SHOWBHAGYA e BHATTACHARYA, 2001; ASGHA et al., 2012). É uma recristalização decorrente do agrupamento de moléculas de amilose e amilopectina do amido por meio da formação de novas

ligações de hidrogênio, resultando em precipitados como água (sinérese) e géis pouco solúveis (LOPES, 2012).

Esse aumento da tendência à retrogradação durante o armazenamento não foi notada neste estudo. Os valores para as amostras recém-colhidas também foram significativamente maiores em relação às amostras armazenadas.

A hipótese para o ocorrido é que o armazenamento foi realizado a curto prazo (90 dias), talvez não tenha sido suficiente para o aumento da tendência à retrogradação. Segundo Asgha et al. (2012), paralelamente ao aumento das viscosidades máximas e finais, a quebra de viscosidade e a tendência à retrogradação aumentam à medida que o tempo de armazenamento aumenta.

Tanuwang et al. (2011) avaliaram o efeito do armazenamento e da temperatura de armazenamento ao longo de 180 dias em arroz orgânico em casca e observaram aumento da viscosidade máxima e quebra de viscosidade do arroz nos primeiros 120 dias, e posterior diminuição até o final do armazenamento, enquanto a tendência à retrogradação aumentou gradualmente durante todo período de estudo.

Segundo vários estudos sobre o efeito do armazenamento nas propriedades de pasta do arroz, os aumentos iniciais nos dados viscográficos, podem ser atribuídos, provavelmente, ao declínio progressivo da atividade da α -amilase (SHIBUYA et al., 1974; SHOWBHAGYA e BHATTACHARYA, 2001; ZHOU et al., 2002a; ZHOU et al., 2003; ZHOU et al., 2007; ZHOU et al., 2010, ASHA 2012).

Outra mudança observada no processo de maturação dos grãos de arroz é a menor interação do amido com proteínas, dada a interação dos grânulos, em particular da amilose, com ácidos graxos livres, e o aumento de interações intramoleculares. Essas mudanças são descritas como resultado da reorganização estrutural dos grânulos de amido e cadeias proteicas, aumentando sua massa molecular (CHRASIL, 1990; ZHOU et al., 2002a; KAMINSKI et al., 2013). Os grânulos se tornam mais resistentes ao inchamento, apresentam menor capacidade de quebra após gelatinização e maior viscosidade (TAGER, 1992; LUCAS et al., 2001; ZHOU et al., 2002a).

5.2 Ozonização: Processo alternativo para o tratamento de grãos de arroz

5.2.1. Teste de sanidade

Antes do tratamento e armazenamento, amostras de arroz recém-colhidas, infestadas e contaminadas foram submetidas a teste de sanidade obtendo valores médios iguais a 2,64% de grãos contaminados por *Penicillium* sp. e 78,2% por *Aspergillus* sp.

5.2.2. Tempo de saturação e concentração residual do ozônio

O comportamento da concentração de ozônio em função do período de exposição em grãos de arroz em casca, durante a saturação, sob concentração de 2,14 mg L⁻¹ e vazão a 1,5 L min⁻¹, está apresentado na Figura 6. A equação que descreve esse comportamento e seu coeficiente de determinação (r²) encontra-se na Tabela 5.

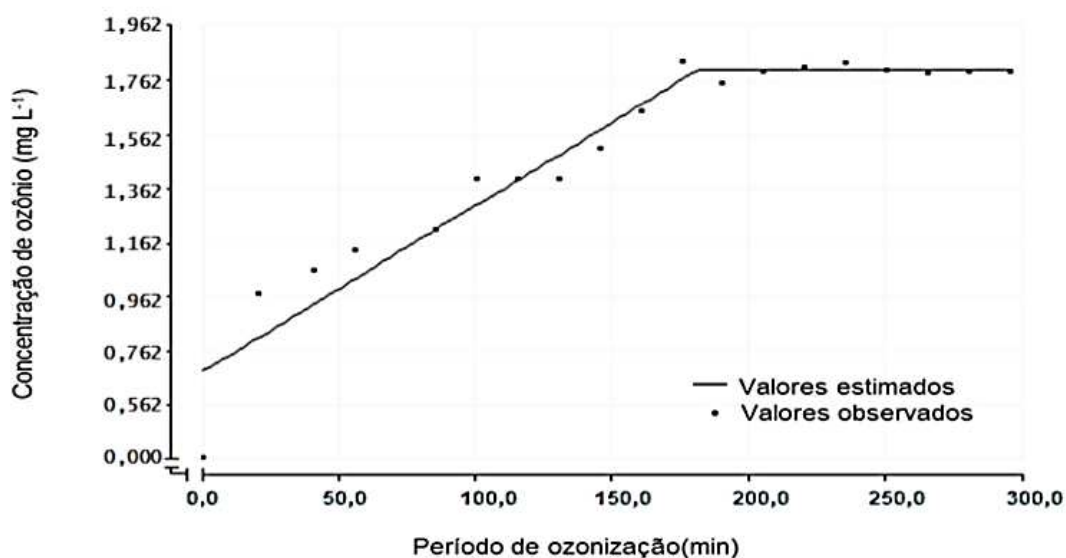


Figura 6. Concentração residual do gás ozônio (mg L⁻¹) em função do período de ozonização (min) durante o processo de saturação de grãos de arroz em casca, na concentração de 2,14 mg L⁻¹.

Tabela 5 Equação de regressão ajustada da concentração residual do gás ozônio em função do período de ozonização, e respectivo coeficiente de determinação (r^2).

Equação ajustada	Intervalo	r^2
$\hat{y} = 0,6825 + 0,006 * X$	$0 \leq X < 180,93$	0,84
$\hat{y} = 1,796$	$180,93 \leq X < 295$	

* Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F; X = período de ozonização (min); \hat{y} = concentração residual de ozônio (mg L⁻¹).

Para a massa de grãos de arroz em casca obteve-se um tempo de saturação de 180 min ou 3 h, a partir do qual, os valores de concentração do gás ozônio se mantiveram constantes. A concentração residual de saturação do gás foi de 1,796 mg L⁻¹, o que corresponde a cerca de 83,92 % da concentração inicial adotada.

Utilizando procedimento semelhante, Ávila (2015) obteve tempo de saturação 11,67 h ao ozonizar 1,8 kg de arroz em casca na concentração 3,0 mg L⁻¹ e fluxo de injeção de 1,0 L min⁻¹. Santos (2014) obteve tempo de saturação 13,97 min ao ozonizar 500 g de arroz em casca na concentração 10,13 mg L⁻¹ e fluxo de injeção de 1,0 L min⁻¹. Brito Júnior (2013) obteve tempo de saturação de 2 h e 30 min para 2 kg de grãos de milho na concentração 2,14 mg L⁻¹ e fluxo de injeção de 5,8 L min⁻¹. Silva (2011) obteve tempo de saturação de 36 h ao ozonizar 7,5 kg de grãos de trigo na concentração 2,14 mg L⁻¹ e fluxo de injeção de 2,0 L min⁻¹. Alencar (2009), ao submeter 1 kg de grãos de amendoim ao gás ozônio na concentração 0,45 mg L⁻¹ e fluxo de injeção de 3,0 L min⁻¹, obteve tempo de saturação de 3 h e 20 min.

5.2.3. Efeito da ozonização sobre a qualidade tecnológica e físico-química dos grãos de arroz

5.2.3.1. Composição Centesimal

Os coeficientes de determinação das equações ajustadas da regressão demonstram que 89,18 % da variância da regressão para o teor de água, sofrem efeito do período de ozonização. O mesmo acontece com 93,34 % da variância

da regressão para teor de lipídeos e 96,42 % para teor de minerais. Os teores de proteínas não são influenciados pelo período de exposição ao ozônio (Tabela 6).

Tabela 6 Equações de regressão ajustadas para composição centesimal, em função do período de ozonização, nos diferentes tempos (X) e seus respectivos coeficientes de determinação (R^2/r^2).

Equações ajustadas		R^2/r^2
Teor de água	$\hat{y} = 11,4055 - 0,01455^{**} X$	0,8918
Proteína	$\hat{y} = 6,84$	—
Lipídeo	$\hat{y} = 0,594633 + 0,0121035^{**} X - 0,000955881^* X$	0,9334
Cinza	$\hat{y} = 3,98511 + 0,027239^{**} X$	0,9642

* significativo a 5% de probabilidade pelo teste t; ** significativo a 1% de probabilidade pelo teste t.

No teste de médias (Tabela 7), as amostras submetidas a tratamento diferiram significativamente em comparação ao controle; houve efeito direto do ozônio na composição centesimal dos grãos de arroz.

Tabela 7 Valores médios* (em base seca) para composição centesimal em função do período de ozonização.

Tempo de ozonização (h)	Teor de água (%)	Proteína (%)	Lipídeo (%)	Cinza (%)
0 (padrão)	11,2271 a	6,7649 a	0,5929 a	0,3930 a
5	11,4152 a	6,7767 a	0,6221 a	0,3851 a
24	11,2561 a	6,9818 b	0,9060 b	0,4564 b
48	10,7560 b	6,9028 b	0,9084 b	0,5889 b
72	10,0641 b	6,7612 a	0,9112 b	0,6130 b
96	10,1509 b	6,8689 a	0,9829 b	0,6284 b

* Médias seguidas de mesma letra da testemunha ou padrão, na coluna, não diferem ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Dunnett.

O teor de água foi significativamente maior nos menores períodos de exposição ao ozônio, e diminui à medida que se aumentava o período, isso ocorreu decorrente da utilização do oxigênio isento de umidade, como insumo

na geração do ozônio, uma vez que os grãos de arroz são higroscópicos e tendem ao equilíbrio (WANG et al., 2010).

Uma solução para evitar o ressecamento dos grãos expostos ao ozônio, seria a reumidificação do gás, promovendo sua passagem por uma solução saturada de Cloreto de Sódio (NaCl, 75% de UR) conforme Santos (2014).

No que diz respeito aos teores de proteínas encontrados nessa pesquisa, houve poucas variações. Os períodos de exposição de 24 e 48 h apresentaram ligeiro aumento em relação ao arroz não tratado. Uma hipótese para o aumento pode ser respaldada no possível rearranjo dos aminoácidos e das subunidades das proteínas causado pela oxidação dos mesmos na presença do gás ozônio.

Os níveis de lipídeos foram proporcionalmente influenciados pelo tempo de exposição ao ozônio, aumentando à medida que se aumentava o tempo de exposição. A amostra submetida a 5 h de ozonização foi a única que apresentou valor inferior quando comparada à amostra controle, embora não tenham diferido significativamente entre si ($p > 0,05$). O aumento gradativo do teor de lipídeos totais em função do período de ozonização provavelmente esteja relacionado à oxidação lipídica e degradação de triacilglicerídeos na presença do ozônio, com possíveis alterações no perfil de ácidos graxos e aumento de ácidos graxos livres (ZHOU et al., 2002a).

O mesmo evento ocorreu em relação aos níveis de minerais dos grãos de arroz ozonizados, que aumentaram na presença do ozônio, não proporcionalmente, mas de forma significativa. Apenas a amostra submetida a 5 h de exposição ao gás não diferiu da amostra não tratada. A hipótese para o ocorrido segue o mesmo raciocínio para as demais variáveis; o aumento dos níveis de cinza pode ter relação com a oxidação de minerais como ferro, zinco e manganês na presença do ozônio, porém, a hipótese mais plausível está na possível migração destes compostos das camadas externas para o endosperma do grão durante a ozonização, talvez em decorrência da atividade enzimática (KAMINSKY et al., 2013).

