UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

CENTRO DE ENERGIA NUCLEAR NA AGRICULTURA

EVELISE MONCAIO MODA

Aumento da vida útil de cogumelos *Pleurotus sajor-caju in natura* com aplicação de radiação gama

Piracicaba

2008

EVELISE MONCAIO MODA

Aumento da vida útil de cogumelos *Pleurotus sajor-caju in natura* com aplicação de radiação gama

Tese apresentada ao Centro de Energia Nuclear na Agricultura da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Doutor em Ciências.
Área de concentração: Energia Nuclear na Agricultura
Orientadora: Profª Drª Marta Helena Fillet Spoto

Piracicaba

2008

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Seção Técnica de Biblioteca - CENA/USP

Moda, Evelise Moncaio
Aumento da vida útil de cogumelos *Pleurotus sajor-caju in natura* com aplicação de radiação gama / Evelise Moncaio Moda; orientadora Marta Helena Fillet Spoto. - - Piracicaba, 2008.
105 f. : fig.

Tese (Doutorado – Programa de Pós-Graduação em Ciências. Área de Concentração: Energia Nuclear na Agricultura – Centro de Energia Nuclear na Agricultura da Universidade de São Paulo.

1. Cogumelos comestíveis 2. Conservação de alimentos 3. Irradiação de alimentos 4. Radiação ionizante I. Título

CDU 635.82:664.8.039.5

DEDICO

Aos meus amados pais, Edson e Ivanira (*in memorian*),
À minha querida irmâ, Lucíola e aos meus irmãos, Ariel e Hector,
Pelo amor, carinho e por estarem
para sempre ao meu lado.

Ao meu marido, Ari, à minha sogra Elvira
e à minha amada filha, Caroline
Pela dedicação, carinho e infinita paciência
em todos os momentos.

O meu amor e gratidão!

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão de bolsa de estudos;

Ao Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Laboratório de Irradiação de Alimentos e Radioentomologia, pela oportunidade de realização do Doutorado;

À Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Departamento de Agroindústria, Alimentos e Nutrição, pela oportunidade de realização de parte do experimento;

À Profª Dra. Marta Helena Fillet Spoto, pela orientação, confiança, valiosas sugestões e incentivo durante a realização desta pesquisa;

Ao meu querido amigo, Prof. Dr. Sílvio Sandoval Zocchi, pela orientação e avaliação estatística dos dados e principalmente pela amizade sincera de muitos anos;

Ao Prof. Dr. Jorge Horii e Prof. Dr. Valter Arthur, pela amizade ao longo do curso e sugestões no Exame de Qualificação;

Ao Prof. Dr. Cláudio Rosa Gallo, pelas valiosas sugestões e amizade;

Ao Prof. Dr. Ernani Porto, pela orientação, amizade e auxílio na elaboração das análises microbiológicas;

À técnica do Departamento de Alimentos e Nutrição, Denise de Almeida L. Baptista, pela amizade e grande auxílio na realização das análises microbiológicas;

Ao Prof. Dr. Ângelo Pedro Jacomino, pelo auxílio na elaboração das análises fisiológicas;

Ao técnico de nível superior do Departamento de Produção Vegetal, Marcos José Trevisan e à estagiária Gabriela C. Pezolato, pelo apoio e auxílio na realização das análises cromatográficas;

À estagiária do Departamento de Alimentos e Nutrição, Gabriela Fernandes Begiato, pela amizade sincera, dedicação intensa e auxílio em todas as análises realizadas durante o trabalho;

À técnica Silvana Albertini, do Departamento de Alimentos e Nutrição, pelas valiosas sugestões técnicas e amizade;

À pesquisadora Elizabeth S.R. Somessari, do Centro de Tecnologia das Radiações (CTR) do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN), pelo auxílio e irradiação das amostras;

Ao técnico Paulo Cassieri Neto e Benedita Inês F. Possignolo Rodrigues, do laboratório de Melhoramento de Plantas (CENA), pelo auxílio e irradiação das amostras;

À Claudia Márcia de F. Corrêa e à Neuda Fernandes de Oliveira, da Seção de Pós-Graduação (CENA), pela amizade e auxílio acadêmico ao longo do curso;

À bibliotecária Marília Ribeiro Garcia Henyei pelo auxílio bibliográfico prestado;

A todos os participantes da análise sensorial;

Aos amigos Márcio Ramatiz dos Santos, Adriana Regina Cornélio e André Belluco, pela amizade sincera e apoio durante todo o curso;

À vó Iolanda, à Cristiane, Marli e Eduardo, pelas saudosas tardes de café e estudo (nessa ordem) e pelo acolhimento e amizades irrestritos;

E finalmente, à minha grande amiga, companheira nas boas e más horas, Lucimeire Pilon, que me ensinou muitas coisas, dentre elas, a acreditar mais em mim mesmo... muito obrigado!

“Neste tempo de grandes mudanças,

aqueles que aprendem herdarão o futuro.

Os que acreditam que já sabem,

vivem em um mundo que já não existe.”

(ERIC HOFFER)

RESUMO

MODA, E. M. **Aumento da vida útil de cogumelos *Pleurotus sajor-caju in natura* com aplicação de radiação gama.** 2008. 105 f. Tese (Doutorado) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.

A produção e o consumo de cogumelos comestíveis têm gradualmente aumentado nos últimos anos, em função de sua composição nutricional aliada à qualidade sensorial dos frutos. A radiação ionizante vem sendo estudada em cogumelos frescos, visando manter as características do produto e aumentar sua vida útil. A presente pesquisa teve como objetivo avaliar o efeito de diferentes doses de radiação gama aplicada em cogumelos *Pleurotus sajor-caju in natura*, por meio de parâmetros físicos, químicos, microbiológicos e sensoriais. O acondicionamento foi realizado em bandejas de poliestireno com 250 g de amostra, envoltos em filme de cloreto de polivinila (PVC). Os cogumelos foram irradiados com doses de 125, 250, 500, 750 Gy e armazenados a 4±1ºC e 90% UR durante 10 dias. Foi determinada a composição centesimal (umidade, fibra bruta, proteína bruta, extrato etéreo e cinzas), sólidos solúveis (SS), pH, textura, cor (L, a*, b*, Croma e h^o), atividade enzimática (peroxidase e polifenoloxidase), análise microbiológica (coliformes totais, *Escherichia coli* e psicrotróficos) e sensorial (cor, aroma e aparência geral) no 1°, 5° e 10° dias de armazenamento. Para a determinação da atividade respiratória, 30 g de amostra foram acondicionadas em frascos de vidro e armazenadas a 4±1ºC e 90% UR durante 8 dias, com leituras realizadas em cromatógrafo gasoso a cada 24 horas durante o período de armazenamento. Os resultados foram submetidos à análise de variância e teste de média, utilizando-se o pacote estatístico SAS. Os valores de proteína e extrato etéreo não diferiram significativamente entre os tratamentos ou períodos de armazenamento, enquanto que a umidade, fibra e cinzas dos cogumelos apresentaram variações estatísticas em função da dose aplicada ou do período de avaliação. As amostras irradiadas com 750 Gy apresentaram escurecimento significativo em relação aos demais tratamentos, e a textura foi mantida no controle durante o experimento. Ocorreu um aumento significativo nos valores de SS, b* e atividade enzimática em todos os tratamentos no final do período de armazenamento. A dose de 250 Gy promoveu o aumento da atividade da polifenoloxidase e peroxidase no último dia de avaliação.

Este fato pode ter ocorrido em função do processo de radiólise da água, uma vez que os cogumelos apresentam elevada umidade. A taxa de respiração das amostras irradiadas com 125 Gy foi superior até o 5º dia de armazenamento em comparação aos demais tratamentos, causando redução na vida útil do produto. As amostras irradiadas com 250, 500 e 750 Gy tiveram sua atividade respiratória reduzida em relação ao controle, contribuindo para a manutenção da qualidade pós-colheita durante o armazenamento. As amostras que receberam a dose de 750 Gy obtiveram os melhores resultados nas análises microbiológicas, com a redução de coliformes totais e psicrotróficos durante o período de armazenamento. O controle apresentou os melhores resultados para os atributos aroma, cor e aparência geral, obtendo notas acima do limite de aceitabilidade até o último dia de armazenamento. De maneira geral, as amostras irradiadas foram aceitas para os atributos avaliados até o 5º dia de armazenamento, podendo-se estabelecer, desta forma, a vida útil dos cogumelos irradiados.

Palavras-chave: *Pleurotus sajor-caju*, cogumelos, conservação, irradiação.

ABSTRACT

MODA, E. M. **Shelf-life increase of fresh mushrooms *Pleurotus sajor-caju* using gamma radiation.** 2008. 105 p. Thesis (Doctoral) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.

The production and consumption of edible mushrooms has been increasing in the last years due to its nutritional composition and sensory quality. The irradiation of mushrooms has been used with the purpose of maintaining the fresh product characteristics during shelf-life. The present study evaluated the effect of different radiation doses on the conservation of mushrooms *Pleurotus sajor-caju*, through by chemical, physical, microbiological and sensorial parameters. The packaging consisted on polystyrene trays with 250 g of sample, wrapped in polyvinyl chloride (PVC). The mushrooms were irradiated with doses of 125, 250, 500 and 750 Gy in a Gammacell 220 type irradiator, and stored at 4±1ºC and 90% UR for 10 days. The proximate composition (moisture, crude fibre, total protein, total fat and ash), total soluble solids, pH, texture, color (L, a*, b*, Chroma and h^o), enzymatic activity (polyphenoloxidase and peroxidase), microbiological (total coliform, *Escherichia coli* and total psychotropic bacteria) and sensory evaluation (color, taste and appearance) were determined in the 1st, 5th and 10th storage days. For the respiratory rate analysis, 30 g of sample were placed in jars and stored at 4±1ºC and 90% UR for 8 days. CO_2 was analyzed every day using a gaseous chromatographer. The results were submitted to variance analysis and average test using the SAS statistical package. The total protein and total fat values did not differ significantly between treatments or storage periods, while the moisture, crude fibre and ash values differ between treatments and periods. The dose of 750 Gy darkness the mushroom in the last evaluation, and texture was better in control during the storage period. The color (L, a*), texture and proximate composition values did not differ significantly between treatments or storage periods. A significant increase was observed for soluble solids, b* and enzymatic activity values in all treatments at the end of the storage period. Values of polyphenoloxidase and peroxidase activities increased in the last day of evaluation in samples irradiated with 250 Gy. This fact may be a result of the water radiolysis process, since mushrooms have high water

content. The dose of 125 Gy increased the respiratory rate of the samples until the 5th storage day in comparison to the other treatments, causing reduction in the product shelf-life. The samples irradiated with 250, 500 and 750 Gy had a reduction on the respiratory rate if compared with the control, so contributing to the maintenance of the postharvest quality during the storage. The samples which received 750 Gy obtained the best results in the microbiological analyses, with reduction of total coliform and psychotropic bacteria during the storage period. Sensory analyses showed that the control had higher scores for color, aroma and appearance attributes; they were above the acceptability limit until the last storage day. In general, the irradiated samples were accepted for the evaluated attributes until the 5th storage day; thus, establishing the shelf-life for irradiated mushrooms.

Keywords: *Pleurotus sajor-caju*, mushrooms, conservation, irradiation.

LISTA DE FIGURAS

1 *Pleurotus sajor-caju* em substrato de bagaço de cana-de-açúcar pasteurizado . 24

2 Estrutura de frutificação e visualização das lamelas de *Pleurotus sajor-caju* 24

3 Fluxograma de produção de cogumelos comestíveis 25

4 Símbolo da Radura 30

5 Atividade respiratória (mL kg^{-1} h^{-1}) de cogumelos *Pleurotus sajor-caju* irradiados com diferentes doses, armazenados a 4±1ºC durante 8 dias 78

6 Microrganismos psicrotróficos (log NMP g^{-1}) em cogumelos *Pleurotus sajor-caju* irradiados com diferentes doses, armazenados a 4±1ºC durante 10 dias .. 80

7 Coliformes totais (log NMP g^{-1}) em cogumelos *Pleurotus sajor-caju* irradiados com diferentes doses, armazenados a 4±1ºC durante 10 dias 82

8 Aparência geral de cogumelos *Pleurotus sajor-caju* irradiados com diferentes doses no décimo dia (10) de armazenamento a 4±1°C 86

LISTA DE TABELAS

1 Significância das análises físico-químicas e sensoriais em cogumelos *Pleurotus sajor-caju* irradiados com diferentes doses, em relação aos tratamentos, períodos de avaliação e interação tratamentos x períodos 62

2 Umidade (%) de cogumelos *Pleurotus sajor-caju* irradiados com diferentes doses, armazenados a 4±1ºC durante 10 dias 64

3 Proteína bruta (%MS) de cogumelos *Pleurotus sajor-caju* irradiados com diferentes doses, armazenados a 4±1ºC durante 10 dias 65

4 Extrato etéreo (%MS) de cogumelos *Pleurotus sajor-caju* irradiados com diferentes doses, armazenados a 4±1ºC durante 10 dias 66

5 Fibra bruta (%MS) de cogumelos *Pleurotus sajor-caju* irradiados com diferentes doses, armazenados a 4±1ºC durante 10 dias 67

6 Cinzas %MS) de cogumelos *Pleurotus sajor-caju* irradiados com diferentes doses, armazenados a 4±1ºC durante 10 dias 68

7 Potencial hidrogeniônico (pH) e sólidos solúveis (°Brix) de cogumelos *Pleurotus sajor-caju* irradiados com diferentes doses, armazenados a 4±1ºC durante 10 dias 70

8 Textura (lbf g^{-1}) de cogumelos *Pleurotus sajor-caju* irradiados com diferentes doses, armazenados a 4±1ºC durante 10 dias 71

9 Cor (L, a*, b*) de cogumelos *Pleurotus sajor-caju* irradiados com diferentes doses, armazenados a 4±1ºC durante 10 dias 73

10 Croma (C) e ângulo de cor (h^0) de cogumelos *Pleurotus sajor-caju* irradiados com diferentes doses, armazenados a 4±1ºC durante 10 dias 74

11 Polifenoloxidase e peroxidase (U g^{-1} min^{-1}) de cogumelos *Pleurotus sajor-caju* irradiados com diferentes doses, armazenados a 4±1ºC durante 10 dias 77

12 Microrganismos psicrotróficos em cogumelos *Pleurotus sajor-caju* irradiados com diferentes doses, armazenados a 4±1ºC durante 10 dias 80

13 Coliformes totais em cogumelos *Pleurotus sajor-caju* irradiados com diferentes doses, armazenados a 4±1ºC durante 10 dias 82

14 Aroma, cor e aparência geral em cogumelos *Pleurotus sajor-caju* irradiados com diferentes doses, armazenados a 4±1ºC durante 10 dias 85

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO **16**

2 OBJETIVO **19**

3 REVISÃO DE LITERATURA **20**

3.1 Cogumelos comestíveis e o gênero *Pleurotus* 20

3.2 Irradiação de alimentos 27

3.3 Composição química de *Pleurotus* sp. 35

3.3.1 Proteína bruta 35

3.3.2 Extrato etéreo 36

3.3.3 Fibra bruta 37

3.3.4 Cinzas 38

3.4 Coloração e textura de cogumelos comestíveis 38

3.5 Atividade enzimática 40

3.6 Atividade respiratória 43

3.7 Microrganismos psicrotróficos, coliformes totais e *Escherichia coli* 45

3.8 Avaliação sensorial 49

3.9 Legislação para alimentos irradiados 51

4 MATERIAL E MÉTODOS **54**

4.1 Material 54

4.2 Análises físico-químicas 55

4.2.1 Composição centesimal 55

4.2.1.1 Umidade 55

4.2.1.2 Proteína bruta 55

4.2.1.3 Extrato etéreo 55

4.2.1.4 Fibra bruta 56

4.2.1.5 Cinzas 56

4.2.2 Potencial hidrogeniônico 56

4.2.3 Sólidos solúveis 56

4.2.4 Textura 57

4.2.5 Cor 57

4.2.6 Atividade enzimática 58

4.2.7 Atividade respiratória 58

4.3 Análises microbiológicas 59

4.3.1 Preparo das amostras e diluições 59

4.3.2 Contagem de microrganismos psicrotróficos 59

4.3.3 Contagem de microrganismos do grupo coliformes totais e *E. coli* 60

4.4 Análise sensorial 60

4.5 Delineamento experimental 61

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO 62

5.1 Análises físico-químicas 62

5.1.1 Composição centesimal 62

5.1.1.1 Umidade 62

5.1.1.2 Proteína bruta 64

5.1.1.3 Extrato etéreo 65

5.1.1.4 Fibra bruta 66

5.1.1.5 Cinzas 67

5.1.2 Potencial hidrogeniônico e sólidos solúveis 69

5.1.3 Textura 70

5.1.4 Cor 71

5.1.5 Atividade enzimática 75

5.1.6 Atividade respiratória 77

5.2 Análises microbiológicas 79

5.3 Análise sensorial 83

6 CONCLUSÕES **87**

REFERÊNCIAS **88**

ANEXOS **101**

1 INTRODUÇÃO

O consumo e a comercialização de cogumelos fazem parte da história de diversas civilizações em todo o mundo, sendo utilizados desde a antigüidade como alimento de alto valor nutritivo e organoléptico e também para fins terapêuticos no Oriente e Europa. A literatura especializada cita aproximadamente 2 mil espécies potencialmente comestíveis, porém somente cerca de 25 são normalmente utilizadas na alimentação humana e um número ainda menor tem sido comercialmente cultivado em escala comercial, destacando-se: *Agaricus bisporus* (champignon-de-Paris), *Lentinula edodes* (shiitake) e *Pleurotus* sp. (hiratake e shimeji), segundo Bononi (1985) e Pascholati et al. (1998).