Wang et al. (2010) observaram redução no teor de água de milho ozonizado em relação aos grãos não tratados, após ozonização de 12 h à concentração de $4,8 \text{ mg L}^{-1}$ e fluxo contínuo de $0,4 \text{ L min}^{-1}$. O mesmo foi relatado por Brito Junior et al. (2014) ao expor grãos de milho por diferentes períodos de

exposição à concentração de ozônio de 2,14 mg L⁻¹ e fluxo contínuo de 5,8 L min⁻¹. Silva (2011), por sua vez, não encontrou variação do teor de água em grãos de trigo ozonizados nas concentrações 0,54; 1,07; 1,61 e 2,14 mg L⁻¹ e fluxo contínuo de 2,0 L min⁻¹.

O ozônio é conhecido por alterar o perfil de aminoácidos e ácidos graxos em soluções aquosas por oxidação do grupo sulfidril (-SH) de aminoácidos e oxidação de ácidos graxos poliinsaturados de peróxidos, influenciando no valor nutricional (TIWARI et al., 2010). No entanto, Mendez et al. (2003) não observaram mudanças significativas no perfil de aminoácidos e ácidos graxos de grãos de soja, trigo e milho após ozonização à concentração de 50 ppm (0,107 mg L⁻¹) por 30 dias.

O mesmo foi observado por Brito Junior et al. (2014) que não relataram alterações nos teores de proteínas e lipídeos de grãos de milho ozonizado, do mesmo modo, Alencar et al. (2011a) que ao ozonizar amendoins, utilizando concentrações da ordem de 13 e 21 mg L⁻¹, por período de 96 h não encontrou alterações nos teores de ácidos graxos livres e lipídeos totais e Faroni et al. (2007) que relataram ausência de alteração no teor de lipídeos em milho tratado com 0,107 mg L⁻¹ de ozônio, por 168 h.

Alencar et al. (2014) ozonizando amendoins, adotando-se a concentração do gás de 3.960 ppm, por períodos de exposição de 0, 120 e 240 min, também não encontraram alterações nos teores de ácidos graxos livres e lipídeos totais.

Prudente e King (2002) relataram alterações insignificantes nos níveis de lipídeos totais e perfil de ácidos graxos em milho ozonizado, afirmando que concentrações de ozônio entre 0.05 e 5 ppm não são capazes de promover a oxidação lipídica em grãos. Wang et al. (2008) mostrou a perda de proteínas em amostras de milho ozonizadas em relação ao milho não tratado.

Mendez et al. (2003) observaram ainda que a farinha obtida de grãos de trigo ozonizados não apresentou diferenças significativas no teor de proteínas e cinzas quando comparada com a farinha de trigo controle, como observado por Silva (2011) para grãos de trigo ozonizados.

5.2.3.2. Rendimento dos grãos e renda do benefício

O coeficiente de determinação da equação ajustada da regressão para rendimento de grãos inteiros demonstra que 53,61 % da variância da regressão dependem do período de ozonização que, por conseguinte, também influenciou 89,73 % no percentual médio da renda do benefício (Tabela 8).

Tabela 8 Equações de regressão ajustadas para rendimento dos grãos e renda do benefício, em função do período de ozonização, nos diferentes tempos (X) e seus respectivos coeficientes de determinação (R²).

	Equações ajustadas	R²
Rendimento (%)	$\hat{y} = 71,90670980 - 0,03996953*X - 0,00031449*X^2$	0,5361
Renda do benefício (%)	$\hat{y} = 72,55052068 - 0,12229587*X + 0,0009145*X^2$	0,8973

* significativo a 5% de probabilidade pelo teste t;

Os grãos de arroz expostos ao ozônio por 48 h (Tabela 9) apresentaram maior rendimento de grãos inteiros e grãos ozonizados por 5 h apresentaram maior renda do benefício em relação ao arroz sem tratamento e aos demais tempos de exposição.

Tabela 9 Valores médios* para rendimento dos grãos e renda do benefício em função do período de ozonização.

Tempo de ozonização (h)	Rendimento (%)	Renda do benefício (%)
0 (padrão)	70,79 a	68,72 a
5	71,90 b	71,59 b
24	72,30 a	70,89 b
48	72,63 b	68,57 a
72	64,34 b	68,14 a
96	66,15 b	68,44 a

* Médias seguidas de mesma letra da testemunha ou padrão, na coluna, não diferem ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Dunnett.

Com o aumento do tempo de exposição observou-se uma queda no rendimento, 72 h e 96 h, em relação ao controle, 0 h. Isto pode ter sido provocado pela possível diminuição do teor de água, devido à utilização do oxigênio isento de umidade, como insumo na geração do ozônio, tornando-os mais susceptíveis à quebra, uma vez que os grãos, como todo material higroscópico, tendem ao

equilíbrio quando as pressões de vapor dos grãos e do seu ambiente intersticial oscilam (WANG et al, 2010; BRITO JUNIOR et al, 2014).

Os resultados encontrados, referentes aos grãos ozonizados e ao controle foram inferiores aos valores encontrados e divulgados pela EPAMIG/URESM/Lavras no lançamento da cultivar utilizada na pesquisa, BRSMG Caçula (EPAMIG, 2012). Sabe-se que o percentual de grãos inteiros influencia diretamente no rendimento dos grãos. Enquanto neste estudo obteve-se rendimento de grãos inteiros que variam de 64,34 % a 72,63 %, a equipe técnica da EPAMIG encontrou 58,8 % de rendimento de grãos inteiros. Já a renda do benefício, os valores variam de 68,14 % a 71,59 % enquanto EPAMIG (2012) obteve 72,0 %.

Paraginski et al. (2014) ao avaliarem os efeitos de diferentes temperaturas de armazenamento no processo de parboilização, obtiveram valores de rendimento de grãos inteiros de 57,06 % para arroz branco polido não parboilizado, armazenado à 25 °C durante sete dias e renda do benefício de 68,83 %.

Silva et al. (2014) estudaram os efeitos da utilização de exaustores eólicos complementares nas propriedades tecnológicas de arroz armazenado. Durante o beneficiamento de amostras armazenadas por 120 dias em silos metálicos sem exaustores complementares, os autores encontram rendimento de grãos inteiros de 59,77 %, valor superior a este estudo.

5.2.3.3. Teste de cocção

As equações de regressão ajustadas demonstram que a ozonização influenciou em mais de 66 % no tempo de cocção, 77 % no índice de absorção de água e 65 % no coeficiente de expansão de volume (Tabela 10). A perda de sólidos solúveis não sofreu influencia do tratamento.

Tabela 10 Equações de regressão ajustadas para o teste de cocção, em função do período de ozonização, nos diferentes tempos (X) e seus respectivos coeficientes de determinação (R^2).

	Equações ajustadas	R²
Tempo de cocção	$\hat{y} = 25,8549016 + 0,321579^{**}X - 0,0027608^{*} X^2$	0,6606
Índice de absorção de água	$\hat{y} = 3,619810684 + 0,0165137^{**}X - 0,00014998^{*} X^2$	0,7732
Coefficiente de expansão de volume	$\hat{y} = 4,999351757 + 0,0201759^{**}X - 0,0001927^{*} X^2$	0,6483
Perda de sólidos solúveis	$\hat{y} = 14,05$	_____

* significativo a 5% de probabilidade pelo teste F; ** significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.

As amostras submetidas à ozonização por 24 a 96 h tiveram um aumento indesejável no tempo de cocção de pelo menos 6 minutos em relação ao controle (Tabela 11) e um conseqüente, ainda que desejável, aumento de absorção de água.

Tabela 11 Valores médios* para teste de cocção em função do período de ozonização.

Tempo de ozonização (h)	TC (min)	IAA (%)	CEV (%)	PSS (%)
0 (padrão)	24,5 a	346,99 a	515,13 a	9,94 a
5	27,35 a	372,84 a	541,49 a	12,03 a
24	31,07 b	383,92 b	568,53 a	14,20 b
48	37,83 b	418,05 b	517,17 b	16,46 b
72	31,71 b	396,24 b	517,85 b	12,28 a
96	32,28 b	383,87 b	475,34 a	15,26 b

* Médias seguidas de mesma letra da testemunha ou padrão, na coluna, não diferem ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Dunnett.

Apenas as amostras ozonizadas por 5 h é que não variaram significativamente em relação ao controle em nenhuma das variáveis analisadas. As amostras submetidas a 48 h foram as que mais sofreram efeito da ozonização, uma vez que tiveram os maiores valores para todos os dados de cocção estudados.

Os valores obtidos nessa pesquisa apresentam-se superiores aos encontrados na literatura para arroz branco polido. Oliveira et al. (2008) avaliaram a qualidade tecnológica de diferentes cultivares de arroz branco polido e relataram valores que variam de 18,25 min a 21,5 min para tempo de cocção,

273 % a 302 % de absorção de água, 264 % a 554 % de expansão de volume e 9,58 % a 13,91 % de perda de sólidos solúveis. Paraginski et al. (2014) obtiveram, para arroz branco polido não parboilizado armazenado à 25 °C durante sete dias, tempo de cocção de 18,3 min, absorção de água de 249,74 % e expansão de volume de 228,69 %.

5.2.3.4. Propriedade de pasta

As equações de regressão ajustadas para as propriedades de pasta, em função do período de ozonização mostram que não houve efeito dos diferentes tempos de exposição nas propriedades de pasta dos grãos de arroz, apresentando valores médios de temperatura inicial de pasta de 84,29 °C, viscosidade máxima de 1510,20 cP, quebra de viscosidade de 342,50 cP, tendência à retrogradação de 1647,90 cP e viscosidade final de 2811,30 cP.

Os valores médios dessas mesmas variáveis em função do período de ozonização se encontram na Tabela 12.

Tabela 12 Valores médios* variáveis temperatura inicial de pasta (TIP), viscosidade máxima (VMax), quebra de viscosidade (QV), tendência à retrogradação (Ret) e viscosidade final (VFinal), em função do período de ozonização.

Tempo de ozonização (h)	TIP (°C)	VMax (cP)	QV (cP)	Ret (cP)	VFinal (cP)
0 (padrão)	82,3 a	1354,00 a	188,30 a	1751,00 a	2909,90 a
5	84,3 a	1575,50 a	339,00 b	1673,50 b	2908,5 a
24	81,5 a	1437,50 a	255,50 b	1692,50 b	2870,00 b
48	81,8 a	1921,00 b	685,50 b	1696,50 b	2926,50 b
72	87,6 a	1087,00 b	84,50 b	1540,50 b	2543,00 b
96	86,4 a	1530,00 a	348,00 b	1636,50 b	2808,50 b

* Médias seguidas de mesma letra da testemunha ou padrão, na coluna, não diferem ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Dunnett.

A temperatura inicial de pasta não variou significativamente entre si no teste de Dunnett ($p > 0,05$).-Para viscosidade máxima, as amostras com 5, 24 e 96 h de tempo de exposição ao ozônio não diferiram do controle. Enquanto que

os demais tempos de exposição apresentaram diferença significativa, sendo o tempo de 48 h o com a maior viscosidade máxima e o de 72 h o com a menor viscosidade máxima.

Em relação à quebra de viscosidade, tendência à retrogradação e viscosidade final, as amostras ozonizadas apresentaram diferença significativa em comparação à amostra sem tratamento. O tempo de exposição de 48 h foi o que apresentou maiores valores, ao passo que o tempo de 72 h foi o com os menores valores encontrados. Em relação à viscosidade final, as amostras expostas a 5 h de ozonização não diferiram significativamente da amostra sem tratamento.

Silva et al. (2014) encontraram valores superiores para as propriedades de pasta de arroz armazenado por 120 dias em silos metálicos sem exaustores complementares, 78,68 °C de temperatura inicial de pasta, 3.807 cP para de viscosidade máxima, 1.270,56 cP de quebra de viscosidade, 2.382,60 cP para tendência à retrogradação e 4.919,04 cP de viscosidade final.

Mendez et al. (2003) investigaram os efeitos do ozônio sobre a composição química e desempenho de processamento de alguns grãos e concluíram que a ozonização não interfere nas propriedades reológicas de arroz cozido, especialmente no que diz respeito à adesividade.