Os cogumelos comestíveis, apreciados em muitas dietas européias e orientais, vêm crescendo de importância nos últimos anos. Sob o ponto de vista nutricional apresentam elevado conteúdo protéico em relação à maioria dos vegetais, sendo apontado por alguns pesquisadores como alternativa para incrementar a oferta de proteínas às populações de países em desenvolvimento e com alto índice de desnutrição (BANO; RAJARATHNAM, 1988). Seu cultivo também possibilita a reciclagem de resíduos agrícolas e agroindustriais, como bagaço de cana-de-açúcar e palhas de diversas culturas, utilizados na produção do substrato de cultivo.

No mercado mundial distinguem-se claramente dois nichos: do *Agaricus bisporus*, a espécie mais explorada e comercializada no mundo e dos exóticos, englobando espécies como *Lentinula edodes*, *Pleurotus* sp., *Auricularia* sp., *Flamulina velutipes*, *Grifola frondosa*, *Hypsizygus marmoreus*, *Pholiota nameko*,

Tremella fuciformis e *Volvariella* sp., cujo volume de produção e comercialização está em escala inferior ao do primeiro grupo (FERREIRA, 1998).

O gênero *Pleurotus* é bastante difundido em diversos países e ocupa o segundo lugar na produção mundial, com destaque para a China, maior produtora mundial. De acordo com Ferreira (1998), as principais espécies cultivadas são *P. ostreatus*, *P. sajor-caju*, *P. cystidus*, *P. citrinopileatus* e *P. flabellatus*, ocorrendo também outras de menor importância econômica.

Os cogumelos *Pleurotus* sp. são geralmente comercializados *in natura* ou desidratados, sendo utilizados como ingrediente de sopas, patês, recheios e em pratos típicos. Permanecem aceitáveis para o consumo até 36 horas após a colheita em temperaturas entre 21 e 25°C e são pouco utilizados em conservas devido ao tamanho dos corpos de frutificação (basidiocarpos), que dificultam seu processamento (NARDIM, 1999). Assim, a manutenção da qualidade e o aumento da vida útil são de grande importância para o gênero *Pleurotus*, podendo-se avaliar sua fisiologia pós-colheita através da composição química, firmeza, cor e atividade metabólica dos cogumelos (BANO; RAJARATHNAM, 1988).

Soluções conservantes associadas ao resfriamento foram utilizadas em trabalhos com *A. bisporus* frescos, apresentando bons resultados. Em alguns trabalhos foram utilizados ácido cítrico e peróxido de hidrogênio em pequenas concentrações no tratamento de cogumelos frescos inteiros ou fatiados, avaliando suas atuações como agentes acidulante e conservante, respectivamente (SAPERS et al., 1994; SAPERS et al., 1999; BRENNAN et al., 2000). Outras soluções também foram utilizadas em *A. bisporus* visando a manutenção da qualidade e aumento da vida útil, como o hipoclorito e cloreto de cálcio, sorbitol, erisorbato de sódio, cisteína e glucana-delta-lactona, obtendo-se resultados satisfatórios, principalmente em

relação à manutenção da textura e cor branca dos cogumelos frescos (KUYPER et al., 1993; RODRIGO et al., 1999; ROY et al., 1995a; ROY et al., 1995b; SAPERS et al., 1994). Entretanto, segundo Moda et al. (2005), a aplicação de soluções com ácido cítrico e peróxido de hidrogênio em *Pleurotus sajor-caju in natura* não obteve bons resultados, ocasionando a redução da firmeza e o escurecimento dos frutos durante o período de armazenamento.

A irradiação de alimentos é um processo físico comparável à pasteurização térmica, e vem sendo utilizada em diversos produtos alimentícios, com destaque para condimentos e especiarias secas, preparados enzímicos, desinfestação de grãos e produtos armazenados e na inibição do brotamento de batata, alho e cebola (WIENDL, 1978). A radiação gama também tem sido utilizada em *A. bisporus*, visando a manutenção das características químicas e físicas do cogumelo *in natura*, e o aumento de sua vida útil. Entretanto, sua aplicação em outras espécies de cogumelos comestíveis tem sido pouco estudada, apesar do gênero *Pleurotus* ocupar o segundo lugar na produção mundial de cogumelos comestíveis e ser apreciado em diversos países por seu aroma e sabor peculiares, aliados ao alto valor nutricional.

2 OBJETIVO

O presente trabalho tem como objetivo avaliar a vida útil de cogumelos comestíveis *Pleurotus sajor-caju in natura* irradiados com 125, 250, 500 e 750 Gy, através da análise das características químicas, físicas, microbiológicas e sensoriais do produto durante armazenamento refrigerado.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Cogumelos comestíveis e o gênero *Pleurotus*

Os fungos possuem habilidade para se desenvolverem em substâncias orgânicas, utilizando-se de diversos substratos. As fontes de carbono como polissacarídeos, lignina, glicose, manose, frutose, óleos e ácidos orgânicos fornecem energia para a atividade metabólica dos fungos e constituem a base para a síntese de proteínas e substâncias de reserva (SINGER; HARRIS, 1987; ZANETTI; RANAL, 1997). Desta forma, desempenham o papel de decompositores, assimilando os elementos e transformando-os em substâncias mais simples, permitindo a reciclagem dos nutrientes na natureza. Os fungos podem ser saprófitas, quando colonizam matéria orgânica em decomposição ou parasitas, quando suas hifas colonizam matéria orgânica viva, sobre ou dentro do hospedeiro. Também podem desenvolver processos simbióticos com outros seres vivos, como no caso das trufas, que aparecem sempre em associação micorrízica com carvalhos (BONONI et al., 1995).

A maioria dos fungos é considerada incompleta, pois não produz corpos de frutificação; somente os pertencentes à classe dos Basidiomicetos e alguns Ascomicetos produzem o cogumelo verdadeiro, também denominado de carpóforo, basidiocarpo, corpo de frutificação ou fruto. A produção do basidiocarpo é o ápice do ciclo vital da espécie, com a maturação do cogumelo, abertura do píleo (chapéu) e a produção e dispersão dos esporos pelas lamelas. Estes são haplóides, resultantes do processo de divisão meiótica que ocorre dentro do basidiocarpo. Estruturalmente, os fungos multicelulares são constituídos de filamentos cilíndricos e ramificados,

denominados hifas. As hifas são microscópicas e formam o micélio, que pode ser facilmente visualizado (PASCHOLATI et al., 1998). No caso de espécies heterotálicas, os esporos formarão o micélio primário, unindo-se a outros compatíveis e formando o micélio dicariótico ou secundário, responsável pela colonização do substrato e formação dos primórdios que darão origem aos cogumelos, fechando-se o ciclo reprodutivo (CHANG; MILES, 1984; RAJARATHNAM, 1987).

O cultivo de cogumelos tem longa tradição no sudoeste asiático, datando de 600 a.C. com *Auricularia auricularia* (orelha-de-pau), enquanto que o cogumelo *Agaricus bisporus* é cultivado comercialmente na França desde o século XVII (KÜES; LIU, 2000). O champignon-de-Paris é o cogumelo mais popular em todo o Ocidente, sendo que no Japão, China e Coréia, o shiitake é o cogumelo mais cultivado, produzido em troncos de árvores, como carvalhos e atualmente eucaliptos (SUBRAMANIAN, 1995).

A produção mundial de cogumelos foi estimada pela FAO (Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação) em cerca de 2,4 milhões de toneladas em 2002, destacando-se como maiores produtores a China, com 708 mil toneladas e os Estados Unidos, com 390 mil toneladas. A maior exportadora de cogumelos naquele ano foi a Holanda, terceira produtora mundial, com 63,7 mil toneladas, seguida da China, com 50,1 mil toneladas.

No mercado mundial, o *Lentinula edodes* detém o terceiro lugar em volume de produção com 10% do total, atrás do *Agaricus bisporus*, com 38% do volume total de cogumelos produzidos e pelas várias espécies de *Pleurotus* que, somadas, representam 25% da produção mundial de cogumelos (BEETZ; GREER, 1999).

Os dados sobre a produção de cogumelos no Brasil são geralmente subestimados, não existindo estatísticas oficiais sobre sua produção em diversos Estados brasileiros. A região do Alto Tietê, em São Paulo, é a maior produtora nacional e de acordo com a Companhia de Entrepostos e Armazéns Gerais de São Paulo (CEAGESP, 2004) foram produzidas aproximadamente 16 toneladas de cogumelos frescos entre os meses de junho e julho de 2004, sendo quase a totalidade de champignons (*A. bisporus*), comercializados principalmente em conservas.

A produção de cogumelos representa um eficiente caminho na reciclagem de resíduos, convertendo-os em alimento com elevado conteúdo protéico, nutricional e medicinal, justificando desta forma sua produção em países em desenvolvimento (RAJARATHNAM; BANO, 1989). O bagaço de cana-de-açúcar é um importante resíduo da agricultura no Brasil, sendo bastante empregado na produção de compostos fertilizantes e podendo ser utilizado na produção de cogumelos, principalmente do gênero *Pleurotus*. Contém mais de 70% de celulose na matéria seca, porém sua digestibilidade é reduzida devido à alta porcentagem de lignina presente no material. Uma alternativa para a quebra da lignina é o uso de fungos basidiomicetos, como os cogumelos do gênero *Pleurotus*, que podem degradar o complexo lignocelulósico da cana-de-açúcar, de acordo com Ortega et al. (1992). Além destas vantagens, após a colheita dos cogumelos o substrato residual poderá ser utilizado na alimentação de ruminantes e suínos devido à sua riqueza em nutrientes e alta digestibilidade, podendo também ser aproveitado como fertilizante ou na produção de biogás, de acordo com Mansur et al. (1992) e Buswell e Chang (1993).

Os cogumelos *Pleurotus* sp., também denominados de cogumelos gigantes, caetetuba, hiratake, shimeji e oystermushroom, possuem píleo em forma de “pétalas” ou “leques” com diâmetro variável, formando cachos que saem diretamente do substrato de cultivo. O estipe (pé) é lateral ou ausente, sendo difícil sua separação do píleo (PERALA-SANTOLARIA, 1964).

O gênero *Pleurotus* representa um grupo com elevado potencial biotecnológico dentro da classe dos basidiomicetos, especialmente em áreas tropicais e subtropicais, sendo utilizado como alimento funcional, na síntese de compostos bioquímicos, na biorremediação e na produção de etanol derivado de madeira. Segundo Zadrazil (1980), o *Pleurotus sajor-caju* é um cogumelo com grande habilidade saprofítica de colonização, podendo colonizar substratos esterilizados, pasteurizados (60 a 90°C) e fermentados. Também apresenta grande variabilidade fenotípica, podendo ser cultivado em regiões com diferentes condições climáticas e culturais. Kashangura et al. (2006) analisaram 15 cepas de *P. sajor-caju*, oriundos de diversas localidades e obtiveram valores adequados de pH entre 4 e 8 e temperaturas entre 15 e 25ºC, indicando a possibilidade de cultivo em condições climáticas diversificadas.

Várias são as vantagens do cultivo de *Pleurotus* sp.: facilidade de manejo e produção, ocupando pouco tempo e espaço na localidade; utilização de matérias-prima como palhas, capins e bagaço, abundantes e baratas; não requer climatização, podendo ser cultivado em qualquer região do Brasil; apresenta elevada rusticidade, com resistência a pragas e doenças e crescimento rápido, permitindo o retorno do investimento em período relativamente curto (FERREIRA, 1998; POPPE, 2000; RAJARATHNAM, 1992).

Figura 1. *Pleurotus sajor-caju* em substrato de bagaço de cana-de-açúcar pasteurizado.

Figura 2. Estrutura de frutificação e visualização das lamelas de *Pleurotus sajor-caju*.

De acordo com Stamets (1993), a produção de *Pleurotus sajor-caju* pode ser dividida em três etapas, com necessidades distintas em cada uma delas. A primeira etapa é denominada de “corrida do micélio”, onde o fungo coloniza o substrato de cultivo, sendo necessário temperatura entre 24 e 29°C e umidade relativa de 90%, durante o período de 8 a 14 dias. Na segunda etapa ocorre a formação dos

primórdios, necessitando de temperatura entre 15 e 27°C e umidade relativa de 90%, com duração de 3 a 5 dias. Durante a terceira etapa ocorre o desenvolvimento dos frutos a partir dos primórdios, com temperatura entre 18 e 27°C e umidade relativa entre 80 e 90%, no período de 3 a 5 dias.

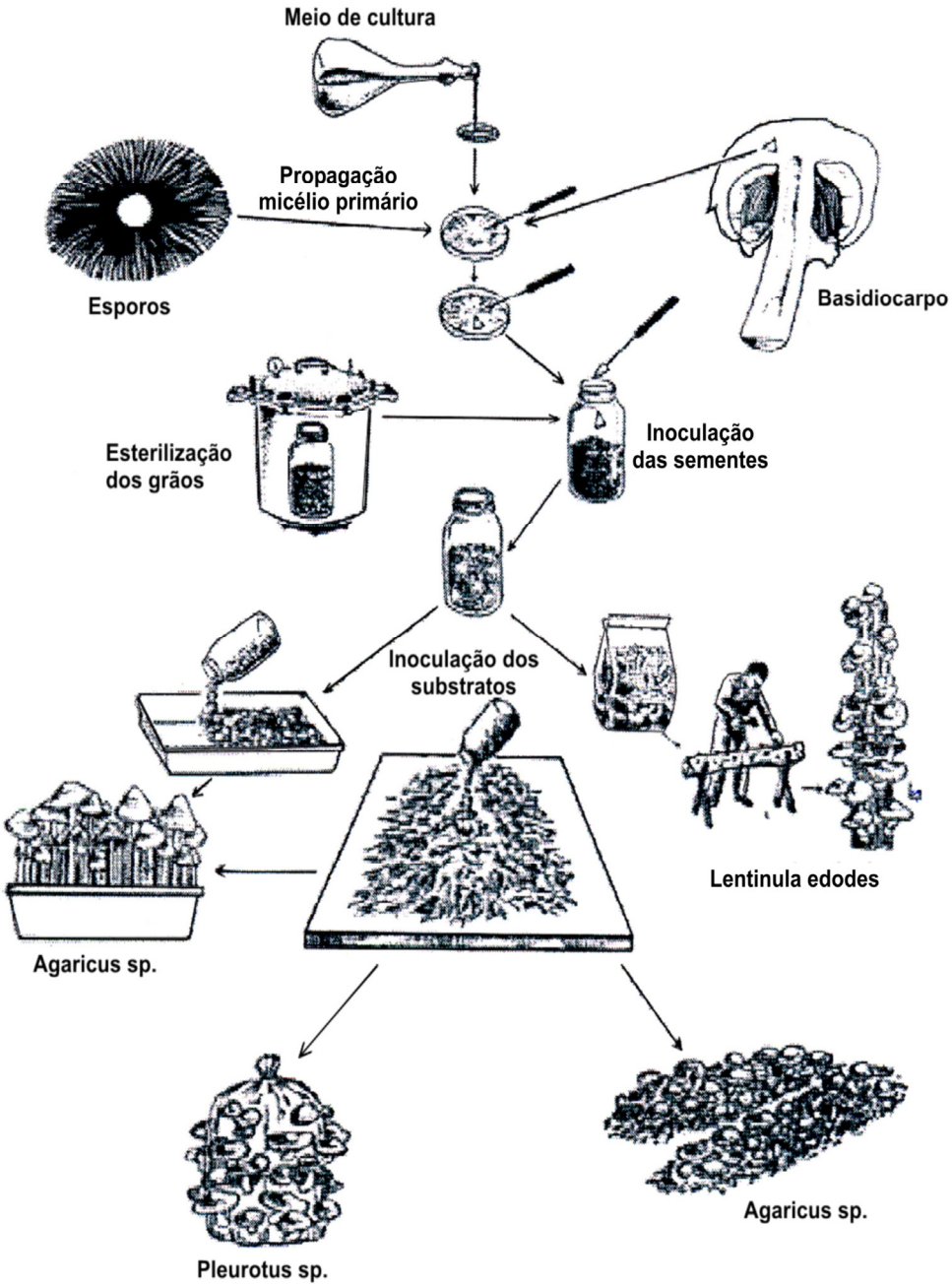


Figura 3. Fluxograma de produção de cogumelos comestíveis.

Os cogumelos comestíveis do gênero *Pleurotus* são cultivados no Brasil utilizando-se de materiais orgânicos na produção do substrato, com posterior pasteurização sob vapor fluente. Diversos tipos de resíduos agroindustriais, como o bagaço de cana-de-açúcar, palha de trigo, palha da folha de bananeira, palha de milho, entre outros, podem ser utilizados na produção do substrato de cultivo.

A compostagem deste material é realizada entre 15 e 20 dias, podendo-se acrescentar ao material celulósico, resíduos agrícolas ou adubos minerais que contenham quantidade adequada de nitrogênio, como farelo de soja, farelo de trigo, farinha de ossos e nitrato de amônia. O composto é normalmente disposto em pilhas com 1,80 m de altura, com comprimento e largura variáveis. A umidade do composto deve estar em torno de 60 a 70% e a pilha deve ser revirada a cada 4 dias para promover aeração adequada e homogeneidade do material. Durante esta fase, ocorre o desenvolvimento de microrganismos que iniciam a degradação do material, disponibilizando inicialmente alguns nutrientes para o crescimento e desenvolvimento do micélio (FERREIRA, 1998).

Finalizada a compostagem, é realizada a pasteurização do substrato, objetivando a destruição parcial da população de microrganismos competidores e reduzindo a possibilidade de contaminações após a inoculação do “spawn” ou “semente-inóculo”. Normalmente, a pasteurização é realizada em túneis com vapor injetado, onde o composto permanece de 2 a 3 dias sob temperaturas que variam de 55 a 80°C. Após a pasteurização ocorre a inoculação do substrato com a semente-inóculo, seguindo para a estufa de produção, onde será mantido sob temperatura e umidade controladas durante aproximadamente 50 dias, com o final do período produtivo (FERREIRA, 1998).

3.2 Irradiação de alimentos

A irradiação de alimentos tem recebido atenção crescente nas últimas décadas, devido às vantagens que apresenta em relação aos métodos convencionais de processamento. A segurança do processo de irradiação na conservação de alimentos também é um fator importante para sua utilização por órgãos governamentais, instituições de pesquisas e empresas privadas de todo o mundo, pois possibilita o aumento das exportações de diversos produtos agroindustriais. Assim, a irradiação de alimentos tem sido encarada como uma oportunidade em diversos setores da economia nacional, principalmente em relação aos alimentos *in natura* e processados (VERRUMA-BERNARDI; SPOTO, 2003; SILVA, 2005). A importância da irradiação de alimentos baseia-se na preservação das qualidades intrínsecas e nutricionais, evitando perdas econômicas. Além disso, pode aumentar a vida útil dos alimentos e satisfazer as exigências das barreiras sanitárias impostas pelos países importadores dos produtos brasileiros (OLIVEIRA, 2000).

O processo de irradiação envolve a exposição dos alimentos à energia ionizante (raios gama, raios-X ou feixe de elétrons) e produz seus efeitos em decorrência da interrupção dos processos orgânicos que levam o alimento à deterioração. São denominadas radiações ionizantes porque sua energia é suficiente para arrancar elétrons dos átomos e moléculas, resultando em partículas eletricamente carregadas. O potencial de aplicação da radiação ionizante em alimentos baseia-se no fato da radiação poder danificar diretamente o DNA celular, inativar microrganismos, células meristemáticas e gametas de insetos em função da dose de radiação absorvida, resultando em diversos efeitos preservativos. Também

pode ocasionar danos indiretos, com a formação de radicais livres e outros componentes, através do processo de radiólise da água. Ao mesmo tempo, as mudanças em componentes químicos dos alimentos são mínimas, como por exemplo, na composição nutricional (FARKAS, 2006).

O radionuclídeo mais utilizado na irradiação de alimentos é o Cobalto-60, produzido através do bombardeamento do metal Cobalto-59 com nêutrons em um reator nuclear, com meia-vida de 5,3 anos. O núcleo atômico do Cobalto-60 é altamente instável, desintegrando-se espontâneamente e emitindo raios gama, que fazem parte do espectro eletromagnético e possuem elevada energia e capacidade de penetração nos produtos, podendo ser utilizados em alimentos já acondicionados em embalagens e paletes (FAO, 1999).

Os raios penetram pela embalagem e alimento, porém a maior parte da energia simplesmente passa através destes, não deixando resíduos. Uma pequena porcentagem de energia é absorvida pela água ou outras moléculas constituintes dos alimentos, sendo retida na forma de calor (ADA, 1996; FARKAS, 2006).

A irradiação de alimentos apresenta diversas vantagens, como o baixo consumo de energia durante o processo e a redução no consumo de energia em métodos convencionais de conservação quando os produtos são previamente irradiados. Também permite o tratamento contínuo de grandes volumes e o processamento de produtos envasados, evitando a recontaminação do alimento. Além disso, pode reduzir e inibir o desenvolvimento de microrganismos patogênicos não formadores de esporos, assim como reduzir a utilização de produtos químicos, diminuindo a contaminação ambiental. Outra importante vantagem da irradiação é que pode ser utilizada em frutas e vegetais frescos ou alimentos congelados por ser um processo “frio”, inibindo o brotamento e amadurecimento de raízes e tubérculos,

reduzindo microrganismos patogênicos, fungos e leveduras e a infestação de parasitas e insetos. A irradiação pode complementar outras técnicas de conservação, especialmente a refrigeração, potencializando seus efeitos benéficos (CURZIO, 1982; TAPE, 1996).

De acordo com o Grupo Consultivo Internacional sobre Irradiação de Alimentos (FAO, 1999), o processo de irradiação pode acarretar pequenas alterações químicas nos alimentos, não sendo conhecidas modificações nocivas ou perigosas. A variação do valor nutritivo causada pela irradiação depende de vários fatores, dentre eles a dose à qual o alimento é exposto, o tipo de alimento, a embalagem utilizada, a temperatura durante a irradiação e o tempo de armazenamento do alimento. O tratamento por irradiação, se devidamente controlado, não deve alterar fisicamente a aparência, a forma ou a temperatura dos produtos (VERRUMA-BERNARDI; SPOTO, 2003).

A quantidade de energia absorvida pelo alimento quando este passa pelo campo de radiação durante o processamento é denominada dose de radiação, sendo atualmente expressa em Gray (Gy). Em termos de relações de energia, 1 Gy equivale a 1 joule (J) de energia absorvida por kilo (kg) de alimento irradiado, sendo que 1 kGy equivale a 1000 Gy. Anteriormente, a unidade utilizada para expressar energia absorvida era o rad, com 100 rads equivalendo a 1 Gy (FAO, 1999).

A radapertização ou irradiação de alta dose (acima de 10 kGy) visa a eliminação de microrganismos patogênicos formadores de esporos (esterilidade comercial), sendo geralmente empregada em produtos cárneos e condimentos, com doses entre 25 e 45 kGy. A radiciação ou irradiação de dose média (entre 1 e 10 kGy) tem como objetivo reduzir o número de patógenos não formadores de esporos, de forma que não sejam detectados por métodos de análises bacteriológicas nos

alimentos tratados. Pode ser utilizada em massas, carnes frescas e sucos, com doses geralmente entre 2 e 8 kGy. A radurização ou irradiação com baixa dose (até 1 kGy) promove a redução na contagem de microrganismos deterioradores, e geralmente é associada a outros métodos de conservação, como a refrigeração. Também pode ser utilizada no controle de insetos e ácaros e prevenir brotamentos em bulbos e tubérculos (FAO, 1999; SPOTO, 2007).

Os produtos submetidos à irradiação devem conter no rótulo a informação sobre o método de conservação. O rótulo deve apresentar o símbolo da radura e informações como “tratado com radiação” ou “tratado por irradiação”. Também foi permitido ao fabricante a adição de frase que descreva o propósito primário do tratamento, como “tratado com radiação para controle de deterioração” (ANDRESS; DELAPLANE, 2007).

Figura 4. Símbolo da Radura – reconhecido internacionalmente, devendo ser acompanhado da inscrição “Alimento Irradiado” ou “Tratado por Irradiação”.

Diversos trabalhos avaliaram a utilização da radiação gama em cogumelos comestíveis, principalmente *A. bisporus*, visando a manutenção das características físicas, químicas, microbiológicas e sensoriais, com aplicação de diferentes doses, tempo de exposição e quantidade de material irradiado. Campbell et al. (1968) utilizaram a dose de 100 krad (1 kGy) na irradiação de *A. bisporus*, que foram mantidos a 1°C durante 4 dias. Os autores avaliaram o conteúdo de carboidratos,

matéria seca, umidade e taxa respiratória das amostras irradiadas, não observando mudanças significativas nos parâmetros analisados em comparação ao controle, com exceção da taxa de respiração, que foi consideravelmente maior nas amostras irradiadas no início do período de armazenamento. As análises foram interrompidas após o 4º dia, pois os autores consideraram que o aumento na concentração de gás carbônico (CO_2) dentro dos frascos poderia interferir no metabolismo normal dos cogumelos.

Gill et al. (1969) estudaram *A. bisporus* irradiados com 10 a 100 krad (0,1 a 1 kGy) armazenados a 10ºC, em relação à textura, luminosidade, grau de abertura do píleo e diâmetro e alongamento do estipe. A dose de 10 krad (0,1 kGy) foi eficiente na redução da abertura do píleo; entre 20 e 25 krad (0,2 a 0,25 kGy) ocorreu redução na diminuição do diâmetro do estipe e a 100 krad (1 kGy) houve redução no alongamento do estipe e na taxa de escurecimento dos cogumelos, sendo que a textura não foi alterada em nenhuma das doses avaliadas.

As características organolépticas (coloração, aroma, sabor e textura) de *A. bisporus* irradiados com 25, 100 e 300 krad (0,25, 1 e 3 kGy, respectivamente) mantidos a 8°C durante 13 dias foram avaliadas por Kovacs & Vas (1974a). Os cogumelos apresentaram um leve escurecimento imediatamente após a irradiação com todas as doses, que foi mantido até o final do período de avaliação. A textura não sofreu alterações nas amostras irradiadas, enquanto que a manutenção do sabor e aroma foi superior na irradiação com 100 krad (1 kGy). Em outro trabalho (KOVACS; VAZ, 1974b), os autores também utilizaram doses de 25 a 300 krad (0,25 a 3 kGy) na irradiação de *A. bisporus*, avaliando-se a taxa de respiração e produção de etileno dos cogumelos. Os autores consideraram que a radiação ionizante prolongou a vida útil dos cogumelos *A. bisporus*, devido à redução na taxa de

respiração e aumento na produção de etileno com o aumento da dose aplicada. À temperatura ambiente, a irradiação com dose de 300 krad (3 kGy) proporcionou vida útil de 4 dias aos cogumelos.

Lescano (1990) irradiou *A. campestris* com 1,0, 2,0 e 3,0 kGy e taxa de dose 6,92 Gy min^{-1}, acondicionados em bandejas de polipropileno, envoltos em filme de PVC e armazenados às temperaturas de 10°C e ambiente. O autor avaliou a coloração, grau de alongamento, abertura do píleo, perda de umidade e contaminações, obtendo os melhores resultados nas amostras irradiadas com 3,0 kGy armazenadas a 10°C, devido à inibição da abertura do píleo e alongamento do estipe, além da manutenção da cor branca e prolongamento da vida útil do cogumelo, que atingiu 17 dias após o tratamento.

A irradiação com 2 kGy e diferentes taxas de dose foram utilizadas em *A. bisporus* no trabalho de Beaulieu et al. (1992). Os cogumelos foram irradiados com taxas de 4,5 e 32,0 kGy h^{-1} e armazenados à temperatura de 15°C durante 11 dias. Ambas as taxas reduziram significativamente os microrganismos decompositores em relação ao controle imediatamente após a irradiação. A taxa de 32,0 kGy h^{-1} apresentou diferença significativa em relação aos demais tratamentos ao final do período de 11 dias, apresentando a menor contagem de microrganismos decompositores. Entretanto, a manutenção da coloração branca foi superior na irradiação com taxa de 4,5 kGy h^{-1} no final do período de armazenamento, sendo significativamente superior aos demais tratamentos.

Narvaiz (1994) avaliou a massa, textura e acidez de cogumelos *A. campestris* irradiados com 3 kGy, acondicionados em bandejas de poliestireno, envoltos em filme de PVC e armazenados a 10°C durante 17 dias. A massa e textura dos cogumelos irradiados foram reduzidas durante o período de armazenamento, porém

sem diferença significativa em relação ao controle. Também foi observado o aumento da acidez nas amostras irradiadas no período inicial do experimento, sendo porém reduzida ao final do armazenamento, de forma que a irradiação não produziu efeitos deletérios nos parâmetros analisados.

Os compostos voláteis de *A. bisporus* irradiados foram determinados por meio de cromatografia gasosa, durante o experimento de Mau e Hwang (1997). Os cogumelos foram acondicionados em bandejas plásticas com 100g cada, embalados em filme de PVC e irradiados com doses de 1, 2 e 5 kGy, seguido de armazenamento a 4°C. Os autores observaram a redução do composto 1,3-octenol em função do aumento da dose de irradiação, com valores de 30,34, 14,18, 6,22 e 2,92 μg/g para o controle, 1, 2 e 5 kGy, respectivamente. Também ocorreram reduções crescentes na porcentagem de compostos aromáticos e polissacarídeos em função do aumento da dose de irradiação.

A taxa de respiração, a concentração de fenóis, a atividade enzimática e a luminosidade de *A. bisporus* foram avaliadas no trabalho de Benoit et al. (2000). Os cogumelos foram irradiados com 0,5, 1,5 e 2,5 kGy e mantidos a 4°C durante 12 dias. A irradiação com 1,5 e 2,5 kGy reduziu significativamente a taxa de respiração quando comparadas ao controle e à dose de 0,5 kGy. A concentração total de fenóis aumentou significativamente nas amostras irradiadas no período inicial de armazenamento, enquanto a atividade da polifenoloxidase (PPO) foi significativamente superior nos cogumelos irradiados após o 4º dia. A luminosidade (L) decresceu igualmente entre os tratamentos até o 5º dia; a partir deste momento, os cogumelos irradiados mantiveram o valor L constante, enquanto o controle continuou escurecendo até o final do período de armazenamento.

Cogumelos *Pleurotus sajor-caju* foram irradiados com 0,10, 0,25, 0,50 e 0,75 kGy e armazenados a 15°C durante 10 dias no trabalho de Roy et al. (2000), avaliando-se a perda de massa, desenvolvimento de odor estranho, formação de pontos de contaminação, crescimento micelial sobre o píleo e luminosidade das amostras. A dose de 0,50 kGy apresentou os melhores resultados, preservando as características do cogumelo fresco até o décimo dia de armazenamento. Os cogumelos irradiados não apresentaram desenvolvimento de contaminações ou crescimento micelial sobre o píleo durante o período de armazenamento, com menores perdas de massa em comparação ao controle. A luminosidade das amostras irradiadas não diferiu em relação ao controle, com exceção da dose de 0,75 kGy, que provocou escurecimento dos cogumelos imediatamente após a irradiação.

Nazzaro et al. (2007) avaliaram a influência da radiação gama no perfil microbiológico e bioquímico de trufas negras (*Tuber aestivum* var. 'Vittadini'). Os cogumelos foram irradiados com 1,5 e 2,0 kGy e analisados imediatamente após a irradiação e com 30 dias de armazenamento a 4ºC. As análises bioquímicas avaliaram o conteúdo de proteínas, peptídeos e compostos fenólicos, e as análises microbiológicas revelaram a flora microbiana inicial, após a irradiação e ao final do armazenamento. Os autores concluíram que a dose de 1,5 kGy foi a mais adequada para manter as características dos cogumelos frescos até o final do período de armazenamento.

3.3 Composição química de *Pleurotus* sp.

A irradiação não aumenta significativamente a temperatura dos alimentos durante o processamento, assim a perda de nutrientes é reduzida e relativamente menor quando comparada a outros métodos de conservação, como a pasteurização e apertização. As proteínas, gorduras e carboidratos são relativamente estáveis ao processo de irradiação com doses de até 10 kGy. Em geral, alguns nutrientes mais sensíveis à pasteurização e apertização, como as vitaminas do complexo B e ácido ascórbico, são também mais sensíveis a irradiação (ADA, 1996; RELA, 2000). Outra alteração importante diz respeito aos aminoácidos, que podem sofrer pequenas quebras e liberar compostos voláteis, modificando o odor característico dos alimentos e reduzindo a qualidade sensorial do alimento (KILCAST, 1994).