5.2.3.5. Avaliação de Cor

Os coeficientes de determinação das equações ajustadas da regressão demonstram que 96,35 % da variância da regressão para a coordenada de cor L é influenciado pelo período de ozonização (Tabela 13). As demais coordenadas não sofreram influência do tratamento.

Tabela 13 Equações de regressão ajustadas para cor, em função do período de ozonização, nos diferentes tempos (X) e seus respectivos coeficientes de determinação (R²).

	Equações ajustadas	R ²
L*	$\hat{y} = 72,8118 - 0,00339377^{**} X + 0,000214501^{**} X^2$	0,9635

a*	$\hat{y} = 12,29$
b*	$\hat{y} = -0,79667$

* significativo a 5% de probabilidade pelo teste t;

Os valores médios das amostras submetidas aos tratamentos diferiram significativamente em comparação ao controle (Tabela 14).

Tabela 14 Valores médios* para cor em função do período de ozonização.

Tempo de ozonização (h)	L*	a*	b*	ΔE
0 (padrão)	72,68 a	-0,8 a	11,96 a	21,26 a
5	72,71 a	-0,94 b	11,71 a	21,10 a
24	73,06 a	-0,84 a	11,97 a	20,95 b
48	72,99 a	-0,74 a	12,30 a	21,18 a
72	73,69 b	-0,69 b	12,66 b	20,82 b
96	74,47 b	-0,77 b	12, 83 b	20,31 b

* Médias seguidas de mesma letra da testemunha ou padrão, na coluna, não diferem ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Dunnett.

No sistema “CIE Lab”, a coordenada L indica a luminosidade. Sua determinação varia de 0 (preto) a 100 (branco), quanto mais próximo de 0, “mais escuro” e, quanto mais próximo de 100, “mais claro”. As coordenadas a* e b* são 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).

Conforme dados das leituras de L para as amostras do arroz ozonizado, apenas as amostras com os maiores tempos de exposição ao ozônio (72 e 96 h) apresentaram diferença da testemunha, com aumento da luminosidade de 1,01 e 1,79 respectivamente, tendendo ao branco.

A cromaticidade a* não sofreu efeito do tratamento, mas as amostras ozonizadas variaram em relação ao controle, sendo as expostas aos tempos 24 e 48 h as que mais se assemelharam com a não tratada. Os grãos ozonizados por 5 h foram os que apresentaram maiores valores de a* (aumento de 0,14), com leve tendência ao verde e os ozonizados por 72 e 96 h os que apresentaram menores valores de a* (diminuição de 0,11 e 0,03, respectivamente), com tendência ao branco.

A coordenada de cromaticidade b^* também não sofreu efeito do tratamento, embora as amostras ozonizadas tenham variado em relação ao controle, com aumento proporcional ao aumento do tempo de exposição ao ozônio, à medida que aumentava o tempo também aumentava os valores de b^* . Apenas as amostras ozonizadas a 72 e 96 h foram diferentes do controle, com leve tendência ao amarelo, devido ao aumento de 0,70 e 0,87, respectivamente.

A diferença total de cor (ΔE^*) diminuiu com o tempo de exposição. Grãos ozonizados a 24, 72 e 96 h foram diferentes do controle e apresentaram menor diferença de cor.

As coordenadas não podem ser analisadas isoladamente, juntas expressam uma medida tridimensional. A coordenada L^* , indica brancura ou luminosidade quanto mais próxima de 100; os valores de a^* e b^* também indicam brancura quando próximos ou iguais a zero (ORTOLAN et al., 2010). Isto indica que os grãos ozonizados apresentaram coloração mais branca pelo aumento da luminosidade e redução na tonalidade verde à medida que se aumentava o tempo de exposição ao gás, confirmando a capacidade do ozônio em descolorir pigmentos (TIWARI et al., 2010). Contraditoriamente, os ozonizados por maior tempo aumentaram a tonalidade amarela e com isso diminuíram a diferença total de cor (ΔE^*).

Mendez et al. (2003) observaram a descoloração da casca de arroz ozonizado (50 ppm por 30 dias) em relação aos tratamentos controle. No entanto, os grãos após benefício não foram avaliados.

Sandhu et al. (2011) ao comparar a eficácia do bromato de potássio com o ozônio na concentração de 1500 ppm por 2, 4,5, 9, 18 e 45 min na farinha de trigo para panificação, verificaram que esta se tornou mais branca e menos amarelo à medida que o período de ozonização aumentava quando comparado com o controle. Observaram aumento da luminosidade e redução da coordenada b^* com o aumento do período de exposição da farinha de trigo ao gás ozônio, enquanto a coordenada a^* não apresentou alterações.

Paes (2011) ao analisar o efeito da ozonização nas características tecnológicas de farinha de trigo nas concentrações 0,54, 1,07, 1,61 e 2,14 mg L⁻¹, verificou aumento da luminosidade e da coordenada a^* e redução da

coordenada b^* à medida que aumentava o período de exposição da farinha de trigo ao gás ozônio nas referidas concentrações.

5.2.3.6. Grau de infestação

Os grãos de arroz armazenado, expostos ao ozônio nos períodos de 5, 24, 48, 72 e 96 h não apresentaram grãos danificados. Apenas a amostra controle (0 h) apresentou valor médio de 5 grãos danificados.

O tratamento com ozônio foi eficiente na eliminação de insetos-praga de grãos armazenados. Segundo Tiwari et al. (2010), o ozônio é um fumigante eficaz para matar insetos-praga como *Tribolium castaneum*, *Ephestia elutella*, *Oryzaephilus surinamensis*, *Sitophilus zeamais*, *Rhyzopertha dominica* e *Sitophilus oryzae*, estes últimos, muito comuns em arroz.

Kells et al. (2001) relataram alta taxa de mortalidade de *Tribolium castaneum* e *Sitophilus zeamais* em milho exposto ao ozônio (50 ppm para 3 dias ou 25 ppm por 5 dias).

Isikber e Öztekin (2009) estudaram o efeito da ozonização em farinha de trigo a uma concentração de 13,9 mg L⁻¹ sob a taxa de mortalidade de duas espécies de besouros, *Ephestia kuehniella* e *Tribolium confusum* durante toda a fase de desenvolvimento do inseto e perceberam maior susceptibilidade e alta mortalidade (90-100%) em todas as fases (larva, pupa e adulto) de *E. kuehniella* em comparação com *T. confusum* (1,3-22,7%).

Rozado et al. (2008) relataram taxa de letalidade de 95% para adultos de *S. zeamais* e *T. castaneum* em grãos armazenados de milho em atmosfera modificada, com um injeção de ozônio de 50 mg kg⁻¹ por 23,76 e 64,19 h.

Sousa et al. (2012) verificaram elevada susceptibilidade e baixa variabilidade de resposta de *Sitophilus zeamais* em milho exposto ao ozônio a 50 ppm com fluxo contínuo de 2,0 L min⁻¹

Ávila et al. (2014) relataram diminuição da taxa respiratória de *Rhyzopertha dominica* após ozonização a 500 ppmv por 5 h, tendo grãos de trigo como substrato para os insetos, em comparação ao controle, indicando efeito positivo do ozônio no controle do inseto.

O sistema respiratório é considerado a principal rota de entrada de gases tóxicos no corpo de um inseto, determinando a taxa de letalidade do fumigante. O ozônio causa oxidação das membranas respiratórias com complicações nas funções brônquicas, resultando na diminuição da taxa respiratória (TIWARI et al., 2010). Entretanto, Ávila et al. (2014) e Sousa et al. (2008) não observaram qualquer correlação entre a taxa respiratória dos insetos e de sua sensibilidade ao ozônio.

5.2.3.7. Quantificação e determinação de fungos

Os valores para quantificação e determinação de *Aspergillus* sp., obtidos dos grãos de arroz armazenado, expostos ao ozônio nos períodos de ozonização 5, 24, 48, 72 e 96 h, foram ajustados na equação de regressão: $\hat{y} = 25,0215 + 13,9696 X - 0,923783 X^2$; onde $R^2 = 0,9405$.

Para *Aspergillus* sp., 94,05 % dos resultados mostram efeito do período de exposição ao ozônio. Os valores médios para fungos, em função do tempo, apresentados na Tabela 15, mostram que o gás ozônio não foi eficiente no controle de fungos, uma vez que foi utilizada uma baixa concentração do gás (2,14 mg L⁻¹) e não foram realizados testes preliminares com diferentes concentrações a fim de verificar sua eficiência no controle dos fungos, conforme Santos (2014) e Ávila (2015).

Tabela 15 Valores médios* referentes à ocorrência de fungos do gênero *Aspergillus* sp e *Penicillium* sp em função do período de ozonização.

Tratamento	<i>Aspergillus</i> sp.	<i>Penicillium</i> sp.
0 h (padrão)	25,0 a	17,0 a
5 h	2,0 b	1,0 b
24 h	25,0 a	0,0 b
48 h	25,0 a	0,0 b
72 h	25,0 a	0,0 b

* Médias seguidas de mesma letra da testemunha ou padrão, na coluna, não diferem ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Dunnett.

Os valores médios das amostras submetidas à ozonização não diferiram na amostra não tratada com relação à contaminação por *Aspergillus sp.*, exceto no tempo de exposição de 5 h, que houve redução significativa desse fungo, resultado intrigante e discrepante dos demais. A hipótese para o ocorrido é que esta análise não foi realizada imediatamente após a exposição ao ozônio e os grãos foram plaqueados por ordem crescente dos tratamentos; por se tratar de um gás com poder 'curativo' e sem efeito 'protetor', a reprodução dos fungos pode ter ocorrido à medida que os grãos não eram analisados. Contudo, os resultados nos permitem atestar a não eficiência do gás ozônio na concentração de 2,14 mg L⁻¹, nos períodos utilizados, tendo em vista a presença de *Aspergillus sp.* nas amostras.

Vale ressaltar que cada espécie de microrganismo apresenta sensibilidade específica ao ozônio, variando inclusive, em função do hospedeiro (PASCUAL et al, 2007).

Em relação à contaminação por *Penicillium sp.*, os tratamentos diferiram significativamente em comparação ao controle, indicando efeito direto do ozônio; apenas o tempo de exposição de 5 h não foi suficiente para eliminar totalmente os fungos do gênero *Penicillium sp.*, embora tenha havido considerável redução.

Berber-Rodrigues et al. (2015), a partir de aplicações de três diferentes concentrações de ozônio (10, 20 e 40 mg L⁻¹) em arroz em casca, durante 1,6 min de ozonização, seguida de mais 30 min de repouso, relataram redução de 60 e 70 % de *Aspergillus* e *Penicillium*, respectivamente à medida que aumentou as concentrações. Apesar da extensa redução da carga total de fungos, os dados demonstram resistência destes fungos nas concentrações de gás aplicado, uma vez que não foram eficientes para descontaminação.

Brito Junior et al. (2014) ao ozonizar grãos de milho na concentração de 2,14 mg L⁻¹ e fluxo de injeção de 5,8 L min⁻¹, observou redução significativa (p<0,05) no percentual de grãos contaminados por *Aspergillus spp* e *Penicillium spp* à medida que se elevou o tempo de exposição dos grãos ao gás ozônio, quando comparado ao tratamento controle.

Alencar et al. (2014) ozonizando amendoins, adotando-se a concentração do gás de 3.960 ppm, por períodos de exposição de 0, 120 e 240 min, relataram redução de *Aspergillus flavus* e *Aspergillus parasiticus* com redução superior a 2,4 e 3,0 ciclos log na contagem dos micro organismos.

Alencar et al. (2012) obtiveram decréscimo na contagem de *Aspergillus flavus* e *Aspergillus parasiticus* de aproximadamente 3 ciclos log em grãos de amendoim ozonizados na concentração de 9.828 ppm por 96 h.

Silva (2011) estudou o efeito do ozônio em grãos de trigo e verificou que o gás a 0,54 mg L⁻¹ por 100 h não apresentou efeito sanitizante, uma vez que não houve eliminação significativa de *Penicillium* nas amostras tratadas.

Ciccarese et al. (2007) também observaram redução significativa de *Aspergillus* e *Penicillium* em grãos de trigo, aveia e ervilha devido à exposição ao gás ozônio.

5.2.4 Efeito da ozonização e irradiação gama (⁶⁰Co) sobre a qualidade tecnológica e físico-química dos grãos de arroz.

No sentido de comparar dois tratamentos alternativos, ozonização e irradiação gama (⁶⁰CO), no combate de insetos-pragas e de fungos de armazenamento potencialmente toxigênicos, utilizou-se o tempo de exposição ao ozônio de 5 h, uma vez que se mostrou eficiente na desinfestação e descontaminação sem causar efeitos na qualidade tecnológica e físico-química dos grãos de arroz, não diferindo da amostra controle na maioria das análises, e a taxa de dose de radiação gama (⁶⁰Co) de 7,5 kGy, segundo Silva (2010).

5.2.4.1. Composição centesimal

A ozonização não alterou a composição centesimal dos grãos de arroz (Tabela 16), uma vez que as amostras ozonizadas não diferiram das amostras controle.

Tabela 16 Valores médios* (em base seca) para composição centesimal em função dos tratamentos.

Tratamento	Teor de água (%)	Proteína (%)	Lipídeo (%)	Cinza (%)
Controle	11,2271 a	6,7649 a	0,5929 b	0,3901 b
O ₃ 5 h	11,4152 a	6,7767 a	0,6221 b	0,3851 b
(⁶⁰ CO) 7,5 kGy	10,7670 b	6,1642 b	0,7786 a	0,4473 a

* Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Os resultados não permitem atribuir a diferença no teor de água das amostras irradiadas apenas ao tratamento, condições de umidade durante o armazenamento e manipulação das amostras também podem interferir no teor de água, haja vista a pequena diferença encontrada entre as amostras.

Escassos estudos sobre irradiação em grãos de arroz revelam que a radiação gama não é capaz de alterar a composição centesimal, entretanto, os dados encontrados contrariam essa afirmativa, uma vez que os teores de proteína, lipídeos e cinzas foram significativamente influenciados pelo tratamento.

Guimarães et al (2012) não encontraram efeito da radiação gama na composição centesimal dos grãos irradiados em diferentes doses de radiação. Para os irradiados a 7,5 kGy os valores encontrados para umidade foram de 11,92 %, proteína de 0,784 %, lipídeos de 0,689 % e cinzas de 0,499 %.

Zanão et al. (2009) não observaram diferença entre os grãos de arroz irradiados e os não tratados em relação à composição centesimal. Os grãos irradiados à dose de 5 kGy apresentaram valores iguais a 10,68 % de umidade, 8,72 % de proteína, 0,60 % de lipídeos e 0,45 % de cinzas.

5.2.4.2 Rendimento dos grãos e renda do benefício

As amostras ozonizadas tiveram maior rendimento de inteiros quando comparadas ao controle e as irradiadas (Tabela 17), indicando ser um tratamento melhor que a irradiação. Em contrapartida, o tratamento com radiação gama não teve nenhum efeito na renda do benefício, uma vez que não diferiu do controle. O aumento de inteiros e da renda nas amostras ozonizadas talvez esteja

relacionado ao teor de água dos grãos, uma vez que grãos com menor umidade são mais susceptíveis à quebra.

Tabela 17 Valores médios* para rendimento de grãos e renda do benefício em função dos tratamentos.

Tratamento	Rendimento	Renda do benefício
Controle	70,79 a	68,72 b
O ₃ 5 h	71,90 a	71,59 a
(⁶⁰ CO) 7,5 kGy	65,03 b	68,268 b

* Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Zanão et al. (2009) ao verificarem a viabilidade da radiação gama como método de conservação do arroz polido nas doses 0,5; 1,0; 3,0; e 5,0 kGy, constatou que o tratamento não interferiu na rendimento dos grãos, no percentual de grãos quebrados e na renda do benefício, encontrando valores de renda próximos a 90,8% para todos os tratamentos.

Mingotte et al. (2012) avaliaram as características físico-químicas de 13 diferentes cultivares de arroz de terras altas, submetidas a diferentes doses de adubação com nitrogênio e encontraram para as amostras controle valores de rendimento dos grãos e renda do benefício que variaram de 19,8 a 65,2 % e de 56,8 a 73,8 %, respectivamente, entre as cultivares.

Os valores obtidos nessa pesquisa para percentual de grãos inteiros e renda do benefício são coerentes aos encontrados na literatura e, do ponto de vista do beneficiamento, apontam a ozonização e a irradiação como bons tratamentos.

5.2.4.3. Teste de cocção

As amostras submetidas à ozonização foram as que mais se aproximaram do controle (Tabela 18), não diferindo em relação ao tempo de cocção e perda de sólidos solúveis. As amostras irradiadas apresentaram maiores valores para índice de absorção de água e coeficiente de expansão de volume, que são as

propriedades que refletem o rendimento de panela, indicando um efeito benéfico na radiação gama nas características de cocção do arroz.

Tabela 18 Valores médios* para teste de cocção em função dos tratamentos

Tratamento	TC (min)	IAA (%)	CEV (%)	PSS (%)
Controle	24,5 b	346,99 b	515,13 b	9,94 b
O ₃ 5 h	27,35 ab	372,84 a	541,49 a	12,03 b
(⁶⁰ CO) 7,5 kGy	31,35 a	320,54 c	418,36 c	26,58 a

* Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Guimarães et al (2013a) com objetivo de avaliar a qualidade de cocção de grãos de arroz submetidos à radiação gama nas doses de 6,5 kGy e 7,5 kGy, verificaram que a irradiação induziu a queda da expansão de volume e o aumento da perda de sólidos solúveis. Para a dose de 7,5 kGy, os autores obtiveram tempo de cocção de 18,21 min, absorção de água de 265,16 %, expansão de volume de 323,21% e perda de sólidos solúveis de 18,32 %.

Polesi et al. (2012) estudaram o efeito da radiação gama nas doses 1, 2 e 5 kGy, nas propriedades físico-químicas do arroz e constataram que a irradiação promoveu redução da absorção de água e volume de expansão e aumento da perda de sólidos na água de cocção, conforme aumentava as doses de radiação. Para os grãos irradiados com dose de 5 kGy, encontraram 315,1 % de absorção de água, 435,7 % de expansão de volume e 6,5 % de perda de sólidos solúveis.

Os dados encontrados, embora não apresentem comportamento semelhante ao citado na literatura para grãos irradiados, apontam a irradiação e a ozonização como bons tratamentos, uma vez que a irradiação contribuiu para aumentar o rendimento de panela do arroz e a ozonização não exerceu efeito sobre as características de cocção dos grãos.

5.2.4.4. Propriedade de pasta

Os tratamentos não afetaram significativamente a temperatura inicial de pasta, viscosidade máxima e a quebra de viscosidade dos grãos de arroz (Tabela 19), uma vez que não houve efeito pelo teste F ($p > 0,05$). Com relação à propriedade de tendência à retrogradação e viscosidade final, a ozonização se mostrou um melhor tratamento, haja vista que não diferiu do controle, embora também não tenha diferido das amostras irradiadas. A radiação gama, por sua vez, exerceu efeito deletério nas propriedades de pasta do arroz já que induziu consideravelmente o aumento da tendência à retrogradação e diminuiu a viscosidade final.

Tabela 19 Valores médios* das variáveis temperatura inicial de pasta (TIP), viscosidade máxima (VMax), quebra de viscosidade (QV), tendência à retrogradação (Ret) e viscosidade final (VFinal), em função dos tratamentos.

Tratamento	TIP (°C)	VMáx (cP)	QV (cP)	Ret (cP)	VFinal (cP)
Controle	82,3 a	1354,00 a	188,30 a	1751,00 a	2909,90 a
O ₃ 5 h	84,3 a	1575,50 a	339,00 a	1673,50 ab	2908,5 ab
(⁶⁰ CO) 7,5 kGy	84,8 a	868,28 a	233,85 a	919,42 b	1551,00 b

* Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Guimarães et al. (2013 b) encontrou redução da viscosidade máxima e viscosidade final, seguido de aumento da tendência à retrogradação em relação às doses de irradiação, apresentando, para dose de radiação de 7,5 kGy, valores médios de temperatura inicial de pasta de 85,41 °C, viscosidade máxima de 691,57 RVU, quebra de viscosidade de 417,28 RVU, tendência a retrogradação de 469,00 RVU e viscosidade final de 743,28 RVU.

Zanão et al. (2009), aplicando diferentes doses de radiação (1,0, 3,0 e 5,0 kGy), encontrou redução da temperatura de pasta, viscosidade máxima, viscosidade final, a tendência à retrogradação se tornou menos acentuada com o incremento das doses de irradiação. Para grãos irradiados com dose de 5 kGy, encontraram temperatura inicial de pasta de 88 °C, viscosidade máxima de 732 cP, quebra de viscosidade de 372 cP, tendência a retrogradação de 12 cP e viscosidade final de 684 cP.

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 et al. (2013), Zanão et al. (2009) e Yu e Wang (2007) atribuem a diminuição da viscosidade do arroz à irradiação, causada pela modificação da microestrutura do amido.

Outro fator que pode contribuir para o decréscimo da viscosidade máxima é o conteúdo de proteína, pois a proteína pode atuar como barreira física para o intumescimento do amido, uma vez que os grânulos de amido podem se ligar na matriz da proteína (TEBA, ASCHERI, CARVALHO, 2009).

5.2.4.5. Quantificação de proteínas

Os tratamentos com ozônio e radiação gama influenciaram significativamente na composição das proteínas do arroz, causando um aumento nos percentuais de UPP e queda nos percentuais de solubilidade (Tabela 20).

Tabela 20 Valores médios* para Proteínas Poliméricas não-extraíveis (UPP) e Solubilidade em função dos tratamentos.

Tratamento	UPP (%)	Solubilidade (%)
Controle	59,78 c	56,34 a
O ₃ 5 h	63,98 b	41,82 b
(^{60}Co) 7,5 kGy	77,06 a	46,15 b

* Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

A solubilidade representa a quantidade relativa de proteínas monoméricas e poliméricas da farinha de arroz, que podem ser extraídas sem utilizar sonicação, uma vez que, estão livres ou fracamente ligadas. O percentual de UPP é um parâmetro bem simples criado por Gupta et al. (1993) para proteínas de trigo, que permite calcular o percentual de proteínas poliméricas não-extraíveis (UPP), correspondentes à fração das subunidades de glutelina de alta massa molecular. O aumento do percentual de UPP está diretamente relacionado à queda da solubilidade, associada com o aumento da capacidade

das proteínas poliméricas de interagir com as proteínas monoméricas (OZVALD et al., 2008).

Para panificação, farinhas de trigo de boa qualidade apresentam bons níveis de UPP e conseqüentemente bom tempo de desenvolvimento da massa, potencial de mistura e resistência à extensão (GUPTA et al. (1993) PIROZI et al., 2008).

Pirozi (2003) avaliou percentuais de UPP em linhagens de trigo e observou valores entre aproximadamente 40 % e 52 % para as farinhas de boa qualidade de panificação.

Machado (2012) ao avaliar farinha de arroz, obteve 59 % de UPP e afirmou que embora este parâmetro seja relacionado à qualidade de panificação, o percentual muito elevado pode ser indicativo de farinha inadequada para panificação. Zhang et al. (2008) demonstraram que algumas variedades, apesar de terem maiores porcentagens de UPP, apresentaram menor estabilidade durante a mistura da massa

5.2.4.6. Condutividade elétrica e Atividade de água.

A condutividade elétrica foi afetada significativamente pela irradiação (Tabela 21) acarretando num decréscimo de pouco mais de 1 $\mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$ em relação ao controle, assim como, a condutividade elétrica dos grãos.

Tabela 21 Valores médios* para condutividade elétrica e atividade de água em função dos tratamentos.