Também um pequeno número de novos compostos e radicais livres são formados no alimento durante a irradiação, assim como durante a exposição dos alimentos ao calor. Pesquisas recentes observaram que estes compostos são semelhantes àqueles formados durante o cozimento, a pasteurização e apertização, assim como àqueles formados durante o período de senescência de frutas e vegetais (THAYER, 1994).

3.3.1 Proteína bruta

A proteína bruta de cogumelos comestíveis é calculada multiplicando-se o valor do nitrogênio total ao fator de conversão 4,38. Este fator é adotado em função da digestibilidade da proteína dos cogumelos, que pode variar de 60 a 70% e da presença de quitina, um polímero de N-acetilglucosamina, componente estrutural da

parede celular de fungos perfeitos. Assim, o valor 4,38 tem sido utilizado nos trabalhos mais recentes, já que o fator 6,25 adotado para a maioria dos alimentos pode superestimar a quantidade de proteína bruta calculada, de acordo com Fujihara et al. (1995).

Os maiores valores de proteína bruta encontrados para *Pleurotus* sp. variaram de 22,17 a 25,51% na matéria seca para substrato com palha de trigo, seguido do substrato de palha de folha de bananeira, com 19,07 a 24,13% de proteína bruta na matéria seca (M.S.), palha de bananeira e sabugo de milho (19,29 a 19,68%) e palha de bananeira e bagaço de cana-de-açúcar (17,38 a 19,35%), de acordo com Sturion e Oetterer (1995). Para o cultivo de *P. ostreatus* em palha de trigo, foram obtidos valores entre 19,97 e 19,26% de proteína bruta na M.S., de acordo com Justo et al. (1998).

O valor médio de proteína bruta encontrado em *P. sajor-caju* cultivado em palha de trigo foi de 34,1%, sendo que após a suplementação do substrato com resíduos do cultivo do algodão foi obtido o teor de proteína de 36,7% na M.S., de acordo com Bisaria et al. (1987).

A irradiação de *P. sajor-caju* com 0,50 kGy não modificou o conteúdo protéico em relação ao controle, observando-se os valores médios de 14,5 e 14,9% na M.S., respectivamente (ROY et al., 2000).

3.3.2 Extrato etéreo

O conteúdo total de lipídeos ou extrato etéreo de cogumelos comestíveis pode variar de 1 a 10% na M.S., com cerca de 72 a 85% deste valor representado por ácidos graxos insaturados, como os ácidos linoleico e oleico. O ácido linoleico é

o ácido graxo encontrado em maior proporção em *Pleurotus* sp., com valores entre 0,7 e 1,19 g /100 g de peso seco (JUSTO et al., 1998; BUSWELL; CHANG, 1993). Sturion e Ranzani (1997) também citaram o alto teor de ácido linoléico e ergosterol, precursor da vitamina D, em *Pleurotus* sp., além do baixo teor em lipídeos. Estes fatores, quando comparados às gorduras animais, contribuem significativamente para aumentar o valor nutricional dos cogumelos.

Madan et al. (1987) e Patrabansh e Madan (1997) encontraram valores para lipídeos de 1,57 a 2,30% em *P. sajor-caju* cultivados em diferentes substratos, enquanto Chang et al. (1981) obtiveram valores de 1,7 a 2,0% de extrato etéreo em *P. sajor-caju* cultivados em palha de trigo.

De acordo com Ortega et al. (1992), o extrato etéreo variou de 3,3 a 4,7% na M.S. para *Pleurotus* sp. cultivado em bagaço de cana suplementado com farelo de trigo e carbonato de cálcio. Já Sturion e Oetterer (1995) obtiveram valores significativamente maiores de lipídeos para *P. ostreatus* var. 'Flórida' (1,54 a 1,86% na M.S.) em comparação ao *P. ostreatus* e *P. sajor-caju* cultivados em substrato de folha de bananeira, que apresentaram valores aproximados de 1% na M.S.

3.3.3 Fibra bruta

As principais espécies cultivadas de cogumelos apresentam grande variação na fração fibrosa, com valores de 4 a 20% de fibra bruta na M.S. Um dos principais constituintes das paredes celulares dos fungos verdadeiros é a quitina, e por apresentar componentes nitrogenados em sua estrutura, este polissacarídeo pode provocar alterações no valor de nitrogênio total e proteína verdadeira (JUSTO et al., 1999).

A fração fibrosa de *Pleurotus* sp. é predominantemente constituída por celulose e hemicelulose, porém os teores de fibra bruta expressam somente a quantidade de celulose presente nos corpos de frutificação, de acordo com Sturion e Oetterer (1995), podendo variar em função da espécie e do substrato de cultivo utilizado. Os autores obtiveram valores de 9,19 a 11,66% de fibra bruta em *P. sajor-caju* cultivado em diferentes substratos e Ferreira (1998) relatou valores entre 7 e 28% de fibra bruta na M.S. para *P. ostreatus* cultivado em palha de trigo.

3.3.4 Cinzas

A determinação das cinzas fornece uma indicação da riqueza da amostra em elementos minerais, representando cerca de 10% da matéria seca em cogumelos comestíveis, de acordo com Bano e Rajarathanam (1988).

Normalmente o mineral mais abundante em cogumelos é o potássio, seguido de fósforo, sódio, cálcio e magnésio, os quais constituem 56 a 70% do total de cinzas na matéria orgânica (CHANG; MILES, 1984; BUSWELL; CHANG, 1993). Sturion e Oetterer (1995) obtiveram valores de 6,02 a 7,9% de cinzas na M.S. em *P. sajor-caju* cultivados em substratos diversificados.

3.4 Coloração e textura de cogumelos comestíveis

A cor dos alimentos pode ser medida com a utilização de um reflectômetro, onde a luz incidente é parcialmente absorvida pelo alimento e a luz refletida é detectada pelo aparelho, que analisa sua composição espectral. Os dados registrados pelo aparelho são normalmente analisados em escalas de cores opostas

(L, a* e b*) que estão relacionadas à percepção visual humana e ao processo luminoso, onde L representa a luminosidade e a* e b* determinam a coloração do objeto (BURTON et al., 2000).

A textura e a luminosidade foram avaliadas por Gill et al. (1969) em *A. bisporus* irradiados com doses de 10 a 100 krad (0,1 a 1,0 kGy) após 7 dias de armazenamento a 10°C. Os autores observaram redução da textura entre 10 e 15% nas amostras irradiadas em relação ao controle, e a luminosidade (L) foi afetada com maior intensidade nos cogumelos irradiados com 100 krad (1,0 kGy), com escurecimento significativo em relação ao controle no final do período de armazenamento.

A coloração e textura de *A. bisporus* irradiados com 25, 100 e 300 krad (0,25, 1 e 3 kGy, respectivamente) mantidos a 8°C durante 13 dias também foram avaliadas por Kovacs & Vas (1974a). Os cogumelos escureceram imediatamente após a irradiação, mantendo-se inalterados no restante do período de armazenamento, enquanto a textura não sofreu alterações em relação ao controle durante todos os períodos de avaliação. Narvaiz (1994) também utilizou 3 kGy na irradiação de cogumelos *A. campestris*, armazenados a 10°C durante 17 dias. O autor verificou a redução gradativa da textura durante o período de armazenamento, porém sem diferença significativa em relação ao controle, de forma que a irradiação não influenciou na redução da textura das amostras.

A luminosidade também foi avaliada no trabalho de Benoit et al. (2000) com cogumelos *A. bisporus* irradiados com 0,5, 1,5 e 2,5 kGy e armazenados a 4°C durante 12 dias. O valor L decresceu igualmente entre os tratamentos e o controle até o 4º dia; a partir deste momento, os cogumelos irradiados mantiveram a coloração inalterada e o controle continuou escurecendo até o final do período de

armazenamento. Resultados semelhantes foram encontrados no trabalho de Beaulieu et al. (2002), com a irradiação de *A. bisporus* com 2 kGy em diferentes taxas de dose (4,5 e 32 kGy h^{-1}). A luminosidade dos cogumelos irradiados com taxa de dose de 4,5 kGy h^{-1} foi significativamente maior em relação ao controle no final do período de armazenamento, enquanto que a taxa de 32 kGy h^{-1} ocasionou o escurecimento das amostras logo após a irradiação.

Cogumelos *Pleurotus sajor-caju* foram irradiados com 0,10, 0, 25, 0,50 e 0,75 kGy, secos em estufa a 45°C e pulverizados. Este material foi misturado com etanol 60% e a leitura da absorbância dos extratos foi realizada em espectrofotômetro regulado em 440 nm. A dose de 0,75 kGy aumentou significativamente o escurecimento das amostras em relação aos demais tratamentos, que não diferiram do controle, de acordo com Roy et al. (2000).

3.5 Atividade enzimática

Os compostos fenólicos são metabólitos secundários em plantas e podem variar em estrutura e tamanho, incluindo desde compostos simples como o ácido hidroxibenzóico, ácidos fenólicos e flavonóides até compostos maiores e mais complexos, como os taninos hidrolisáveis, lignina, cumarina e suberina, de alto peso molecular. São importantes para a aparência, firmeza e sabor de frutas e hortaliças, contribuindo para as características de acidez, adstringência, amargor e coloração, além de atuarem na fotossíntese, no sistema de transporte de elétrons na cadeia respiratória e como compostos bioativos e funcionais em determinados alimentos (TOMÁS-BARBERÁN et al., 2001; SUN; SONG, 2003).

A fenilalanina amônia (FAL) é a enzima chave na produção de compostos fenólicos, causando a desaminação não oxidativa do aminoácido aromático l-fenilalanina, que produz amônia livre e o ácido *trans*-cinâmico, precursor da biossíntese de outros compostos fenólicos. O aumento na atividade da FAL ocorre em intervalo de tempo relativamente pequeno após a injúria (12 a 24 horas), levando à produção de compostos fenólicos, que podem ser oxidados pela atuação de diferentes enzimas formando pigmentos escuros e causando alterações indesejáveis no sabor e textura dos alimentos. (JONES, 1984; CHITARRA, 2000).

A enzima polifenoloxidase (PPO) está associada ao escurecimento enzimático de frutas e vegetais, sendo também denominada de tirosinase, creolase, catecolase, difenolase e fenolase, devido à sua habilidade em utilizar diferentes compostos fenólicos como substrato. Apesar de investigações sugerirem que o papel da PPO está relacionado com o mecanismo da respiração, ainda não há consenso sobre o verdadeiro envolvimento que esta exerce sobre os tecidos vegetais, particularmente na biossíntese de fenólicos em plantas (ZAWISTOWSKI; BILIADERIS; ESKIN, 1991).

A polifenoloxidase é uma enzima capaz de catalisar dois diferentes tipos de reação: a hidroxilação de monofenóis a ortodifenóis e a de hidrogenação de ortodifenóis a ortoquinonas na presença de oxigênio, que são rapidamente condensadas formando complexos pigmentos de coloração marrom, denominados melaninas. As enzimas tirosinase e catecolase são responsáveis pelo processo de escurecimento enzimático em cogumelos *A. bisporus* e o catecol é o principal composto fenólico utilizado como substrato (VÁMOS-VIGYÁZO, 1981; BURTON, 1980).

A enzima peroxidase (POD) é largamente distribuída na natureza, fazendo parte de um grande grupo de enzimas denominadas de oxiredutoras. As peroxidases são encontradas nos tecidos vegetais em grupos de isoenzimas e podem ser responsáveis pela perda de cor, sabor e textura, assim como de atributos nutricionais nos alimentos. A atividade enzimática da peroxidase vem sendo considerada importante na qualidade do processamento de alimentos, pela sua conhecida termoestabilidade (ROBINSON, 1991).

Durante o amadurecimento das frutas e particularmente durante o climatério, a atividade da peroxidase aumenta de acordo com a atividade de outras enzimas, como a poligalacturonase e a celulase, que estão normalmente associadas ao processo de amadurecimento. A peroxidase promove um grande número de reações e, conseqüentemente, possui uma versatilidade que não é exercida por nenhuma outra enzima (ROBINSON, 1991). As peroxidases das paredes celulares estão envolvidas na lignificação e suberização dos tecidos e nas ligações cruzadas de ácidos fenólicos com polissacarídeos. Sua atividade é típica na oxidação de fenólicos, utilizando o peróxido de hidrogênio como doador de elétrons. As reações de oxidação produzem quinonas instáveis e após oxidação não enzimática na presença de oxigênio, polimerizam-se formando melaninas (CHITARRA, 2000).

Apesar das peroxidases estarem amplamente distribuídas no reino vegetal, seu papel no escurecimento enzimático de frutas e vegetais está sob discussão, porque o nível interno de peróxido de hidrogênio nas plantas limita a atividade da peroxidase. Subramanian et al. (1999) sugeriram um possível efeito sinérgico entre as enzimas polifenoloxidase e peroxidase, devido à formação de peróxido de hidrogênio durante a oxidação de compostos fenólicos pela polifenoloxidase, atuando como promotora da atividade da peroxidase. Desta forma, o maior agente

responsável pelo escurecimento enzimático em frutas e vegetais é provavelmente, a enzima polifenoloxidase.

Geralmente a radiação gama aumenta a atividade da polifenoloxidase em cogumelos frescos, provavelmente em resposta ao estresse gerado durante o processo. O aumento da atividade enzimática e compostos fenólicos em cogumelos *A. bisporus* foram correlacionados com o aumento da dose de irradiação nos trabalhos de Benoit et al. (2000) e Beaulieu et al. (2002).

Entretanto, Sun e Song (2003) obtiveram diferentes resultados quando avaliaram os efeitos da radiação gama em extratos enzímicos purificados de cogumelos *A. bisporus*. A dose de 1 kGy reduziu em 52% a atividade da enzima tirosinase e doses entre 5 e 10 kGy reduziram em 93 a 95% a atividade enzimática. Os autores sugeriram que a redução da atividade enzimática estaria correlacionada com a mudança na conformação ou modificação do sítio ativo da enzima, indicando que a radiação gama, mesmo em baixas doses, pode alterar a função básica da polifenoloxidase.

3.6 Atividade respiratória

As principais transformações que ocorrem durante o crescimento e maturação de frutos e hortaliças são: elevação da atividade respiratória, modificações na textura, alterações na permeabilidade das membranas e paredes celulares. A taxa de respiração aumenta com a elevação da temperatura, a redução da umidade relativa e com o aumento da concentração de gases na atmosfera. Quanto maior for a atividade respiratória, mais perecível se torna o produto. Desta forma, o cogumelo *A. bisporus* é classificado como alimento muito perecível, pois apresenta atividade

respiratória elevada (70 a 100 mg kg^{-1} h^{-1} de CO_2) à temperatura de 10ºC (CHITARRA, 2000).

A atividade respiratória de produtos alimentícios pode ser determinada através da cromatografia gasosa, mensurando-se a quantidade de CO_2 presente na atmosfera da embalagem durante seu período de armazenamento. Kovacs e Vas (1974b) determinaram a atividade respiratória de *A. bisporus* irradiados com doses de 25 a 300 krad (0,25 a 3 kGy), e observaram sua redução com o aumento da dose de irradiação aplicada. Este fato também foi observado por Benoit et al. (2000) em *A. bisporus* irradiados com 0,5, 1,5 e 2,5 kGy e mantidos a 4°C durante 12 dias. As doses de 1,5 e 2,5 kGy reduziram significativamente a taxa de respiração das amostras quando comparadas ao controle e à dose de 0,5 kGy.

Villaescusa e Gil (2003) avaliaram a atividade respiratória de cogumelos *P. sajor-caju* armazenados a 7ºC durante o período de 10 dias. Os autores obtiveram valor médio de 1,23 µmol kg^{-1} s^{-1} após 12 horas de armazenamento a 7ºC, decaindo em 50% (aproximadamente 0,5 µmol kg^{-1} s^{-1}) após 48 horas. No 4º dia, a concentração de CO_2 voltou a aumentar significativamente, com média de 0,73 µmol kg^{-1} s^{-1}, não se diferenciando das médias obtidas até o 7º dia de armazenamento. A menor concentração foi registrada ao final do experimento, quando as amostras obtiveram o valor médio de 0,40 µmol kg^{-1} s^{-1}.

Li et al. (2007) também estudaram a atividade respiratória do cogumelo comestível *Agrocybe chaxingu* armazenado sob atmosfera modificada. A taxa de respiração inicial para os cogumelos armazenados a 5ºC foi de 208,5 mg kg^{-1} h^{-1}, provavelmente devido ao estresse gerado pela colheita, transporte e processamento das amostras. Após 4 dias, a taxa de respiração decresceu em todos os tratamentos, com valores entre 124,5 e 151,37 mg kg^{-1} h^{-1}. Assim, pode-se notar que

os cogumelos apresentaram elevada atividade respiratória após a colheita e processamento, decaindo durante o período final de armazenamento na literatura citada.