Tratamento	Condutividade elétrica ($\mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$)	Atividade de água (a^w)
Controle	11,4263 a	6,0688 b
O ₃ 5 h	11,2254 a	6,0588 b
(⁶⁰ CO) 7,5 kGy	10,7670 b	6,1642 a

* Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

A avaliação da condutividade elétrica é um dos procedimentos analíticos que analisam o vigor do grão, a condição fisiológica. Seus resultados expressam a quantidade de íons lixiviados do interior dos grãos para o meio externo, indicando seu grau de deterioração (Vieira, 1994).

Silva (2011), observou aumento significativo dos valores referentes à condutividade elétrica em grãos de trigo ozonizados, na concentração de 2,14 mg L⁻¹, por períodos de 20, 40 e 60 h, em comparação com o controle. Os dados obtidos variaram entre 18,2 e 20 μS cm⁻¹ g⁻¹ nas amostras ozonizadas pelos diferentes tempos de exposição.

Brito Junior et al. (2014) não encontraram efeito significativo no ozônio nos valores de condutividade elétrica em grãos de milho em comparação com o controle. No entanto, observaram um aumento significativo nos valores de condutividade elétrica dos grãos, à medida que se elevava o tempo de exposição ao gás. Os valores obtidos para condutividade elétrica entre os diferentes tempos de exposição variaram entre 41 e 46 μS cm⁻¹ g⁻¹.

Santos (2008), ao ozonizar grãos de milho, na concentração de 0,214 mg L⁻¹ por 180 min, também não constatou variações significativas para condutividade elétrica dos grãos ozonizados (22,67 μS cm⁻¹ g⁻¹), em relação ao milho controle (21,47 μS cm⁻¹ g⁻¹)

Com relação à atividade de água, a irradiação ocasionou ligeiro aumento diferindo significativamente das demais amostras, por outro lado, a ozonização não influenciou na atividade de água.

Aquino et al (2011) após irradiar grãos de arroz branco polido em diferentes doses de radiação, encontraram um decréscimo dos valores de atividade de água com o aumento das doses. Os valores das amostras não irradiadas (0,59 aw) demonstraram diferença significativa, quando comparadas com as amostras irradiadas nas doses de 2 kGy (0,57 aw) e 4 kGy (0,55 aw).

Guimarães (2009) após irradiar grãos de arroz a diferentes doses de radiação, concluiu que a utilização da radiação gama não altera a atividade de água dos grãos. O valor médio obtido para atividade de água foi de 0,60 aw.

Souza (2006) irradiou grãos de soja com radiação gama na dose de 2,0 e 5,0 kGy durante o período de armazenamento e notou não só influência do

armazenamento na atividade de água como também da irradiação que ocasionou ligeiro aumento da atividade de água dos grãos.

5.2.4.7. Avaliação instrumental da cor

A ozonização não exerceu influência na cor dos grãos de arroz (Tabela 22), não diferindo das amostras não tratadas, por outro lado, a irradiação gama afetou significativamente a coloração com diminuição da luminosidade, aumento da coordenada a^* , com leve tendência ao verde e considerável aumento da coordenada b^* tendendo ao amarelo. A diferença total de cor (ΔE^*) também aumentou nas amostras irradiadas.

Tabela 22 Valores médios* para cor em função dos tratamentos.

Tratamento	L^*	a^*	b^*	ΔE
Controle	72,68 a	-0,8 b	11,96 b	21,26 b
O ₃ 5 h	72,71 a	-0,94 b	11,71 b	21,10 b
(⁶⁰ CO) 7,5 kGy	70,55 b	0,57 a	17,71 a	26,41 a

* Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Polesi et al (2012) ao irradiar grãos de arroz observou o amarelecimento das amostras, quanto maior a dose de radiação, maior a intensidade da cor, tanto para o arroz cru quanto para o arroz cozido, entretanto, a luminosidade não variou entre as amostras ozonizadas. Os valores encontrados para grãos crus irradiados com a dose de 5 kGy foram 67,6 para L , 15,07 para a^* e 98,38 para b^* . O cozimento dos grãos promoveu aumento da coordenada b^* e diminuição da coloração amarela.

Guimarães et al (2012) observaram o aumento da cor amarela com o aumento da dose de irradiação encontrando 89,25 para coordenada L , 0,03 para coordenada a^* e 10,04 para coordenada b^* .

Silva (2010) ao irradiar grãos de arroz branco polido com diferentes doses de radiação, observou o aumento da cor amarela com o aumento da radiação.

Os dados obtidos na dose de 7,5 kGy para coordenada L variou de 70,22 a 82,71, coordenada a* de 0,33 a 0,76 e coordenada b* de 9,44 a 19,30.

Zanão et al (2009) não encontraram diferença significativa da luminosidade das amostras submetidas à irradiação, porém, verificaram um aumento da cor amarela à medida que aumentava a dose de radiação. Para a dose de 5 kGy os valores para as coordenadas L, a* e b* foram 70,30; 1,60 e 13,9, respectivamente.

Sirisoontaralak e Noomhorn (2006) afirmaram que o arroz muda a cor de “branco cremoso” para “amarelado” com o aumento das doses de irradiação, sendo que, até mesmo com baixa dose 0,2 kGy, já ocorre a mudança da cor. Essas mudanças podem estar relacionadas ao possível desarranjo de glicosídeos com liberação de carbono e combinações de aminoácidos ocorridos durante a irradiação.

Segundo Lee (2007) as alterações químicas sofridas durante o processo de irradiação, as reações de Maillard, a oxidação de fenóis com formação de melanoidinas, a produção de radicais livres e de produtos da radiólise de glicosídeos, são capazes de alterar a coloração dos produtos irradiados.

5.2.4.8. Grau de infestação

Os tratamentos com ozônio e com radiação gama foram eficientes na eliminação de insetos-praga de grãos armazenados, conforme o esperado e descrito na literatura. Apenas a amostra controle apresentou 2,57 insetos vivos.

Zanão et al (2009) observaram efeito negativo da irradiação no desenvolvimento de inseto-pragas (*Sitophilus Oryzae L.*) em grãos de arroz, encontrando poucos insetos vivos nas amostras irradiadas com as doses de 0,5 e 1,0 kGy, as doses acima disso foram eficientes na eliminação destes insetos.

Silva (2010) verificou a eficiência da irradiação no combate de insetos-pragas de armazenamento obtendo eliminação total de gorgulhos (*Sitophilus Oryzae L.*) e traças (*Sitotroga cerealella*) nas doses de 6,5 e 7,5 kGy.

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.

5.2.4.9. Quantificação e determinação de fungos

Os tratamentos (ozonização e irradiação) não diferiram entre si em relação à ocorrência de fungos, embora tenham sido capazes de reduzir sua incidência, não conseguiram eliminá-los, conforme Tabela 23.

Tabela 23 Valores médios* referentes à ocorrência de fungos do gênero *Aspergillus sp* e *Penicillium sp* em função dos tratamentos.

Tratamento	<i>Aspergillus sp.</i>	<i>Penicillium sp.</i>
Controle	25,0 a	17,0 a
O ₃ 5 h	2,0 b	1,0 b
(⁶⁰ CO) 7,5 kGy	4,28 b	1,4 b

* Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Silva (2010) ao utilizar a dose de 7,5 kGy de (⁶⁰CO), eliminou completamente os fungos *Aspergillus sp* e *Penicillium sp* do arroz branco polido armazenado.

Guimarães (2009), ao determinar doses ideais de radiação gama (⁶⁰Co) para controle e eliminação de cada tipo de fungo em arroz, encontrou a dose mínima de 6,94 kGy de radiação para eliminar *Aspergillus spp*.

Aquino et al (2011) irradiou grãos de arroz com doses de 2 e 4 kGy e obteve para este último, redução total de todos os possíveis fungos contaminantes de arroz.

Costa et al. (2013) comprovaram a eficiência da radiação gama, conseguindo eliminar *Aspergillus flavus* de amendoim em todas as doses utilizadas 6, 9, 12 e 15 kGy.

6. CONCLUSÕES

- A concentração e o tempo de saturação do gás ozônio nos grãos de arroz foi de 1,796 mg L⁻¹ e 180,93 min, respectivamente;
- O ozônio interferiu diretamente na composição centesimal, aumentando os teores de lipídeos e cinza do arroz, promoveu diminuição do rendimento dos grãos e renda do benefício à medida que se aumentou o período de exposição ao gás e influenciou a qualidade de cocção aumentando o tempo de cocção e o índice de absorção de água; não exerceu efeito nas propriedades de pasta, promoveu o aumento da luminosidade, tendendo mais ao branco, à medida que se aumentou o período de exposição ao gás, foi eficiente no combate a insetos-praga e a *Penicillium* sp., mas não reduziu a incidência de *Aspergillus* sp;
- A radiação gama ⁶⁰CO aumentou significativamente os teores de proteína, lipídeos e cinzas, diminuiu o rendimento dos grãos e a renda do benefício, interferiu nas características de cocção do arroz aumentando o índice de absorção de água e o coeficiente de expansão do volume e exerceu efeito nas propriedades de pasta do arroz aumentando a tendência à retrogradação e diminuindo a viscosidade final; promoveu a diminuição da luminosidade tendendo ao amarelo, foi eficiente no combate a insetos-praga e reduziu a incidência de *Penicillium* sp e *Aspergillus* sp.
- A condutividade elétrica foi afetada significativamente pelo ozônio.
- A radiação gama ⁶⁰CO ocasionou ligeiro aumento na atividade de água.
- O ozônio e a radiação gama influenciaram na composição das proteínas do arroz, causando queda nos percentuais de solubilidade proteica e um aumento nos percentuais de proteínas poliméricas não-extraíveis (UPP).

Os resultados indicam que ambos os tratamentos são boas alternativas para o controle de insetos-praga e de fungos, contudo, mais estudos são necessários.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O armazenamento não afetou positivamente as características físico-químicas dos grãos de arroz sendo uma etapa essencial para a maturação, porém é durante ela que insetos-pragas e fungos toxigênicos os atacam.

O ozônio se mostrou boa alternativa no controle dos insetos e fungos, tendo em vista que não afetou as características intrínsecas dos grãos. Contudo, não foi eficiente para eliminar o fungo *Aspergillus* sp.

A irradiação gama também é uma boa alternativa no controle dos insetos e fungos, contudo, não foi eficiente para eliminar os fungos *Aspergillus* sp e *Penicillium* sp. e acarretou alterações na coloração dos grãos deixando-os com aparência indesejável pelo consumidor.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUILAR, J. A.D.; ARTHUR, V. Dose letal de radiação gama para ovos de *Corcyra cephalonica* (Stainton, 1865) (Lepidoptera: Pyralidae), traça do arroz. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 51, n. 1, p. 191-194, jan./abr. 1994.
- ALENCAR, E.R. Processo de Ozonização de Amendoim (*Arachis hypogea* L.): cinética de decomposição, efeito fungicida e detoxificante de aflatoxinas e aspectos qualitativos. 2009. 106 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, 2009.
- ALENCAR, E. R. ; FARONI, Lêda Rita D& ; PINTO, M. S. ; COSTA, A. R. . Effectiveness of Ozone on Postharvest Conservation of Pear (*Pyrus communis* L.). **Journal of Food Processing & Technology**, v. 05, p. 317-322, 2014.
- ALENCAR, E. R.; FARONI, L. R. A.; SOARES, N. F. F.; CARVALHO, M. C. S.; PEREIRA, K. F. Effect of the ozonization process on the quality of peanuts and crue oil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, n.2, p.154-160, 2011a.
- ALENCAR, E. R ; FARONI, L. R. D'; SOARES, N. F. F. ; DA SILVA, W. A.; DA SILVA CARVALHO, M. C . Efficacy of ozone as a fungicidal and detoxifying agent of aflatoxins in peanuts. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 92, p. 899-905, 2011 b..
- ALENCAR, E. R ; FARONI, L. R. D'; SOARES, N. F. F. ; DA SILVA, W. A.; DA SILVA CARVALHO, M. C . Efficacy of ozone as a fungicidal and detoxifying agent of aflatoxins in peanuts. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 92, p. 899-905, 2012.
- ALWI, N.A.; ALI, A.. Reduction of *Escherichia coli* O157, *Listeria monocytogenes* and *Salmonella enterica* sv. Typhimurium populations on fresh-cut bell pepper using gaseous ozone. *Food Control* v. 46, p. 304-311, 2014.
- AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTRY – AACC. **AACC International Method**, 1999
- APHA; AWWA; WEF, **Standard methods for the examination of water and wastewater**, 21st ed. Public Health Association: Washington, 2005.
- AQUINO, S; NUNES, T.C.F; CORRÊA, B. Efeito da radiação gama nas propriedades sensoriais, atividade de água e microbiota de arroz. **Com Scientiae Saúde** v.10, n.2, p.215-222, 2011.
- ASGHAR, S., ANJUM, F.M; AMIR, R.M; KHAN, M.A. Cooking and eating characteristics of Rice (*Oryza sativa* L.)-A review. **PAK. J. FOOD SCI.** V.22(3), p. 128-132, 2012.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS - AOAC. **Official methods of analysis of AOAC International**. 16. ed. Gaitheersburg, 1998;
- ÁVILA, M.B.R; FARONI, L.R.D; HELENO, F.F; VELASQUEZ, L.P.; MASSANGO, H.G.L.L. Influência do gás ozônio na taxa respirométrica e massa corpórea de *Rhyzopertha dominica* (F.). **CONFERÊNCIA BRASILEIRA DE PÓS-COLHEITA**, 6., 2014, Maringá. Anais. Londrina: ABRAPÓS, 2014. 833 p.
- AZEREDO, H.M.C; PINTO, G.A.S.; BRITO, E.S; AZEREDO, R.M.C. Alterações microbiológicas em alimentos durante a estocagem. In: **Fundamentos de estabilidade de alimentos** / Henriette Monteiro Cordeiro de Azeredo, editora técnica. – 2 ed. rev. e ampl. – Brasília, DF : Embrapa, pp. 15-38. 2012a.
- AZEREDO, H.M.C; BRITO, E.S; GARRUTI, D.S; Alterações químicas em alimentos durante a estocagem. In: **Fundamentos de estabilidade de alimentos** / Henriette Monteiro Cordeiro de Azeredo, editora técnica. – 2 ed. rev. e ampl. – Brasília, DF : Embrapa, pp.39 - 2012b.
- AZIZ NH, EL-FOULY MZ, ABU-SHADY MR, MOUSSA LAA. Effect of gamma radiation on the survival of fungal and actinomycetal flora contaminating medicinal plants. *Appl Radiat Isot.* v. 48, n.1, p. 71-6, 1997.

- BARBER, S. Milled rice and changes during aging. In: HOUSTON, D. F. **Rice: chemistry and technology**. Saint Paul: AACC, p. 215 -263, 1972.
- 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).
- BEBER-RODRIGUES, M., SAVI, G.D., SCUSSEL, V.M. Ozone Effect on Fungi Proliferation and Genera Susceptibility of Treated Stored Dry Paddy Rice (*Oryza sativa* L.) **Journal of Food Safety** v.35, p.59–65, 2015.
- BLACK et al. **The Lancet Maternal and Child Undernutrition Series**, 2008.
- BOBBIO P. A.; BOBBIO F. O. **Química do Processamento de Alimentos – 2º edição – São Paulo: Varela, 1992.**
- BOÊNO, J. A.; DIEGO P. R. ASCHERI, D. P. R.; BASSINELLO, P. Z. Qualidade tecnológica de grãos de quatro genótipos de arroz-vermelho. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, PB, v. 15, n. 7, p. 718-723, 2011.*
- BRASIL - 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 ago. 2012.
- BRASIL - 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 ago. 2012.
- BRASIL. **Regras para análise de sementes**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. – Brasília : Mapa/ACS, 2009. 399p.
- BRASIL. **Regulamento Técnico do Arroz**. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (MAPA). Brasília, 2012.
- BRASIL. RESOLUÇÃO-RDC Nº 59 de 26 de dezembro de 2013. Prorrogação dos prazos estabelecidos nos artigos 11 e 12 e respectivos anexos III e IV da Resolução da Diretoria Colegiada RDC n.7, de 18 de fevereiro de 2011 que dispõe limites máximos tolerados (LMT) para micotoxinas em alimentos. Brasília, 2013
- BRITO JUNIOR, J.G.; FARONI, L.R.D.; HELENO, F.F.; BENEVENUTO, W.C.A.N.; JUNIOR, A.A.B.; RIBEIRO, D.F. Ozônio como Agente Fungicida no Controle de Fungos de Armazenamento em Grãos de Milho. **CONFERÊNCIA BRASILEIRA DE PÓS-COLHEITA**, 6., 2014, Maringá. Anais. Londrina: ABRAPÓS, 2014. 833 p.
- BROGAN, A.P.S.; SILIGARDI, G.; HUSSAIN, R.; PERRIMAN, A.W; MANN, S.. Hyper-thermal stability and unprecedented re-folding of solvent-free liquid myoglobin. **Chemical Science**, v.3, p. 1839-1846, 2012.
- CARVALHO, R.A., BATISTA, L.R., PRADO, G., OLIVEIRA, B.R., SILVA, D.M. INCIDÊNCIA DE FUNGOS TOXIGÊNICOS E AFLATOXINAS EM ARROZ. **Ciênc. agrotecnologia**., Lavras, v. 34, n. 4, p. 946-952, jul./ago., 2010
- 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).
- CECCHI H. M. **Fundamentos teóricos e Práticos em Análise de Alimentos – 2º edição – Unicamp, 2003.**
- CHAMPAGNE E.T.; WOOD, D.F; JULIANO, B.O; BECHTEL, D.B. The Rice Grain and Its Gross Composition. In: CHAMPAGNE E.T. **Rice: Chemistry and Technology**. 3rd. ed. Elaine T. Champagne. American Association of Cereal Chemistry, 2004.
- CHEN, R. MA. F, LI, PW. ZHANG, W. DING, XX. Effect of ozone on aflatoxins detoxification and nutritional quality of peanuts. *Food Chemistry*. V. 8, p.146:284, 2014.

- CHIATTONE, P.V., TORRES, L.M., ZAMBIAZI, R.C. APLICAÇÃO DO OZÔNIO NA INDÚSTRIA DE ALIMENTOS. **Alim. Nutr.**, Araraquara. v.19, n.3, p. 341-349, jul./set. 2008
- CHILDS, N.W.. Production and Utilization of Rice. In: CHAMPAGNE E.T. **Rice: Chemistry ant Technology**. 3nd. ed. Elaine T. Champagne. American Association of Cereal Chemistry, 2004.
- CHOI, S., JUN, H., BANG, J., CHUNG, SH., KIM, Y., KIM, B., KIM, H., BEUCHAT, L.R., RYU, JH. Behaviour of *Aspergillus flavus* and *Fusarium graminearum* on rice asaffected by degree of milling, temperature, and relative humidity during storage. **Food Microbiology** v.46, p. 307-313, 2015.
- CHRASTIL, J. Protein-Starch Interactions in Rice Grains. Influence of Storage onOryzenin and Starch. **Journal. Agric. Food Chem.** v. 38, p.1804-1809, 1990.
- CHRASTIL, J.; ZARINS,Z. Changes in Peptide Subunit Composition of Albumins, Globulins,Prolamins, and Oryzenin in Maturing Rice Grains. **J. Agric. Food Chem.** v.42, p.2152-2155, 1994.
- CICCARESE, F.; SASANELLI, N.; CICCARESE, A.; ZIADI, T.; AMBRICO, A.; MANCINI, L. Seed disinfestation by ozone treatments. In: **IOA Conference and Exhibition**, 2007, Valência, Espanha, Proceedings... Valência: International Ozone Association, 2007
- CLESCERL, L.S.; GREENBERG, A.E. EATON, A.D. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. Denver: American Water Works Association, 1220p, 2000.
- CONAB. Acompanhamento de safra brasileira: grãos, oitavo levantamento, maio 2012 / Companhia Nacional deAbastecimento. – Brasília : Conab, 2012.
- CONSELHO REGIONAL DOS TÉCNICOS EM RADIOLOGIA. **Informativo CRTR-6**, Porto Alegre, v. 1, n. 1, 1999.
- COSTA L.F; SILVA, E.B.; OLIVEIRA, I.S.. Irradiação gama em amendoim para controle de *Aspergillus flavus*. **SCIENTIA PLENA**. v. 9, n. 8, 2013.
- CUEVAS-PEREZ, F.; PESKE, S. T. Miling performance of rice varieties under different moisture absorption environments. **Tropical Science**, London, v. 30, p. 142-152, 1990
- DHALIWAL, J.S; SEKHON, K.S.; NAGI, H.P.S Enzymatic Activities and Rheological Properties of Stored Rice. **Cereal Chemistry**, v.68, p.18-21,1991;
- DORS, G.C.; BIERHALS, V.S.; BADIÁLE-FURLONG, E. Parboiled rice: chemical composition and the occurrence of mycotoxins. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 31, p. 172-177, 2011.
- EPAMIG. BRSMG Caçula: Cultivar Superprecoce de Arroz de Terras Altas (Folder), **Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais** – EPAMIG Sul de Minas Gerais, 2012.
- FELLOWS P. J. **Tecnologia do Processamento de Alimentos: Princípios e prática**. Tradução: Florencia Cladera Oliveira et al – 2º edição – Porto Alegre: Artmed, 2006.
- 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.
- FITZGERALD, M. Starch.. In: CHAMPAGNE E.T. **Rice: Chemistry ant Technology**. 3nd. ed. Elaine T. Champagne. American Association of Cereal Chemistry, 2004.
- FLORES-PAYÁN, V., HERRERA-LÓPEZ, E.J., NAVARRO-LABOULAIS, J., LÓPEZ-LÓPEZ.,A. Parametric sensitivity analysis and ozone mass transfer modeling in a gas–liquid reactor for advanced water treatment. **Journal of Industrial and Engineering Chemistry**. v.21, p. 1270–1276, 2015.
- FONSECA, J. R.; CASTRO, E. Maturação pós-colheita de cultivares de arroz de terras altas. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v.55, p.389-392, set/out, 2008.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Bases técnicas para la legislacion referente a los alimentos irradiados**. Ginebra, 1999. 62 p.