3.7 Microrganismos psicrotróficos, coliformes totais e *Escherichia coli*

A contagem total de microrganismos em placas é o método mais utilizado como indicador geral de populações bacterianas em alimentos. Não diferencia tipos de bactéria, sendo utilizado para obter informações gerais sobre a qualidade dos produtos, práticas de manufatura, matérias-prima utilizadas, condições de processamento, manipulação e vida útil. Não é um indicador de segurança, pois não está relacionado à presença de patógenos ou toxinas, porém pode ser útil na avaliação da qualidade, porque populações altas de bactérias podem indicar deficiências na sanitização ou falhas no processamento (SILVA et al., 2007).

Microrganismos psicrotróficos são aqueles que crescem em alimentos sob refrigeração (0-7ºC), porém apresentam temperatura ótima acima de 20ºC. São definidos como microrganismos capazes de produzir crescimento visível a 7±1ºC entre 7 e 10 dias, independente de sua temperatura ótima. Na classificação tradicional dos microrganismos em função da temperatura (termófilos, mesófilos e psicrófilos) os psicrotróficos são um subgrupo dos mesófilos, não dos psicrófilos, porque esses últimos geralmente morrem à temperatura ambiente. Os psicrotróficos, ao contrário, se multiplicam em alimentos refrigerados, porém apresentam melhor desenvolvimento em temperaturas da faixa mesófila (SILVA et al., 2007).

O método clássico utilizado na contagem total de mesófilos aeróbios e psicrotróficos em alimentos é a contagem padrão em placas (plaqueamento em

profundidade, superfície ou filtração em membranas). Entretanto, outros métodos foram oficializados pela Association of Official Analytical Chemists, entre eles o método analítico de enzimas múltiplas Simplate for Total Plate Count Color Indicator (TPC-CI) da BioControl Systems®, indicado para alimentos, ingredientes e amostras ambientais. Este método fundamenta-se na redução bioquímica do corante resazurina (azul) para resorufina (rosada) ou dehidro-resorufina (transparente), sendo que outras variações de coloração como marrom, pêssego, branco e púrpura também são consideradas positivas (SMITH; TOWNSEND, 1999, AOAC, 2005).

O grupo dos coliformes totais é um subgrupo das Enterobactérias, onde estão apenas os microrganismos capazes de fermentar a lactose com produção de gás, em 24 a 48 horas a 35ºC. Encaixam-se nesta definição tanto bactérias originárias do trato gastrintestinal de humanos e outros animais homeotérmicos (*E. coli*) como também bactérias não entéricas. A capacidade de fermentar a lactose pode ser verificada pela formação de gás e ácido nos meios de cultivo contendo lactose. Essas características são utilizadas nos métodos tradicionais de contagem de coliformes totais (SILVA et al., 2007).

O grupo dos coliformes termotolerantes ou coliformes a 45ºC, comumente chamados de coliformes fecais, é um subgrupo dos coliformes totais, restrito aos microrganismos capazes de fermentar a lactose em 24 horas a 44,5 - 45,5ºC, com produção de gás. Nestas condições, ao redor de 90% das culturas de *E. coli* são positivas. Recentemente, a FAO (Food and Agricultural Organization) e a OMS (Organização Mundial da Saúde) concluíram que não é possível avaliar a segurança (inocuidade) de alimentos em função dos níveis de *E. coli*, coliformes termotolerantes, coliformes totais ou enterobactérias. Um alto índice desses microrganismos pode estar, em certas circunstâncias, relacionado com uma maior

probabilidade de presença de patógenos entéricos, porém, freqüentemente não está. Da mesma forma, sua ausência nem sempre significa que os produtos estejam livres de bactérias entéricas patogênicas (SILVA et al., 2007).

Assim, podem servir como indicadores das condições de higiene nos processos de fabricação, no caso de enterobactérias e coliformes, porque são facilmente inativados pelos sanitizantes e capazes de colonizar vários nichos das plantas de processamento quando a sanitização é falha. A detecção de coliformes também pode indicar falha durante ou após o processamento de alimentos pasteurizados, porque são facilmente destruídos pelo calor e não devem sobreviver ao tratamento térmico. A presença de *E. coli* pode indicar contaminação fecal em alimentos *in natura*, não servindo porém como indicador em alimentos processados (KORNACKI; JOHNSON, 2001).

Recentemente foi oficializado pela Association of Official Analytical Chemists o método analítico enzimático Simplate Coliform and *E. coli*' (CEc) para a contagem de coliformes totais e *E. coli* em alimentos. Este método apresenta substrato definido, permitindo correlacionar a presença de coliformes totais e *E. coli* com a presença de *β*-galactosidase e *β*-glucoronidase, respectivamente, em 24 horas a 35ºC (AOAC, 2005). São consideradas cavidades positivas para coliformes totais aquelas que diferirem da cor amarela inicial após o período de incubação, geralmente apresentando a coloração rosa. As cavidades positivas que apresentarem fluorescência sob luz ultravioleta serão também consideradas positivas para *E. coli*, uma vez que o substrato MUG (4 metil-umbeliferil *β*-glucoronídeo) é transformado em umbeliferona (composto fluorescente) pela enzima *β*-glucoronidase, produzida pela grande maioria das cepas de *E. coli*, de acordo com Townsend et al. (1998).

O mecanismo de inativação microbiana pela radiação ionizante deve-se principalmente a danos diretos nos ácidos nucléicos e indiretos, pela atuação dos radicais oxidativos originados durante o processo de radiólise da água (FARKAS, 2006). A dose de radiação necessária para controlar microrganismos em alimentos depende de diversos fatores, como a resistência particular de cada espécie e o grau de contaminação do alimento. Esta resistência à radiação ionizante está geralmente associada a diversos fatores, como a composição do meio, umidade, temperatura durante a irradiação, presença ou ausência de oxigênio, se o alimento está no estado fresco ou congelado, particularmente no caso de células vegetativas (FARKAS, 2006).

De acordo com a série de fichas descritivas do Grupo Consultivo Internacional sobre Irradiação de Alimentos (FAO,1999), os cogumelos comestíveis podem ter a vida útil prolongada com a aplicação de irradiação de baixa dose aliada à refrigeração, não alterando o sabor ou a textura do produto fresco. Muitos microrganismos decompositores, como *Pseudomonas* spp. e *Salmonella* spp., são relativamente sensíveis à irradiação, porém nem este ou qualquer outro tratamento de alimentos pode reverter o processo de deterioração e tornar bom o alimento já estragado.

Diferentes taxas de dose (4,5 e 32,0 kGy h^{-1}) foram utilizadas no trabalho de Beaulieu et al. (1992), durante a irradiação de *A. bisporus* com 2 kGy, armazenados a 15°C. Ambas as taxas foram eficientes na redução dos microrganismos após a irradiação e durante o armazenamento de 11 dias. A irradiação diminuiu significativamente o número de microrganismos viáveis, reduzindo em cinco ciclos logarítmicos as bactérias mesófilas e em seis ciclos as psicrófilas, imediatamente após os tratamentos. Nas amostras irradiadas, a quantidade de bactérias mesófilas

e psicrófilas foram significativamente menores durante todo o período de armazenamento quando comparado ao controle. Também ocorreram reduções significativas no número de leveduras e fungos imediatamente após a irradiação e durante o período de armazenamento dos cogumelos. Entretanto, a taxa de 4,5 kGy h^{-1} conservou por mais tempo outros aspectos de qualidade, como a brancura e o grau de abertura do píleo, importantes na aceitação do produto pelo consumidor, sendo considerada desta forma a taxa de dose mais adequada.

3.8 Avaliação sensorial

A qualidade em frutas e hortaliças corresponde ao conjunto de atributos e propriedades que as tornam apreciadas como alimento. Porém torna-se difícil defini-la por ser variável entre os produtos e, mesmo em um produto isolado, depender do mercado consumidor, cujo julgamento da qualidade é fundamental para sua aceitação (CHITARRA; CHITARRA, 2005).

As propriedades sensoriais dos alimentos têm sido muito valorizadas nas últimas décadas, pois determinam a aceitabilidade do produto no mercado consumidor e, portanto, sua viabilidade econômica (GURGEL, 2000). Em adição às características sensoriais, os consumidores também estão mais exigentes em relação à qualidade nutricional do que irão consumir (GIL et al., 2006).

As propriedades sensoriais são os atributos dos alimentos detectados por meio dos sentidos, como visão, olfato, paladar e audição. A aparência geral, textura e cor são propriedades sensoriais muito importantes de um alimento, sendo mais fáceis de avaliar do que o sabor, pois este se constitui em um fenômeno complexo e dinâmico, relacionando principalmente o olfato e o gosto. O olfato compõe a

fisiologia do sabor, pois o aroma é o primeiro atributo a ser percebido, anterior ao gosto. Um odor inadequado pode interferir ou modificar um determinado sabor (LOZANO, 1999). O grau de aceitabilidade de um alimento por parte dos consumidores pode ser afetado por fatores próprios dos indivíduos e do ambiente que os circundam, como a sensibilidade individual, a idade do provador, sua saúde, a identificação com o produto avaliado, a higiene e local de consumo, o tipo e o número de acompanhantes, entre outros aspectos (DASSO, 1999).

A proposta inicial dos testes afetivos ou hedônicos é a obtenção de respostas (preferência ou aceitação) para um determinado produto avaliado ou característica específica do mesmo, podendo também avaliar atitudes subjetivas de forma individual ou em relação a outros indivíduos. São utilizados quando se necessita conhecer o “status afetivo” dos consumidores em relação ao produto, e para isso são utilizadas escalas hedônicas previamente estabelecidas, que variam gradativamente, com base nos atributos gosto e desgosto (CHAVE; SPROESSER, 1996). De posse dos valores relativos de aceitabilidade dos testes pode-se inferir a preferência, ou seja, as amostras mais aceitas são as mais preferidas (MEILGAARD et al., 1999). Também, de acordo com Bobbio e Bobbio (2001), os primeiros parâmetros a serem analisados deverão ser a cor e seu aspecto geral, por serem quesitos importantes na preferência dos consumidores. Os demais atributos (aroma, sabor e textura) são importantes na aceitação do alimento, devendo ser analisados após a observação geral do alimento *in natura* ou processado.

O composto volátil 1,3-octenol, descrito sensorialmente como “aroma de cogumelo”, está presente na maioria dos cogumelos comestíveis e pode ser considerado o componente do aroma mais importante em cogumelos frescos. Ele pode ser oxidado em determinadas situações, transformando-se parcialmente no

composto volátil 1,3-octenona, responsável pelo aroma descrito como cogumelo cozido em análises sensoriais do produto. Em grandes concentrações, pode conferir ao cogumelo aroma metálico, fato bastante comum em cogumelos processados termicamente ou armazenados durante longos períodos na forma desidratada ou em conserva, de acordo com Pyysalo e Suihko (1976).

3.9 Legislação para alimentos irradiados

O Decreto-Lei nº 986, de 21 de outubro de 1969, definia alimento irradiado como sendo todo alimento intencionalmente submetido à ação de radiações ionizantes, com a finalidade de preservação ou para outros fins lícitos, obedecidas as normas que viessem a ser elaboradas pelo órgão competente do Ministério da Saúde (BRASIL, 1969).

As normas gerais para a irradiação de alimentos no Brasil foram estabelecidas pelo Decreto nº 72.718, de 29 de agosto de 1973, visando a segurança do consumidor, o estudo dos efeitos da irradiação sobre a qualidade nutricional do alimento em comparação às perdas de nutrientes por processos convencionais, a sanidade do alimento irradiado e a eficiência da irradiação para a finalidade que se pretendesse atingir (BRASIL, 1973).

A Portaria nº 09 DINAL do Ministério da Saúde, de 8 de março de 1985, estabeleceu os tipos de alimentos que poderiam ser irradiados, bem como as doses médias de radiação. A Portaria nº 30 de 25 de setembro de 1989, complementação da Portaria nº 09, determinou o limite superior de irradiação de 10 kGy e incluiu as frutas e o tomate na relação de produtos que poderiam ser irradiados.

A legislação vigente é a de 26 de janeiro de 2001, revogando as portarias nº 9 e 30 do Ministério da Saúde. Foi aprovada pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) a Resolução RDC nº 21, onde consta o Regulamento Técnico para Irradiação de Alimentos, cujo objetivo é estabelecer os requisitos gerais para o uso da irradiação de alimentos, visando a qualidade sanitária do produto final e aplicando-se a todos os alimentos tratados por irradiação. A legislação prevê que todo alimento poderá ser irradiado com qualquer dose, desde que a dose mínima atinja o efeito desejado para determinado propósito e a dose máxima não prejudique a qualidade sensorial e nutricional do produto tratado (BRASIL, 2001).

Ainda de acordo com o regulamento técnico, a irradiação de alimentos consiste num processo físico que submete o alimento, já embalado ou a granel, a doses controladas de radiação ionizante, com finalidades sanitária, fitossanitária e tecnológica. A denominação dos alimentos tratados por irradiação deverá ser a designação do alimento convencional de acordo com a legislação específica. A embalagem também deverá apresentar condições higiênicas aceitáveis, ser apropriada para o procedimento da irradiação e, além disso, na rotulagem deverá constar no painel principal “Alimento tratado por processo de irradiação”, com as letras de tamanho não inferior a um terço da letra de maior tamanho nos dizeres de rotulagem. Também quando um produto irradiado for utilizado como ingrediente em outro alimento, deverá ser declarado na lista de ingredientes, entre parênteses, após o nome do mesmo. A irradiação, assim como qualquer outro processo de tratamento de alimentos, não deve ser utilizada em substituição às boas práticas agrícolas e de fabricação.

Quanto aos cogumelos comestíveis (BRASIL, 1997), a legislação prevê que deverão apresentar consistência adequada e aspecto sadio além de não conter

detritos do substrato utilizado para o cultivo e nem apresentar odores estranhos ou fermentações. As características organolépticas podem variar em função da espécie, e deverão apresentar-se livres de sujidades, parasitos e larvas.

Desta forma, a irradiação do cogumelo *Pleurotus sajor-caju* com doses de 125, 250, 500 e 750 Gy está de acordo com as normas nacionais e internacionais de irradiação de alimentos.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Material

A pesquisa foi desenvolvida no Laboratório de Frutas e Hortaliças do Departamento de Agroindústria, Alimentos e Nutrição da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ-USP), em Piracicaba - SP.

Os cogumelos *Pleurotus sajor-caju* foram cultivados em substrato de bagaço de cana-de-açúcar pasteurizado, acondicionados em embalagens de 250 g envoltas em filme de PVC e adquiridos no município de Piracicaba, aproximadamente 24 horas após a colheita pelos produtores.

Os cogumelos foram transportados em caixas de isopor com gelo picado para o Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN) da Universidade de São Paulo, onde foram irradiados com doses de 125, 250, 500 e 750 Gy em irradiador de Cobalto-60, tipo Gammacell 220 e taxa de dose 3,25 kGy h^{-1}. O controle (não irradiado) e demais tratamentos foram mantidos a 4±1ºC e 90% de umidade relativa (UR) em câmara climatizada para a realização das analises físico-químicas no 1º, 5º e 10º dia de armazenamento. Para as análises de atividade respiratória, microbiológica e sensorial, a irradiação das amostras foi conduzida no Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA) da Universidade de São Paulo, em irradiador de Cobalto-60, tipo Gammacell 220 e taxa de dose de 0,740 kGy h^{-1}. A aquisição, procedimentos e doses aplicadas foram iguais à primeira irradiação. As análises microbiológicas foram realizadas previamente à irradiação, para a caracterização das amostras, imediatamente após a irradiação e no décimo dia de armazenamento.

A atividade respiratória foi determinada imediatamente após a irradiação das amostras e a cada 24 horas até o término do experimento.

4.2 Análises físico-químicas

4.2.1 Composição centesimal

4.2.1.1 Umidade

Foi calculada através da perda de massa durante a secagem das amostras em estufa a 105°C, até obtenção de peso constante, expressa em porcentagem (AOAC, 1995).

4.2.1.2 Proteína bruta

Foi determinada através do método micro-Kjeldahl, descrito por Silva (1990), dividido nas etapas de digestão, destilação e titulação com ácido sulfúrico 0,02N, obtendo-se o teor de nitrogênio da amostra seca. A proteína bruta das amostras foi calculada com o fator de conversão 4,38 x N (FUJIHARA et al., 1995) e expressa em porcentagem na M.S.

4.2.1.3 Extrato etéreo

Foi determinado por meio da extração da gordura das amostras secas com solvente a quente, em aparelho Soxhlet. O solvente foi eliminado por evaporação e a gordura extraída foi quantificada pela diferença na pesagem dos balões volumétricos (SILVA, 1990).

4.2.1.4 Fibra bruta

Foi determinada como o peso do resíduo seco após digestão ácida e alcalina das amostras secas e desengorduradas (SILVA, 1990). Através deste método foram estimadas a celulose e a lignina insolúvel em álcali, expressas em porcentagem da M.S.; a porcentagem de hemicelulose e lignina solúvel estão incluídas no grupo dos extratos não nitrogenados, juntamente com pectina, amidos e carboidratos solúveis em água.

4.2.1.5 Cinzas

Foi determinada por cálculo gravimétrico, com o peso do resíduo seco após incineração em mufla da amostra seca até peso constante a 550-600°C, segundo o método da AOAC (1995).

4.2.2 Potencial hidrogeniônico

O potencial hidrogeniônico (pH) foi obtido em potenciômetro Tecnal, modelo TEC-3MP, a partir de amostras liquefeitas, com compensação de temperatura a 20ºC, segundo Pregnolatto e Pregnolatto (1985).

4.2.3 Sólidos solúveis

Os teores de sólidos solúveis (SS) foram obtidos com auxílio do refratômetro ATAGO, modelo N1, com compensação de temperatura a 20ºC e resultados expressos em ºBrix, de acordo com o método 37.1.15 da AOAC (1995).

4.2.4 Textura

A resistência das amostras foi avaliada em texturômetro Texture Test System, modelo TP-1, acoplado a um registrador automático de variação de força, operando em célula padrão de compressão de cisalhamento CS-1, com 10 lâminas de 1/8 polegadas de espessura e ângulo de 90°. As amostras foram previamente pesadas (20 g) e colocadas na célula teste de cisalhamento e compressão, de tal forma que as lâminas das células tivessem ação paralela às amostras. Foi utilizado o sensor em 300 lbf (libras-força) e a velocidade de descida do pistão foi de 4 cm min^{-1}. A força máxima de cisalhamento obtida na carta do registrador foi multiplicada pelo fator de posição do sensor eletrônico (3) e dividida pelo peso da amostra (g), com resultados expressos em lbf g^{-1} (NARDIM, 1999).

4.2.5 Cor

Utilizou-se colorímetro Minolta CR-400 para o registro de mudanças na tonalidade, brilho e saturação das amostras através do sistema L, a* e b* (Anexo A), previamente calibrado em superfície branca de acordo com padrões pré-estabelecidos (BIBLE; SINGHA, 1993; MUTSCHLER et al., 1992). Também foi calculado Croma (C), com $C=[(a^2 + b^2)^{½}]$, representando a hipotenusa de um triângulo retângulo com vértices (0,0); (a*,b*) e (a*,0) e o ângulo de cor h^0 (arctg b* a^{-1}), formado entre a hipotenusa e 0º no eixo a* (McGUIRE, 1992).

4.2.6 Atividade enzimática

A peroxidase (POD) e a polifenolxidase (PPO) foram determinadas pelo método descrito por Matsuno e Uritani (1972), com a leitura das amostras em espectrofotômetro Femto 432 C, em 470 e 395 nm, respectivamente. A POD e PPO foram estimadas baseando-se na oxidação da *p*-fenilendiamina pelo peróxido de hidrogênio e catecol, respectivamente, com resultados expressos em unidade produzida por grama de polpa fresca em 1 minuto de incubação (U g^{-1} min^{-1}), sendo que uma unidade foi definida como a mudança de 0, 001 na absorbância por minuto.

4.2.7 Atividade respiratória

Foi determinada em cromatógrafo gasoso, marca Thermo Finnigan, modelo Trace GC 2000, equipado com coluna Porapack N de 4 m de comprimento e detector de ionização de chama para análise de CO_2. Foram colocados aproximadamente 30 g de cogumelos em recipientes de vidro com capacidade de 600 mL, que permaneceram vedados com filme de PVC durante o armazenamento a 4±1ºC e 90% UR. Para a tomada das leituras, os filmes de PVC foram retirados e os recipientes fechados com tampa hermética durante 30 minutos. Após esse período, foram retiradas amostras de gás do interior dos frascos (1 mL) com seringa hermética, através de um septo de silicone na tampa. As amostras foram injetadas no cromatógrafo e o CO_2 foi quantificado pela calibração com padrões de 2150 e 29900 µL L^{-1}, com resultados expressos em mL kg^{-1} h^{-1}, levando-se em consideração o volume do frasco, a massa do cogumelo e o tempo de incubação.

4.3 Análises microbiológicas

4.3.1 Preparo das amostras e diluições

As análises foram realizadas com porções de 25 g de cogumelos, pesados assepticamente e acondicionados em sacos plásticos esterilizados com 225 mL de água peptonada (0,1%) estéril, constituindo a diluição 10^{-1} após agitação durante 2 minutos em homogeneizador peristáltico. Pipetando-se 1 mL da diluição 10^{-1} em 9 mL de água peptonada esterilizada (0,1%), obteve-se a diluição 10^{-2} e a partir desta, as diluições 10^{-3} a 10^{-6}.

4.3.2 Contagem de microrganismos psicrotróficos

Utilizou-se para a contagem de microrganismos psicrotróficos as diluições seriadas 10^{-3} a 10^{-6} em duplicatas, distribuídas em kits analíticos 'Simplate Total Plate Count Color Indicator' (TPC-CI) da BioControl Systems®, constituído por meio de cultura desidratado e placas estéreis contendo 84 cavidades. Foram adicionados 1 mL da diluição e 9 mL do meio de cultura hidratado em cada placa, distribuindo-se o líquido homogeneamente nas cavidades através de movimentos circulares. Descartado o excesso de líquido, as placas foram invertidas e incubadas a 7ºC por 10 dias. Após esse período foi efetuada a contagem das cavidades positivas nas placas, que apresentaram coloração diferente do azul original, e determinou-se o NMP g^{-1} de alimento (Número Mais Provável) utilizando-se a tabela de conversão do método, de acordo com o Anexo 3.

4.3.3 Contagem de microrganismos do grupo coliformes totais e *E. coli*

Para a contagem de coliformes totais e *E. coli* foi utilizado o kit Simplate CEC, da BioControl Systems®, constituído por meio de cultura desidratado e placas estéreis, contendo 84 cavidades. Foram utilizadas as diluições seriadas 10^{-1} e 10^{-2}, adicionando-se 1 mL da amostra diluída e 9 mL do meio de cultura hidratado em cada placa, distribuindo-se homogeneamente o líquido nas cavidades através de movimentos circulares. As placas em duplicatas foram invertidas e incubadas a 35ºC por 24 horas. Após esse período, realizou-se a contagem das cavidades que apresentaram coloração vermelha ou rosa (resultado positivo para coliformes totais) e das cavidades positivas que apresentaram fluorescência sob lâmpada UV de 365 nm (resultado positivo para *E. coli*). Utilizou-se a tabela de conversão do método (Anexo 3) para determinar o resultado da contagem de coliformes totais e de *E. coli* das amostras, expressos em NMP g^{-1} de alimento.

4.4 Análise sensorial

As características sensoriais dos cogumelos irradiados foram determinadas por 25 provadores não treinados, utilizando-se o Teste de Aceitabilidade, com escala hedônica de 9 pontos (9=gostei extremamente, 5=não gostei nem desgostei e 1=desgostei extremamente) para os atributos cor, aroma e aparência geral (POSTE et al., 1991). As amostras foram acondicionadas em recipientes plásticos numerados com algarismos de três dígitos e apresentadas aos provadores, juntamente com as fichas de avaliação (Anexo B), em cabines individuais com iluminação de lâmpadas fluorescentes.

4.5 Delineamento experimental

As amostras foram analisadas em condições semelhantes, inteiramente ao acaso, em três etapas sem reposição de amostras, com esquema fatorial de 5 tratamentos x 3 repetições x 3 dias de avaliação para as análises físico-química, microbiológica e sensorial. Os resultados foram submetidos à análise de variância utilizando-se o programa estatístico SAS (SAS, 1998). As médias foram comparadas entre si pelo teste de Tukey, adotando-se o nível de 5% de probabilidade. Para a atividade respiratória adotou-se esquema fatorial de 5 tratamentos x 3 repetições x 9 dias de avaliação e a partir dos resultados foram obtidas as equações de regressão e coeficientes de determinação.

5 RESULTADOS E DISCUSSÂO

Os dados obtidos nas análises físico-químicas e sensoriais foram submetidos à análise de variância e as significâncias (F) se encontram na Tabela 1.

Tabela 1 – Significâncias das análises físico-químicas e sensoriais em cogumelos *Pleurotus sajor-caju* irradiados com diferentes doses, em relação aos tratamentos, períodos de avaliação e interação tratamentos x períodos.

Causa de variação	Valor de F								
	U	PB	EE	FB	Cinz	pH	SS	Text.	L
Tratamentos (doses)	ns	ns	ns	*	ns	*	*	*	ns
Períodos avaliação	*	ns	ns	ns	*	ns	*	ns	ns
Tratamentos x Períodos	*	ns	ns	*	ns	*	*	*	*

Continua

Continuação

Causa de variação	Valor de F								
	a*	b*	C	h^0	PPO	POD	Arom.	Cor	Apar.
Tratamentos (doses)	ns	ns	ns	ns	*	*	*	*	*
Períodos avaliação	ns	*	*	ns	*	*	*	*	*
Tratamentos x Períodos	*	*	*	*	*	*	*	*	*

Nota: ns (não significativo); * (significativo a 5% de probabilidade).
Legenda: umidade (U); proteína bruta (PB); extrato etéreo (EE); fibra bruta (FB); cinzas (Cinz.); potencial hidrogeniônico (pH); sólidos solúveis (SS); textura (Text.); luminosidade (L); cor (a*, b*); croma (C); ângulo de cor (h^0); polifenoloxidase (PPO); peroxidase (POD); aroma (Arom.); cor (Cor) e aparência geral (Apar.).

5.1 Análises físico-químicas

5.1.1 Composição centesimal

5.1.1.1. Umidade

Os cogumelos frescos apresentam alto teor de umidade, com valores entre 85 e 90%. Esta variação deve-se principalmente a diferentes condições de cultivo, como temperatura ambiente, umidade relativa, e espécie cultivada. A elevada

umidade de cogumelos frescos tem sido considerada uma adaptação fisiológica para a manutenção da concentração osmótica celular, devido à presença de compostos como manitol e outras substâncias osmoticamente ativas em quantidades significativas (BANO; RAJARATHNAM, 1988).

Diversos trabalhos avaliaram a umidade em *Pleurotus* sp. *in natura*. Segundo Çaglarirmak (2007), o valor médio de umidade em *P. sajor-caju* cultivado em palha de trigo variou de 90,73 a 94,04%. Ragunathan e Swaminathan (2003) obtiveram valores semelhantes para *P. sajor-caju* cultivados em diferentes substratos, com médias de 93,08, 91,12, 90,14 e 91,03% para substratos com resíduo do cultivo de algodão, palha de milho, palha de sorgo e misto, respectivamente. A umidade dos basidiocarpos também foi avaliada por Bonatti et al. (2004) e Guo et al. (2007), obtendo-se valores médios de 83,17 e 88,08% para *P. sajor-caju* cultivados em palha de arroz e folha de bananeira, e de 82,21, 91,11, 87,74 e 90,53% para *P. djamor*, *P. ferulae*, *P. nebrodensis* e *P. sapidus*, respectivamente.

A irradiação de *Agaricus bisporus* com dose de 1 kGy não interferiu na umidade dos basidiocarpos armazenados a 1ºC por 4 dias, com valores médios de umidade de 89,44 e 88,52% para a dose de 1 kGy e controle, respectivamente (CAMPBELL et al., 1968).

No presente trabalho, foram obtidos valores de umidade entre 89 e 92,05% para *P. sajor-caju*, de acordo com a Tabela 2. As amostras irradiadas com 250 Gy apresentaram o maior valor médio (91,23%) e com 750 Gy o menor valor (90,57%). Durante o período final de armazenamento (dia 10) ocorreu redução da umidade nas amostras irradiadas com 750 Gy e controle, com médias de 89 e 89,07%, respectivamente, diferindo dos demais tratamentos, de acordo com a Tabela 2. Os

valores de umidade encontrados estão em concordância com a literatura, assim como a redução da umidade durante o armazenamento, no 10º dia de avaliação.

Tabela 2 - Umidade (%) de cogumelos *Pleurotus sajor-caju* irradiados com diferentes doses, armazenados a 4±1ºC durante 10 dias.

	Período (dias)									
Dose (Gy)	1			5			10			Médias
0	91,67	A	a	91,78	A	a	89,07	A	b	90,84
125	90,33	A	a	91,42	A	a	90,03	A	a	90,60
250	91,33	A	a	91,36	A	a	91,00	A	a	91,23
500	91,67	A	a	91,67	A	a	90,33	A	a	91,22
750	90,67	A	ab	92,05	A	a	89,00	A	b	90,57
Médias	91,13			91,66			89,89			
CV(%): 1,78										

Nota: Letras maiúsculas distintas diferem ao nível de 5% de probabilidade entre os tratamentos e letras minúsculas distintas diferem ao nível de 5% de probabilidade entre os dias, pelo Teste de Tukey.

5.1.1.2 Proteína bruta

Diversos autores analisaram o conteúdo protéico do gênero *Pleurotus*, utilizando o fator 4,38% para a conversão do nitrogênio total em proteína bruta. Çaglarirmak (2007) encontrou valor médio de 21,76±0,31% na M.S. para *P. sajor-caju* cultivados em palha de trigo, enquanto que Bonati et al. (2004) obtiveram menores médias para *P. sajor-caju* cultivados em palha de arroz e folha da bananeira, com valores de 18,40 e 13,0% na M.S., respectivamente. Já Ragunathan e Swaminathan (2003) obtiveram médias superiores às citadas, com valores de 31,4, 44,3, 36,2 e 38,3% de proteína bruta em *P. sajor-caju* cultivados em resíduos do cultivo de algodão, palha de milho, palha de sorgo e misto, respectivamente.

A composição centesimal de diferentes espécies do gênero *Pleurotus* também foi avaliada por Guo et al. (2007). Os autores encontraram valores médios de proteína bruta de 15,6, 30,3, 27,7 e 12,3% na M.S. para *P. djamor*, *P. ferulae*, *P. nebrodensis* e *P. sapidus*, respectivamente, enquanto que Akindahunsi e Oyetayo (2006) obtiveram valor médio de 13,8±0,5% para *P. tuber-regium*.

De acordo com a Tabela 3, os valores médios de proteína bruta variaram de 19,99 a 21,53% entre os tratamentos e de 20,41 a 21,26% entre os períodos de avaliação, não diferindo significativamente entre as amostras. A irradiação com diferentes doses, assim como o armazenamento, não tiveram influência sobre a proteína bruta de *P. sajor-caju*, apresentando valores intermediários aos encontrados na literatura para *Pleurotus* sp. não irradiado. Variações no valor de proteína bruta podem ocorrer devido à utilização de diferentes substratos de cultivo e linhagens, de acordo com Sturion e Ranzani (1997).

Tabela 3 - Proteína bruta (%MS) de cogumelos *Pleurotus sajor-caju* irradiados com diferentes doses, armazenados a 4±1ºC durante 10 dias.

	Período (dias)			
Dose (Gy)	1	5	10	Médias
0	20,85	21,67	20,99	21,17 A
125	21,53	21,12	20,03	20,89 A
250	20,71	22,76	21,12	21,53 A
500	19,62	20,71	19,76	20,03 A
750	19,76	20,03	20,17	19,99 A
Médias	20,49 a	21,26 a	20,41 a	
CV(%): 8,9				

Nota: Letras maiúsculas distintas diferem ao nível de 5% de probabilidade entre os tratamentos e letras minúsculas distintas diferem ao nível de 5% de probabilidade entre os dias, pelo Teste de Tukey.

5.1.1.3 Extrato etéreo

Ragunathan e Swaminathan (2003) avaliaram a composição centesimal de *Pleurotus sajor-caju*, obtendo valores médios de 0,95, 1,22, 1,41 e 1,19% de extrato etéreo na M.S. para os substratos com resíduos do cultivo de algodão, palha de milho, palha de sorgo e misto, respectivamente. Valores semelhantes foram encontrados por Akindahunsi e Oyetayo (2006), com média de 1,1±0,1% de extrato etéreo na M.S. para *P. tuber-regium*. Já Bonatti et al. (2004) encontraram maiores médias para *P. sajor-caju* cultivados em folha da bananeira e palha de arroz, 4,99 e 5,26% na M.S., respectivamente e Guo et al. (2007) obtiveram valores de 1,65, 5,71,

7,35 e 4,85% de extrato etéreo na M.S. para *P. djamor*, *P. ferulae*, *P. nebrodensis* e *P. sapidus*.