- GLOWACZ, M.; COLGAN, R.; REES, D. Influence of continuous exposure to gaseous ozone on the quality of red bell peppers, cucumbers and zucchini. **Postharvest Biology and Technology**. v. 99, p. 1–8 2015
- GOMES, A. S.; MAGALHÃES JUNIOR, A. M. **Arroz irrigado no sul do Brasil**. Brasília: Embrapa Informação tecnológica, 2004.
- GRUPO CONSULTIVO INTERNACIONAL SOBRE IRRADIAÇÃO DE ALIMENTOS. **A irradiação de alimentos: ficção ou realidade**. Roma: GCIIA; FAO; AIEA, 1991. 38 p;
- GUENHA, R.; SALVADOR, B.V.; RICKMAN, J.; GOULAO, L.F.; MUOCHA, I.M.; CARVALHO, M.O. Hermetic storage with plastic sealing to reduce insect infestation and secure paddy seed quality: A powerful strategy for rice farmers in Mozambique. **Journal of Stored Products Research**. v. 59, p. 275-281. 2014.
- GUIMARAES, I.C.O et al. The effect of CO60 on the physical and physicochemical properties of rice. **Ciênc. agrotec.** [online]. 2012, v.36, n.2, p. 210-216.
- GUIMARAES, Ívina Catarina de Oliveira et al. Qualidade tecnológica do arroz branco polido submetido à irradiação gama (Co60). **Rev. Ceres** [online], v.60, n.6, p. 752-756. 2013a
- Guimarães, Ívina Catarina de Oliveira et al. MICROSTRUCTURAL AND RHEOLOGICAL PROPERTIES OF IRRADIATED RICE. **Ciênc. agrotec.**, June, v.37, n.3, p.237-243. 2013b
- GUPTA, R. B.; KHAN, K. e MACRITCHIE, F. Biochemical basis of flour properties in bread wheats. I. Effect of variation in the quantity and size distribution of polymeric protein. **Journal of Cereal Science**. v. 18, p. 23-41, 1993.
- 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.
- ICGFI e 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.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Índice Agrônomo 1996-2003**. Rio de Janeiro, 2004.
- ISIKBER A.A.; ATHANASSIOU, C.G. The use of ozone gas for the control of insects and micro-organisms in stored products. **Journal of Stored Products Research**; p.1- 17. 2014.
- ISIKBER A.A.; OZTEKIN, S. Comparison of susceptibility of two stored-product insects, *Ephesia kuehniella* Zeller and *Tribolium confusum* du Val to gaseous ozone. **Journal of Stored Products Research** v. 45, n.3, p. 159–164, 2009.
- JULIANO, B. O. Polysaccharides, proteins, and lipids of rice. In: _____. **Rice: chemistry and technology**. 2nd. ed. Saint Paul: American Association of Cereal Chemists, 1985.
- KAMINSKI, T.A.; BRACKMANN, A.; SILVA, L.P; BENDER, A.B.B.; SPERONI, C.S. Composição química e alterações estruturais do arroz irrigado durante o armazenamento. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 34, n. 3, p. 1167-1184, maio/jun. 2013.
- KANAPITSAS, A.; BATRINO, A.; ARAVANTINOS, A.; MARKAKI, P. Effect of γ -radiation on the production of aflatoxin B₁ by *Aspergillus parasiticus* in raisins (*Vitis vinifera* L.). **Radiation Physics and Chemistry**, v. 106, p. 327-332, 2015.
- KELLS, S.A., MASON, L.J., MAIER, D.E., WOLOSHUK, C.P. Efficacy and fumigation characteristics of ozone in stored maize. **Journal of Stored Products Research** v.37, n. 4, p.371–382, 2001.
- KHADRE, M. A.; YOUSEF, A. E; KIM, J.-G. Microbiological aspects of ozone applications in food: a review. **J. Food Sci.**, v.66, n.9, p. 1241-1252, 2001.

- KIM, SH.; YU, BR.; CHUNG, M.. Changes in the contents and profiles of selected phenolics, soyasapogenols, tocopherols, and amino acids during soybean–rice mixture cooking: Electric rice cooker vs electric pressure rice cooker. **Food Chemistry** v.176, p. 45–53, 2015.
- KIM, J. G.; YOUSEF, A. E.; DAVE, S. Application of ozone for enhancing the microbiological safety and quality of foods: a review. *Journal of Food Protection*, v.62, p. 1071-1087, 1999.
- SHINJI KONO , IZUMI KAWAMURA , SHINICHI YAMAGAMI , TETSUYA ARAKI , YASUYUKISAGARA. Optimum storage temperature of frozen cooked rice predicted by ice crystal measurement, sensory evaluation and artificial neural network. KRAEMER K, ZIMMERMANN MB, editors. **Nutritional anemia. Basel: Sight and Life Press; 2007.**
- LAI, X.; LIU, R.; RUAN, C.; ZHANG, H.; LIU, C. Occurrence of aflatoxins and ochratoxin A in rice samples from six provinces in China. **Food Control** v. 50, p.401-404, 2015.
- 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.
- LIKITWATTANASADE, T.; HONGSPRABHAS, P.. Effect of storage proteins on pasting properties and microstructure of Thai rice. **Food Research International** v. 43, p.1402–1409, 2010.
- 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, M.C.B. et al. Efeito do armazenamento na qualidade industrial e cocção dos grãos de arroz das cultivares IRGA 417 e IRGA 422 CL. In: Congresso Brasileiro de Arroz Irrigado, 6., 2009, Porto Alegre. **Anais... Cachoeirinha: IRGA**, v.1, p 112-115, 2009.
- LUCAS, E. et al, **Caracterização de polímeros** - Determinação de Peso Molecular e Análise Térmica. Rio de Janeiro: Editora e-papers. 2001.
- LUO, J.; VOGEL, R.F.; NIESSEN, J. Rapid detection of aflatoxin producing fungi in food by real-time quantitative loop-mediated isothermal amplification. **Food Microbiology** v. 44, p 142-148, 2014.
- LUZ, C. A. S.; LUZ, M. L. G. A. S.; BIZZI, L. T.; FALK, C. L.; ISQUIERDO, E. P.; LOREGIAN, R. Relações granulométricas no processo de brunimento de arroz. **Engenharia Agrícola**, v.25, p.214-221, 2005
- MACHADO, Ana Paula Oliveira. **Propriedades viscoelásticas de massa de farinha de arroz e do concentrado proteico de orizenina** . Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, MG, 2012. 87 p.
- MANO, Y. et al. Comparative composition of brown rice lipids (lipid fractions) of indica and japonica rices. **Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry**, v.63, n.4, p.619-626,1999.
- MARSTON K, KHOURYIEH H, ARAMOUNI F. Evaluation of sorghum flour functionality and quality characteristics of gluten-free bread and cake as influenced by ozone treatment. **Food Sci Technol Int.**v. 21, n.8, p.:631-40, Dec, 2015..
- MARTINEZ, C.; CUEVAS-PEREZ, F. **Evaluación de la calidad culinária y molinera del arroz**. 3rd. ed. Cali: CIAT, 1989. 75 p
- MASON JB, LOTFI M, DALMIYA N, et al. The Micronutrient Report: Current Progress in the Control of Vitamin A, Iodine, and Iron Deficiencies. **Micronutrient Initiative/International Development Research Center**, Ottawa, Canada, 2001.
- 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](http://www.nutriweb.org.br/n0202/irradiados.htm)>. Acesso em: 23 mar. 2013.
- MENDEZ, F. et al. Penetration of ozone into columns of stored grains and effects on chemical composition and processing performance. **Journal of Stored Products Research** v.39, n.1, p. 33–44, 2003.
- MENNAD, B.; HARRACHE, Z.; YANALLAH, K.; AMIR AID, D.; BELASRI, A. Effect of the anode material on ozone generation in corona discharges. **Vacuum** v.104, p.29-32, 2014.

MINGOTTE, F.L.C.; HANASHIRO, R.K.; FILHO, D.F. Características físico-químicas do grão de cultivares de arroz em função da adubação nitrogenada. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 33, suplemento 1, p. 2605-2618, 2012

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

MONGE-ROJAS, R.; MATTEI, J.; FUSTER, T.; WILLETT, W.; CAMPOS, H. Influence of sensory and cultural perceptions of white rice, brown rice and beans by Costa Rican adults in their dietary choices. **Appetite**: v. 81, p. 200–208, 2014.

MUSTAPHA B.M, BOUSSELMI M, JERBI T, BETTA Ĩ EB NB, FATTOUCH S. Gamma radiation effects on microbiological physico-chemical and antioxidant properties on unisian millet (*Pennisetum Glaucum L.R.Br.*). **Food Chem.** v. 154, p.230-237, 2014.

NAITO, S.; MATSUMOTO, E.; SHINDOH, K.; NISHIMURA, T. Effects of polishing, cooking, and storing on total arsenic and arsenic species concentrations in rice cultivated in Japan. **Food Chemistry** v. 168, p. 294–301, 2015.

NAVES, M. M. V. Características químicas e nutricionais do arroz. **Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos**, Curitiba, v. 25, n. 1, p. 51-60, jan./jul. 2007.

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

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.

OLIVEIRA, L.C.; ABRAHÃO, S.A.; LEME, S.C.; SILVA, N.A.S.; TAVARES, S.A; PEREIRA, J. Teste de Cocção das Cultivares de Arroz Relâmpago, Caravera, Conai, Pepita e Japonês. **XVII CONGRESSO DE PÓS-GRADUAÇÃO DA UFLA, I ENCONTRO DE ENGENHARIA DE SISTEMAS**, 2008.

ORTOLAN, F.; HECKTHEUER, L.H., MIRANDA, M.Z. Efeito do armazenamento à baixa temperatura (-4 °C) na cor e no teor de acidez da farinha de trigo. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 30, n. 1, p. 55-59, 2010.

OZDEMIR, M.; OZILGEN, M. **Mycotoxins in grains and nuts**: II) Decontamination and Detoxification methods. Disponível em: <<http://www.okyanusbilgiambari.com/Bilim/Mycotoxin-Detoxification.pdf>>. Acesso em: 25 ago 2012.

OSZVALD, M., TÖMÖSKÖZI, S., LARROQUE, O., KERESZTÉNYI, E., TAMÁS, L., BÉKÉS, F. Characterization of rice storage proteins by SE-HPLC and micro z-arm mixer. **Journal of Cereal Science**, v. 48, p. 68–76, 2008.

PAES, J.L. **Ozonização da farinha de trigo: cinética de reação e efeito nas características tecnológicas**. 2011. Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa. - Viçosa, MG, 2011.

PAES, J.L, et al. Calidad tecnológica de la harina de trigo obtenida a partir de cereales ozonizados, **Revista CENIC**. Ciências Biológicas, v. 41, p. 1-11, 2010.

PARAGINSKI, R.T.; ZIEGLER, V.; TALHAMENTO, A.; ELIAS, M.C.; OLIVEIRA, M. Propriedades tecnológicas e de cocção em grãos de arroz condicionados em diferentes temperaturas antes da parboilização. **Braz. J. Food Technol** Campinas, v. 17, n. 2, p. 146-153, abr./jun. 2014

PARK, C.-E., PARK, C.-E., KIM, Y.-S., PARK, K.-J., KIM, B.-K. Changes in physicochemical characteristics of rice during storage at different temperatures. **Journal of Stored Products Research**, v. 48, p. 25–29, jan. 2012.

PASCUAL, A.; LLORCA, L.; CANUT, A. Use of ozone in food industries for reducing the environmental impact of cleaning and disinfection activities. **Trends in Food Science & Technology**, v.18, p.S29-S35, 2007.

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.