Neste trabalho, os valores médios de extrato etéreo variaram de 1,63 a 1,75% entre os tratamentos e de 1,66 a 1,71% na M.S. entre os períodos de avaliação, não diferindo significativamente entre as amostras, de acordo com a Tabela 4. A irradiação com diferentes doses, assim como o período de armazenamento, não tiveram influência sobre o teor de extrato etéreo de *P. sajor-caju*, apresentando valores coerentes com os resultados obtidos nos trabalhos citados.

Tabela 4 - Extrato etéreo (%MS) de cogumelos *Pleurotus sajor-caju* irradiados com diferentes doses, armazenados a 4±1ºC durante 10 dias.

	Período (dias)			
Dose (Gy)	1	5	10	Médias
0	1,58	1,78	1,51	1,63 A
125	1,63	1,77	1,69	1,70 A
250	1,67	1,68	1,70	1,68 A
500	1,68	1,59	1,68	1,65 A
750	1,76	1,73	1,76	1,75 A
Médias	1,66 a	1,71 a	1,67 a	
CV(%): 18,75				

Nota: Letras maiúsculas distintas diferem ao nível de 5% de probabilidade entre os tratamentos e letras minúsculas distintas diferem ao nível de 5% de probabilidade entre os dias, pelo Teste de Tukey.

5.1.1.4 Fibra bruta

O teor de fibra bruta em *Pleurotus* sp. foi avaliado em diversos trabalhos. Ragunathan e Swaminathan (2003) avaliaram a composição centesimal de *Pleurotus sajor-caju*, obtendo valores médios de 20,48, 16,40, 15,0 e 16,20% de fibra bruta na M.S. para os substratos de resíduo do cultivo de algodão, palha de milho, palha de sorgo e misto, respectivamente. Valores semelhantes foram encontrados por Guo et al. (2007), com 17,2, 11,2, 15,7 e 12,3% de fibra bruta na M.S. para *P. djamor*, *P. ferulae*, *P. nebrodensis* e *P. sapidus*, respectivamente. Já Bonatti et al. (2004) encontraram menores valores para *P. sajor-caju* cultivados em

folha da bananeira e palha de arroz, com médias de 7,60 e 9,60% de fibra bruta na M.S.

No presente trabalho, os cogumelos *P. sajor-caju* apresentaram valores médios de fibra bruta entre 9,43 e 10,89% entre os tratamentos e de 9,94 a 10,41% entre os dias de avaliação, conforme a Tabela 5. Os valores encontrados apresentaram diferença significativa entre os tratamentos durante o último período de avaliação, com os menores valores de fibra bruta nas doses de 125 Gy (8,86%) e 500 Gy (9,01%). Os valores de fibra bruta observados estão de acordo com a literatura, semelhantes aos valores observados no trabalho de Bonatti et al. (2004).

Tabela 5 - Fibra bruta (%MS) de cogumelos *Pleurotus sajor-caju* irradiados com diferentes doses, armazenados a 4±1ºC durante 10 dias.

	Período (dias)									
Dose (Gy)	1			5			10			Médias
0	10,90	A	a	10,76	A	a	11,02	A	a	10,89
125	9,77	A	a	9,66	A	a	8,86	B	a	9,43
250	11,23	A	a	9,65	A	a	10,44	A	a	10,44
500	10,03	A	a	10,68	A	a	9,01	B	a	9,90
750	10,13	A	a	10,52	A	a	10,38	A	a	10,34
Médias	10,41			10,25			9,94			
CV(%): 7,20										

Nota: Letras maiúsculas distintas diferem ao nível de 5% de probabilidade entre os tratamentos e letras minúsculas distintas diferem ao nível de 5% de probabilidade entre os dias, pelo Teste de Tukey.

5.1.1.5 Cinzas

O conteúdo de cinzas foi avaliado por Guo et al. (2007) em diferentes espécies do gênero *Pleurotus*. Os autores encontraram valores médios de 5,83, 4,96, 3,84 e 5,32% para *P. djamor*, *P. ferulae*, *P. nebrodensis* e *P. sapidus*, respectivamente, semelhantes ao obtido por Akindahunsi e Oyetayo (2006) para *P. tuber-regium*, de 4,9±0,1%.

De acordo com Çaglarirmak (2007), o valor médio de cinzas foi de 1,13±0,03% para *P. sajor-caju* cultivado em palha de trigo. Entretanto, Ragunathan e

Swaminathan (2003) obtiveram valores mais elevados para *P. sajor-caju* cultivados em diferentes substratos, com médias de 8,40, 6,40, 5,40 e 7,00% para os substratos com resíduos do cultivo do algodão, palha de milho, palha de sorgo e mistos, respectivamente. Bonatti et al. (2004) também obtiveram valores semelhantes para cinzas em *P. sajor-caju* cultivados em palha de arroz ou palha da folha da bananeira, com valores médios de 5,14 e 5,59%, respectivamente.

Conforme a Tabela 6, os valores médios de cinzas de *P. sajor-caju* variaram de 7,68 a 8,32% entre os tratamentos e de 7,67 a 8,34% entre os períodos de avaliação, em acordo com os resultados obtidos por Ragunathan e Swaminathan (2003). A irradiação com diferentes doses não alterou o conteúdo de cinzas entre os tratamentos, porém os valores médios foram significativamente diferentes entre o 1º e 10º dia de avaliação, com a menor média (7,67%) no último dia de armazenamento.

Tabela 6 - Cinzas (%MS) de cogumelos *Pleurotus sajor-caju* irradiados com diferentes doses, armazenados a 4±1ºC durante 10 dias.

	Período (dias)			
Dose (Gy)	1	5	10	Médias
0	8,43	8,52	8,20	8,32 A
125	8,65	8,03	7,40	8,03 A
250	8,59	7,81	8,12	8,17 A
500	8,01	7,89	7,36	7,75 A
750	7,84	7,80	7,45	7,68 A
Médias	8,34 a	8,01 ab	7,67 b	
CV(%): 6,17				

Nota: Letras maiúsculas distintas diferem ao nível de 5% de probabilidade entre os tratamentos e letras minúsculas distintas diferem ao nível de 5% de probabilidade entre os dias, pelo Teste de Tukey.

Apesar das diferenças estatísticas verificadas em algumas análises da composição centesimal, pode-se inferir que as doses de irradiação (125, 250, 500 e 750 Gy) não modificaram o conteúdo de umidade, proteína bruta, extrato etéreo, cinzas e fibras dos cogumelos *P. sajor-caju*, estando estes resultados em acordo

com a afirmação do Grupo Consultivo Internacional sobre Irradiação de Alimentos, de que a irradiação com doses de até 10 kGy não gera modificações nutricionais e toxicológicas significativas nos alimentos (FAO, 1999).

5.1.2 Potencial hidrogeniônico e sólidos solúveis

O conteúdo de sólidos solúveis presente no cogumelo comestível *Agrocybe chaxingu* foi avaliado por Li et al. (2007), obtendo-se valores de 5,8 a 6,2ºBrix para os cogumelos armazenados a 3ºC. Villaescusa e Gil (2003) também avaliaram o teor de sólidos solúveis e pH em cogumelos *Pleurotus* sp. armazenados a 4ºC, encontrando inicialmente os valores médios de 6,3ºBrix e pH 6,3, que diferiram significativamente dos valores obtidos no sétimo dia de armazenamento, com 6,0ºBrix e pH 6,6.

Os valores de pH encontrados no presente trabalho variaram de 6,06 a 6,54 entre os tratamentos e de 6,08 a 6,38 entre os períodos de avaliação, caracterizando o cogumelo como um alimento neutro. De acordo com a Tabela 7, os valores de pH apresentaram variações significativas entre os tratamentos e entre os dias de avaliação. O maior valor de pH foi observado nas amostras irradiadas com 125 Gy no 5º dia (7,24) e o menor valor foi registrado no 10º dia, com dose de 500 Gy (5,83). Apesar das diferenças estatísticas observadas entre os tratamentos, as amostras apresentaram valores neutros de pH, em conformidade com os valores encontrados por Villaescusa e Gil (2003) e Li et al. (2007).

Entretanto, os valores médios de sólidos solúveis encontrados neste trabalho foram menores que os citados em literatura, variando de 4,10 a 5,37ºBrix entre os tratamentos e de 4,0 a 5,68ºBrix entre os dias, conforme a Tabela 7. Verificou-se o

aumento na concentração de sólidos solúveis durante o período de armazenamento, apesar da redução observada na dose de 750 Gy nos dias 5 e 10, com 3,80 e 5,40°Brix, respectivamente. O aumento na concentração dos sólidos solúveis em alguns tratamentos pode estar relacionado à redução da umidade nos basidiocarpos durante o período de armazenamento, como observado neste experimento.

Tabela 7 - Potencial hidrogeniônico (pH) e sólidos solúveis (ºBrix) de cogumelos *Pleurotus sajor-caju* irradiados com diferentes doses, armazenados a 4±1ºC durante 10 dias.

Dose (Gy)	Período (dias) 1			5			10			Médias
	Potencial hidrogeniônico (pH)									
0	6,16	B	a	6,28	B	a	6,13	A	a	6,19
125	6,26	A	b	7,24	A	a	6,11	A	c	6,54
250	6,15	B	ab	6,06	C	b	6,20	A	a	6,14
500	6,23	AB	a	6,11	BC	b	5,83	B	c	6,06
750	6,15	B	a	6,21	BC	a	6,15	A	a	6,17
Médias	6,19			6,38			6,08			
CV(%): 0,86										
	Sólidos solúveis (ºBrix)									
0	5,20	A	a	5,00	A	a	5,90	AB	a	5,37
125	3,10	A	b	4,80	AB	a	5,50	AB	a	4,47
250	4,60	A	a	5,20	A	a	6,00	A	a	5,27
500	4,00	A	b	5,00	A	a	5,60	AB	a	4,87
750	3,10	A	b	3,80	B	b	5,40	B	a	4,10
Médias	4,00			4,76			5,68			
CV(%): 12,87										

Nota: Letras maiúsculas distintas diferem ao nível de 5% de probabilidade entre os tratamentos e letras minúsculas distintas diferem ao nível de 5% de probabilidade entre os dias, pelo Teste de Tukey.

5.1.3 Textura

A textura de *P. sajor-caju* cultivado em palha de trigo foi avaliada por Çaglarirmak (2007), obtendo-se valores médios de 0,30 a 0,33 kg mm^2, indicando, segundo o autor, maciez e delicadeza dos basidiocarpos. A perda de massa e textura também foram avaliadas por Narvaiz (1994) em *A. campestris* armazenados a 10ºC. A textura e massa dos cogumelos foram reduzidas durante o período de

armazenamento, porém, sem diferença significativa em relação ao controle, indicando que a irradiação não afetou os parâmetros analisados.

Neste trabalho, a textura apresentou valores médios de 0,46 a 0,54 lbf g^{-1} entre os períodos de avaliação e 0,43 a 0,57 lbf g^{-1} entre os tratamentos, de acordo com a Tabela 8. O controle apresentou os maiores valores de textura nos dias 5 e 10 (0,63 e 0,55 lbf g^{-1}, respectivamente), e o menor valor foi observado nas amostras irradiadas com 125 Gy no dia 10 (0,36 lbf g^{-1}), seguido das amostras irradiadas com 750 Gy no dia 5 (0,41 lbf g^{-1}). Apesar da variabilidade natural dos basidiocarpos em relação às características físicas e morfológicas, como tamanho, espessura e massa, pode-se observar neste trabalho que tanto a irradiação como o período de armazenamento influenciaram a textura dos cogumelos, diferentemente dos resultados encontrados por Narvaiz (1994).

Tabela 8 - Textura (lbf g^{-1}) de cogumelos *Pleurotus sajor-caju* irradiados com diferentes doses, armazenados a 4±1ºC durante 10 dias.

	Textura (lbf g^{-1})								
	Período (dias)								
Dose (Gy)	1			5			10			Médias
0	0,45	A	b	0,63	A	a	0,58	A	ab	0,55
125	0,46	A	a	0,46	AB	a	0,36	B	a	0,43
250	0,66	A	a	0,58	AB	a	0,46	AB	a	0,57
500	0,63	A	a	0,60	A	a	0,43	AB	b	0,55
750	0,48	A	a	0,41	B	a	0,46	AB	a	0,45
Médias	0,54			0,54			0,46			
CV(%): 14,57										

Nota: Letras maiúsculas distintas diferem ao nível de 5% de probabilidade entre os tratamentos e letras minúsculas distintas diferem ao nível de 5% de probabilidade entre os dias, pelo Teste de Tukey.

5.1.4 Cor

Os cogumelos *A. bisporus* normalmente apresentam valores de a* entre 0 e 1 e valores de b* entre 6 e 15, indicando um suave tom amarelado dos basidiocarpos (BURTON et al., 2000). Entretanto, a tonalidade natural de *P. sajor-caju* varia de

cinza escuro a castanho claro, no ápice de seu desenvolvimento. Moda et al. (2005) avaliaram a cor de *P. sajor-caju* tratado com soluções de ácido cítrico e peróxido de hidrogênio em relação ao controle (água destilada), armazenados a 4ºC durante 10 dias. Os autores registraram valores de a* entre -1,61 e -0,02, valores de b* entre 6,95 e 17,67 e valores de L entre 72,15 e 81,49, não observando diferença significativa entre os tratamentos, somente entre os períodos de avaliação, devido ao amarelecimento das amostras ao final do período de armazenamento.

Beaulieu et al. (2002) também avaliaram a luminosidade (L) em *A. bisporus* irradiados com dose de 2 kGy e diferentes taxas de irradiação (4,5 e 32 kGy h^{-1}), armazenados a 15ºC durante 7 dias. O valor L decresceu de 77 para 63 e de 76 para 56 nas taxas de 4,5 e 32 kGy h^{-1}, respectivamente, evidenciando o escurecimento das amostras em função da taxa de dose aplicada.

Neste trabalho, os cogumelos *P. sajor-caju* apresentaram valores médios de luminosidade de 74,02 a 78,82 entre os tratamentos e de 75,40 a 77,79 entre os dias de avaliação, de acordo com a Tabela 9. As amostras irradiadas com 750 Gy apresentaram o menor valor L no dia 10 (69,12), diferindo significativamente das amostras irradiadas com 125 Gy, no mesmo período. Os valores L observados neste trabalho estão de acordo com a literatura e indicam o escurecimento das amostras irradiadas com 750 Gy em relação aos demais tratamentos. Para o valor a*, foram obtidos valores médios de 1,00 a 1,70 entre os tratamentos e de 1,20 a 1,75 entre os períodos de avaliação, de acordo com a Tabela 9. O menor valor de a* foi obtido no dia 10 para as amostras irradiadas com 125 Gy (0,28) estando próximo ao ponto zero (0) no eixo a*, indicando tonalidade acinzentada ou acromática, de acordo com o diagrama de cromaticidade no Anexo A. Os valores médios de b* variaram de 14,42 a 19,15 entre os períodos e de 16,19 a17,69 entre os tratamentos, podendo-

se observar os valores de 20,95, 21,49 e 18,87 para as amostras irradiadas com 250, 750 Gy e controle, respectivamente, no dia 10, de acordo com a Tabela 9. Estes resultados indicam o amarelecimento das amostras durante o período de armazenamento, fato também observado por Moda et al. (2005).

Tabela 9 – Cor (L, a*, b*) de cogumelos *Pleurotus sajor-caju* irradiados com diferentes doses, armazenados a 4±1ºC durante 10 dias.

Dose (Gy)	Período (dias) 1			5			10			Médias
				Valor L						
0	73,29	A	a	74,90	A	a	73,87	AB	a	74,02
125	78,72	A	a	75,89	A	a	81,86	A	a	78,82
250	81,48	A	a	76,71	A	a	74,98	AB	a	77,72
500	75,55	A	a	81,29	A	a	77,20	AB	a	78,01
750	79,90	A	a	78,03	A	a	69,12	B	a	75,68
Médias	77,90			77,36			75,40			
CV(%): 6,13										
				Valor a*						
0	2,17	A	a	1,24	A	a	1,68	A	a	1,70
125	1,27	A	ab	1,46	A	a	0,28	A	b	1,00
250	0,96	A	a	1,33	A	a	2,13	A	a	1,47
500	2,02	A	a	0,64	A	a	2,07	A	a	1,57
750	0,63	A	a	1,32	A	a	2,61	A	a	1,52
Médias	1,41			1,20			1,75			
CV(%): 58,63										
				Valor b*						
0	14,74	A	b	16,85	A	ab	18,87	A	a	16,82
125	14,39	A	a	18,85	A	a	15,32	A	a	16,19
250	12,80	A	b	17,93	A	a	20,95	A	a	17,23
500	15,51	A	a	16,42	A	a	19,13	A	a	17,02
750	14,68	A	b	16,92	A	ab	21,49	A	a	17,69
Médias	14,42			17,39			19,15			
CV(%): 11,6										

Nota: Letras maiúsculas distintas diferem ao nível de 5% de probabilidade entre os tratamentos e letras minúsculas distintas diferem ao nível de 5% de probabilidade entre os dias, pelo Teste de Tukey.