- PIROZI, M.R. **Isogenic Wheat Lines in Determining Composition-Functionality Relationships**. 2003. 120 p. Dissertation (Ph.D. in Grain Science and Industry) – Kansas State University, Manhattan, KS, 2003.
- PIROZI, M.R.; MARGIOTTA, B.; LAFIANDRA, D.; MACRITCHIE, F. Composition of polymeric proteins and bread-making quality of wheat line with allelic HMW-GS differing in number of cysteines. **Journal of Cereal Science**, v.48, n.1, p. 117-122, 2008.
- PITT, J.I.; HOCKING, A.D. **Fungi and food spoilage**. New York: Springer, 2009. 519p.
- PITT, J.I.; HOCKING, A.D.; GLENN, D.R. An improvement medium for the detection of *Aspergillus flavus* and *A. parasiticus*. **Journal of Applied Bacteriology**, v.54, p.109-114, 1983.
- POLESI L.C. et al. Irradiação de Arroz e Alterações nas suas Propriedades Físico-Químicas e Sensoriais. **B.CEPPA**, Curitiba, v. 30, n. 2, p. 255-262, jul./dez. 2012.
- PRUDENTE Jr., A.D., King, J.M., Efficacy and safety evaluation of ozonation to degrade aflatoxin in corn. **Journal of Food Science** v.67, n.8, p. 2866–2872, 2002.
- PRUDENTE, A.D. **Evaluation of aflatoxin-related products from ozonated corn**. 99p. Thesis (Doctor of Philosophy) - Louisiana State University - Baton Rouge, Louisiana. 2008
- RITCHIE, J.C. AFLATOXIN. IN: WARING, R.H.; STEVENTON, G.B.; MITCHELL, S.C. *Molecules of Death*. London: **Imperial College Press**, p. 1-18, 2002.
- ROZADO A. F.; FARONI, L. R. A. ; URRUCHI, W. M. I.; GUEDES, R. N. C.; PAES, J.L. Aplicação de ozônio contra *Sitophilus zeamais* e *Tribolium castaneum* em milho armazenado. **Rev. bras. eng. agríc. ambient.** 2008, v.12, n.3, pp. 282-285.
- ROZADO, A.F., FARONI, L.R.A., URRUCHI, W.M.I., GUEDES, R.N.C., PAES, J.L.. Ozone application against *Sitophilus zeamais* and *Tribolium castaneum* on stored maize. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** v.12, n.3, p.282–285, 2008.
- SADRNOURMOHAMMADI, M.; GORCZKA, B. Effects of ozone as a stand-alone and coagulation-aid treatment on the reduction of trihalomethanes precursors from high DOC and hardness water. *Water Research* v.73, p.171-180, 2015.
- SAEG. **Sistema para análises estatísticas**, versão 9.1. Viçosa, MG: Fundação Arthur Bernardes, 2007.
- SANDHU, H.P.S.; MANTHEY, F.A.; SIMSEK, S.; OHM, J.B. Comparison between potassium bromate and ozone as flour oxidants in breadmaking. **Cereal Chemistry**, v. 88, n. 1, p. 103-108, 2011.
- SANG, T.; GE, S. Understanding rice domestication and implications for cultivar Improvement. **Current Opinion in Plant Biology** v.16, p.139–146, 2013.
- SANTOS, J. E. **Difusão e cinética de decomposição do ozônio no processo de fumigação de grãos de milho (*Zea mays*)**, 2008. P. 49. Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa. Viçosa – MG. 2008.
- SANTOS, R.F. et al. Efeitos do índice de polimento na qualidade nutricional e de cocção de grãos de arroz beneficiado polido. XXII Congresso de Iniciação Científica da Universidade Federal de Pelotas. 2014. **Anais....Pelotas – RS**.
- SANTOS, J.E.; MARTINS, M.A.; FARONI, L.R.A.; ANDRADE, M.P.; CARVALHO, M.C.S. Ozonation process: saturation time, decomposition kinetics and quality of maize grains (*Zea mays* L.). In: **IOA Conference and Exhibition**, 2007, Valência, Espanha, Proceedings... Valência: International Ozone Association, 2007.
- SAVI, G.D.; PIACENTINI, K.C.; KREIBICH, H.H.; STEIN, S.M.; MARTINS, K.S.C.; PEREIRA, M.E.V.; SCUSSEL, V.M. Contaminação por Micotoxinas em Grãos de Arroz (*Oryza sativa* L.) e seus Produtos - farinha, farelo e quireira. **CONFERÊNCIA BRASILEIRA DE PÓS-COLHEITA**, 6., 2014, Maringá. Anais. Londrina: ABRAPÓS, 2014. 833 p.

SEGAT, A.; MISRA, N.N.; FABBRO, A.; BUCHINI, F.; LIPPE, G.; CULLEN, P.J.; INNOCENTE, N. Effects of ozone processing on chemical, structural and functional properties of whey protein isolate. **Food Research International**. v. 66, p.365–372, December 2014..

SHAPIRA, R.; PASTER, N. Control of mycotoxins in storage and techniques for their decontamination. In: MAGAN, N.; OLSEN, M. (Eds.) *Mycotoxins in food*. New York: CRC Press, pp.190-223, 2004.

SHIBUYA, N.; IWASAKI, T.; YANASE, H.; CHIKUBU, S. Changes in brown rice and milled rice during storage. *J. Japan. Soc. Food Sci. Technol.* v.19, p. 280-282, 1974.

SOWBHAGYA, C. M.; BHATTACHARYA, K. R. Changes in pasting behaviour of rice during ageing. **Journal of Cereal Science**, Oxford, v. 34, n. 2, p. 115-124, sept. 2001.

SILVA, W.S.V.; PARAGINSKI, R.T.; VIVIAN, P.G.; ALVES, G.H.; ELIAS, M.C.; OLIVEIRA, M. Efeitos do Uso de Exaustão Eólica nas Propriedades Tecnológicas e de Pasta de Arroz e Demanda Energética da Aeração dos Grãos Armazenados em Silos Metálicos.

CONFERÊNCIA BRASILEIRA DE PÓS-COLHEITA, 6., 2014, Maringá. Anais. Londrina: ABRAPÓS, 2014. 833 p.

SILVA, J.O; CANDIDO, L.M.B; NOVELLO, D. Ocorrência de aflatoxinas em arroz consumido por militares do Exército Brasileiro por cromatografia em camada delgada e cromatografia líquida de alta eficiência. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 4, p. 1238-1244, jul./ago., 2008.

SILVA, N.A.S. **Caracterização e irradiação gama (⁶⁰Co) de arroz de diferentes cultivares no controle de insetos-pragas de grãos armazenados e de fungos**. Dissertação, Lavras : UFLA, 164p. 2010.

SILVA, T.A. **Processo de ozonização do grão de trigo: cinética de reação e efeito na qualidade destes e da farinha**. Dissertação, Viçosa: UFV, 2011.

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.

SIRISOONTARALAK, P.; NOOMHORM, A. Changes in physicochemical and sensory-properties of irradiated rice during storage. **Journal of Stored Products Research**, v.43, n.3, p.282-289, 2007.

SONGTIP, P.; JANGCHUD,K.; JANGCHUD, A.; TUNGTRAKUL, P. Physicochemical property changes in germinated brown rice flour from different storage periods of paddy rice. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 47, p. 682–688, 2012.

SOUSA, A.H., FARONI, L.R.D.A., GUEDES, R.N.C., TÓTOLA, M.R., URRUCHI, W.I.,Ozone as a management alternative against phosphine-resistant insect pests of stored products. **Journal of Stored Products Research** v.44 , n.4, p. 379–385, 2008.

SOUSA, A.H., FARONI, L.R.D.A., SILVA, G.N.; GUEDES, R.N.C.. Ozone Toxicity and Walking Response of Populations of *Sitophiluszeamais* (Coleoptera: Curculionidae). **Journal of Economic Entomology**, v.105, n.6, p.2187-2195, 2012.

SOUZA, A. S. ; NETTO, F. M. . Influência da Irradiação e do Armazenamento nas Características Estruturais da Proteína de Soja. **Brazilian journal of food technology** (Impresso), v. JPCA, p. 36-46, 2006.

TALHAMENTO, A.; PETER, M.; DOMINGUES, H.; ROCKENBACH, B.A.; PARAGINSKI, R.T.; ELIAS, M.C. Efeitos da Temperatura e da Presença de Luz nas Propriedades de Cocção Durante o Armazenamento de Grãos de Arroz com Pericarpo Preto. **CONFERÊNCIA BRASILEIRA DE PÓS-COLHEITA**, 6., 2014, Maringá. Anais. Londrina: ABRAPÓS, 2014. 833 p.

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

- TEBA, C.S.; ASCHERI, J.L.R.; CARVALHO, C.W.P. Efeito dos parâmetros de extrusão sobre as propriedades de pasta de massas alimentícias pré-cozidas de arroz e feijão. **Alimentos e Nutrição**, v. 20, n. 3. 2009.
- TIWARI, B.K.; BRENNAN, C.S.; CURRAN, T.; GALLAGHER, E.; CULLEN, P.J.; O' DONNELL, C.P. Application of ozone in grain processing. **Journal of Cereal Science**. v. 51, p. 248–255, 2010.
- TSUZUKI, E.; TANAKA, K.; SHIDA, S. Studies on the characteristics of scented rice. VIII. Effect of storage conditions on some fatty acid composition and flavor components in rice grains. **Kenkyu Hokoku Miyazaki Daigaku Nogakubu**, p. 28-31, 1981.
- UNITED STATE DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **Code of federal regulations: title 9, poultry products; temperatures and chilling and freezing procedures**. Washington, DC: Office of the Federal Register National Archives and Records Administration, 1997. Part 381.66.
- URBAIN, W. M. **Food irradiation**. London: Academic, 1986.
- VIEIRA, R.D.; CARVALHO, N.M. **Testes de vigor em sementes**. Jaboticabal: FUNEP, 1994. 164p.
- 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.
- WALTER, M.; MARCHEZANI, E.; AVILA, L.M.. Arroz: composição e características nutricionais. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.38, n.4, p.1184-1192, jul, 2008.
- WANG, L. *et al.* Mapping 49 quantitative trait loci at high resolution through sequencing-based genotyping of rice recombinant inbred lines. **Theor. Appl. Genet.** V.122, P. 327–340, 2011.
- WANG, S.; LIU, H.; LIN, J; CAO, Y. Can ozone fumigation effectively reduce aflatoxin B1 and other mycotoxins contamination on stored grain? In: **Proceedings of the 10th International Working Conference on Stored-Product Protection**. Estoril, Portugal, p. 582-588. 2010.
- WANG, Y., KING, J.M., XU, Z., LOSSO, J., PRUDENTE, A., Lutein from ozone-treated corn Retains Antimutagenic properties. **Journal of Agricultural and Food Chemistry** v.56, n.17, p.7942–7949, 2008.
- WANYO, P.; MEESO, N.; SIRIAMORNPNUN, S. Effects of different treatments on the antioxidant properties and phenolic compounds of rice bran and rice husk. **Food Chemistry** . v.157, p. 457–463, 2014..
- WEI, C.I.; COOK, D.L.; KIRK, J.R. Use of chlorine compounds in the food industry. **Food Technol.**, v. 39, p. 107-115, 1985.
- WEI WUA,B, LIXIAO NIEA, YUNCHENG LIAOB, FAROOQ SHAHA,C, KEHUI CUIA, QIANG WANGA, YUN LIANA, JIANLIANG HUANGA. Toward yield improvement of early-season rice: Other options under double rice-cropping system in central China. **European Journal of Agronomy**. v. 45, p. 75– 86, 2013.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Diet, nutrition and the prevention of chronic diseases**. Geneva, 2003. 149 p. (WHO Technical Report Series, 916).
- 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, v. 1, p. 488-491, 1998.
- 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.
- YUAN, J.; STEINER, E.; NOVAK, J. Ozone processing: historical perspectives, system integration, and potential food applications. In: CONGRESS OF INTERNATIONAL OZONE ASSOCIATION, 14, 1999, Detroit. Proceeding...Detroit, IOA, p.337-341, 1999.

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. Efeito da irradiação gama nas características físico-químicas e sensoriais do arroz (*Oryza sativa* L.) e no desenvolvimento de *Sitophilus oryzae* L. In: **Ciênc. Tecnol. Aliment.**, Campinas, v.29, n.1, p. 46-55, jan.-mar. 2009 .

ZHANG, P.; HE, Z.; ZHANG, Y; XIA, X.; CHEN, D. E ZHANG, Y. Association Between % SDS- Unextractable Polymeric Protein (%UPP) and End-Use Quality in Chinese Bread Wheat Cultivars. **Cereal Chemistry**, v. 85, n. 5, p. 696-700, 2008.

ZHOU, Z.; ROBARDS, K.; HELLIWELL, S.; BLANCHARD, C. Composition and functional properties of rice. **International Journal of Food Science and Technology**, Oxford, v. 37, p. 849-868. Jan. 2002 a.

_____. Ageing of stored rice: changes in chemical and physical attributes. **Journal of Cereal Science**, Oxford, v. 35, n. 1, p. 65-78, jan. 2002b.

_____. Effect of rice storage on pasting properties of rice flour. **Food Research International**, Oxford, v. 36, n. 6, p. 625-634, jan. 2003.

_____. Effect of storage temperature on cooking behaviour of rice. **Food Chemistry**, Oxford, v. 105, n. 2, p. 491-497, jan. 2007.

_____. Effect of storage temperature on rice thermal properties. **Food Research International**, Oxford, v. 43 p. 709-715, jan. 2010.