O ângulo de cor (h^0) varia em função dos valores a* e b*, indicando o ângulo formado entre as coordenadas e 0^0 no eixo a*. Beaulieu et al. (1999) analisaram h^0 em *A. bisporus* irradiados com dose de 2 kGy nas taxas de 4,5 e 32 kGy h^{-1}, armazenados a 15ºC durante 11 dias. O valor hº decresceu para o controle,

passando de 84 para 79º ao final do período de armazenamento. Nos cogumelos irradiados com taxa de 4,5 kGy h^{-1}, passou de 86 para 78º e de 84 para 76º com taxa de 32 kGy h^{-1}, indicando a redução da tonalidade amarela nos cogumelos.

Os valores médios de hº observados neste trabalho variaram de 84,18 a 86,55º entre os tratamentos e de 84,60 a 86,13º entre os dias de avaliação, de acordo com a Tabela 10. As amostras irradiadas com 125 Gy apresentaram o maior valor h^0 no dia 10 (89,04), diferindo dos demais períodos de avaliação para este tratamento. Os demais tratamentos não apresentaram diferença significativa ao longo do armazenamento, e os valores encontrados indicaram a tonalidade amarelada dos cogumelos, de acordo com o diagrama no Anexo A.

Tabela 10 - Croma (C) e ângulo de cor (hº) de cogumelos *Pleurotus sajor-caju* irradiados com diferentes doses, armazenados a 4±1ºC durante 10 dias.

Croma (C)										
	Período (dias)									
Dose (Gy)	1			5			10			Médias
0	14,91	A	b	16,90	A	ab	18,98	A	a	16,93
125	14,45	A	a	18,91	A	a	15,32	A	a	16,23
250	12,84	A	b	17,99	A	a	21,07	A	a	17,30
500	15,64	A	a	16,45	A	a	19,25	A	a	17,12
750	14,71	A	b	16,97	A	ab	21,66	A	a	17,78
Médias	14,51			17,45			19,26			
CV(%): 11,75										
Ângulo h^0										
0	81,66	A	a	85,92	A	a	84,96	A	a	84,18
125	85,08	A	b	85,54	A	b	89,04	A	a	86,55
250	85,85	A	a	85,84	A	a	84,17	A	a	85,28
500	82,60	A	a	87,76	A	a	84,18	A	a	84,85
750	87,79	A	a	85,61	A	a	83,29	A	a	85,56
Médias	84,60			86,13			85,13			
CV(%): 2,95										

Nota: Letras maiúsculas distintas diferem ao nível de 5% de probabilidade entre os tratamentos e letras minúsculas distintas diferem ao nível de 5% de probabilidade entre os dias, pelo Teste de Tukey.

Para o valor C, foram obtidos neste trabalho valores médios de 16,23 a 17,78 entre os tratamentos e 14,51 a 19,25 entre os períodos de avaliação (Tabela 10). Os valores de C aumentaram significativamente durante o final do experimento nas

amostras irradiadas com 250, 750 Gy e controle; vale ressaltar que neste experimento, C variou principalmente em função do valor b*, indicando o amarelecimento das amostras no decorrer do período de armazenamento nos tratamentos citados.

5.1.5 Atividade enzimática

A atividade enzimática de cogumelos comestíveis foi avaliada em diversos trabalhos, estudando-se sua correlação com diferentes doses e taxas de irradiação. A atividade da polifenoloxidase foi avaliada em *A. bisporus* irradiados com doses de 0,5, 1,5 e 2,5 kGy, armazenados a 4ºC durante 12 dias, no trabalho de Benoit et al. (2000). Os cogumelos irradiados com doses de 1,5 e 2,5 kGy apresentaram redução significativa na atividade enzimática imediatamente após os tratamentos, em comparação ao controle e à dose de 0,5 kGy. Durante o período de armazenamento ocorreu o aumento da atividade em todas as amostras irradiadas, atingindo o nível máximo entre o 7º e 9º dias nas amostras irradiadas com doses de 0,5 e 1,5 kGy. O controle não apresentou diferença significativa na atividade enzimática durante o período de armazenamento, indicando desta forma o aumento da polifenoloxidase somente nas amostras irradiadas.

Beaulieu et al. (2002) também avaliaram a atividade da polifenoloxidase em *A. bisporus* irradiados com dose de 2 kGy em diferentes taxas de irradiação (4,5 e 32 kGy h^{-1}), armazenados a 15ºC durante o período de 11 dias. A atividade da enzima foi similar entre os tratamentos e controle no início do experimento, com redução significativa no 4º dia de armazenamento. Após este período, o controle apresentou a menor atividade enzimática até o final do armazenamento. De maneira geral, os cogumelos irradiados com taxa de 4,5 kGy h^{-1} apresentaram maior

atividade enzimática que os cogumelos irradiados com taxa de 32 kGy h^{-1}, exceto no 7º dia de armazenamento.

Mohapatra et al. (2007) avaliaram os efeitos de diferentes temperaturas de armazenamento na atividade enzimática de *A. bisporus*. Os resultados mostraram que a atividade da polifenoloxidase e peroxidase foram menores à temperatura de 4°C, reduzindo significativamente o escurecimento das amostras em relação ao controle e demais tratamentos.

Durante este trabalho foram obtidos valores médios de polifenoloxidase de 62,65 a 73,09 U g^{-1} min^{-1} entre os tratamentos, e de 52,34 a 89,91 U g^{-1} min^{-1} entre os períodos de avaliação, conforme a Tabela 11. Foi significativo o aumento da atividade da polifenoloxidase em todos os tratamentos no dia 10, com a dose de 250 Gy apresentando o maior valor (122,36 U g^{-1} min^{-1}) e o controle e dose de 750 Gy os menores valores (74,03 e 78,45 U g^{-1} min^{-1}, respectivamente) de atividade enzimática. Desta forma, pode-se observar a influência da irradiação na atividade enzimática durante o período final de armazenamento dos cogumelos, semelhante aos resultados encontrados para *A. bisporus* irradiados, nos trabalhos de Benoit et al. (2000) e Beaulieu et al. (2002). Isto pode ter ocorrido em função do aumento de compostos fenólicos devido à ativação do metabolismo fenilpropanóide nas amostras irradiadas até a dose de 750 Gy.

A atividade da peroxidase seguiu um padrão similar à da polifenoloxidase, com valores médios de 52,58 a 74,80 U g^{-1} min^{-1} entre os tratamentos e de 45,04 a 99,09 U g^{-1} min^{-1} entre os períodos de avaliação, conforme a Tabela 11. O aumento da peroxidase no dia 10 também foi significativo em todos os tratamentos, com a dose de 250 Gy apresentando o maior valor (136,67 U g^{-1} min^{-1}) e o controle e dose de 750 Gy os menores valores (77,73 e 82,93 U g^{-1} min^{-1}, respectivamente). Estes

resultados podem ter ocorrido devido ao aumento na concentração de peróxido de hidrogênio nas amostras irradiadas, formado durante o processo de radiólise da água, uma vez que os cogumelos apresentam elevada umidade no estado fresco. O aumento da peroxidase também pode estar relacionado com a atividade da polifenoloxidase, de acordo com o trabalho de Subramanian et al. (1999), onde foi sugerida a possibilidade de um relacionamento sinérgico entre estas enzimas.

Tabela 11 - Polifenoloxidase e peroxidase (U g^{-1} min^{-1}) de cogumelos *Pleurotus sajor-caju* irradiados com diferentes doses, armazenados a 4±1ºC durante 10 dias.

Dose (Gy)	Período (dias) 1			5			10			Médias
	Polifenoloxidase (U g^{-1} min^{-1})									
0	57,97	A	b	57,30	B	b	74,03	D	a	63,10
125	54,48	A	b	54,62	B	b	92,50	B	a	67,20
250	48,19	A	b	48,73	B	b	122,36	A	a	73,09
500	53,95	A	b	51,81	B	b	82,20	C	a	62,65
750	47,12	A	b	77,11	A	a	78,45	CD	a	67,56
Médias	52,34			57,91			89,91			
CV(%): 8,36										
	Peroxidase (U g^{-1} min^{-1})									
0	40,13	B	b	39,87	D	b	77,73	C	a	52,58
125	43,73	B	b	34,40	E	c	101,60	B	a	59,91
250	39,20	B	c	48,53	B	b	136,67	A	a	74,80
500	61,73	A	b	42,13	C	b	96,53	B	a	66,80
750	41,47	B	c	60,27	A	b	82,93	C	a	61,56
Médias	45,47			45,04			99,09			
CV(%): 6,86										

Nota: Letras maiúsculas distintas diferem ao nível de 5% de probabilidade entre os tratamentos e letras minúsculas distintas diferem ao nível de 5% de probabilidade entre os dias, pelo Teste de Tukey.

5.1.6 Atividade respiratória

Normalmente os cogumelos *in natura* apresentam elevada atividade respiratória, causando rápida senescência dos basidiocarpos e redução da vida útil em temperatura ambiente.

De acordo com a Figura 5, os cogumelos *P. sajor-caju* irradiados com dose de 125 Gy apresentaram maior atividade respiratória até o 5º dia de armazenamento, quando se equiparou ao controle. As amostras irradiadas com doses de 250, 500 e 750 Gy apresentaram atividade respiratória inferior ao controle do 3º dia de avaliação até o final do armazenamento. As análises foram interrompidas após o 8º dia devido à contaminação de algumas amostras, que poderiam alterar os resultados das leituras.

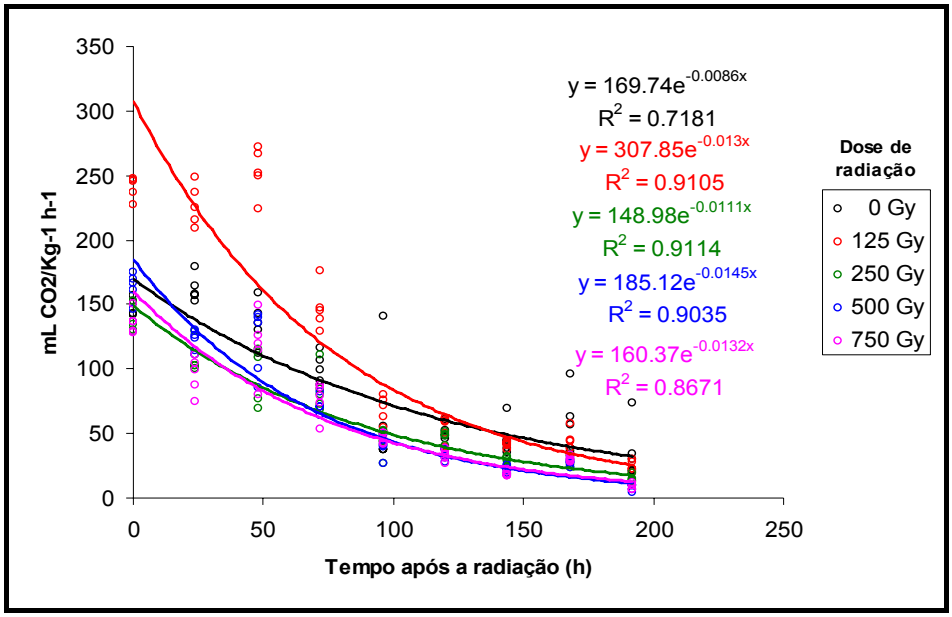


Figura 5. Atividade respiratória (mL kg^{-1} h^{-1}) de cogumelos *Pleurotus sajor-caju* irradiados com diferentes doses, armazenados a 4±1ºC durante 8 dias.

Os resultados encontrados foram semelhantes aos observados por Benoit et al. (2000), com a avaliação da atividade respiratória de *A. bisporus* irradiados com doses de 0,5, 1,5 e 2,5 kGy, durante o período de 8 dias. Após 24 horas da irradiação, os autores obtiveram valores de 135, 160 e 190 mL kg^{-1} min^{-1} de CO_2 para as amostras irradiadas com doses de 0,5, 1,5 e 2,5 kGy, respectivamente, enquanto o controle apresentou o valor de 85 mL kg^{-1} min^{-1}. A partir do 4º dia, observou-se que as maiores doses de irradiação apresentaram as menores taxas de

respiração, sendo significativamente menores em relação ao controle e à dose 0,5 kGy.

A redução da atividade respiratória em *P. sajor-caju* irradiados com doses de 250, 500 e 750 Gy pode ser relacionada com uma menor atividade metabólica dos cogumelos, podendo desta forma, promover o aumento da vida útil quando associado a outras variáveis, como umidade relativa e temperatura de armazenamento.

5.2 Análises microbiológicas

A dose de radiação necessária para controlar microrganismos em alimentos depende de diversos fatores, como a resistência particular de cada espécie e o grau de contaminação do alimento (FARKAS, 2006). Normalmente, a irradiação de cogumelos comestíveis é realizada com baixas doses de radiação, visando a redução do número de microrganismos deterioradores e o prolongamento de sua vida útil e qualidades sensoriais.

Neste trabalho, a contagem de microrganismos psicrotróficos foi reduzida em aproximadamente dois ciclos logarítmicos imediatamente após a irradiação nas doses de 125, 250 e 500 Gy, com 1,1 x 10^6, 7,5 x 10^4 e 1,3 x 10^4 NMP g^{-1}, respectivamente, de acordo com a Figura 6 e Tabela 12. Para a dose de 750 Gy, não se obteve contagem de psicrotróficos (< 2 NMP g^{-1}), indicando a redução de aproximadamente 6 ciclos logarítmicos imediatamente após a irradiação. Entretanto, ao final do experimento ocorreu recuperação do número de psicrotróficos em todos os tratamentos, com os maiores valores nas doses de 125, 250 e 500 Gy (4,7 x 10^8,

4,2 x 10^8 e 4,5 x 10^8 NMP g^{-1}, respectivamente) e o menor na dose de 750 Gy (4,6 x 10^4 NMP g^{-1}), de acordo com a Tabela 12.

Tabela 12 - Microrganismos psicrotróficos em cogumelos *Pleurotus sajor-caju* irradiados com diferentes doses, armazenados a 4±1ºC durante 10 dias.

	Psicrotróficos (NMP g^{-1})		
	Períodos (dias)		
Dose (Gy)	1 (antes irradiação)	1 (após irradiação)	10
0	1,8 × 10^5	nd	2,5 × 10^7
125	1,6 × 10^8	1,1 × 10^6	4,7 × 10^8
250	1,1 × 10^6	7,5 × 10^4	4,2 × 10^8
500	6,2 × 10^6	1,3 × 10^4	4,5 × 10^8
750	2,2 × 10^6	< 2	4,6× 10^4

Nota: não determinado (nd)

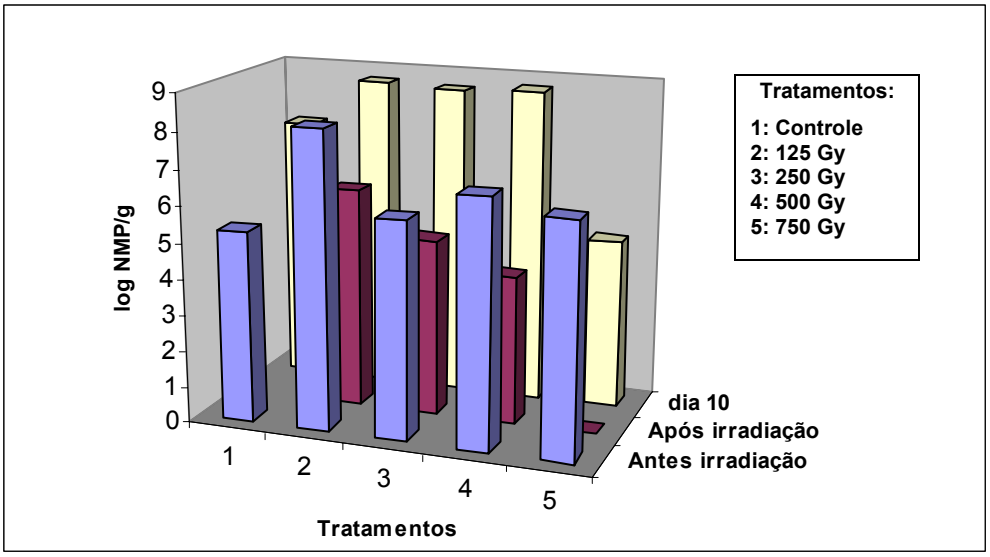


Figura 6. Microrganismos psicrotróficos (log NMP g^{-1}) em cogumelos *Pleurotus sajor-caju* irradiados com diferentes doses, armazenados a 4±1ºC durante 10 dias.

Apesar da alta contagem de psicrotróficos no final do período de armazenamento, estes valores podem somente ser relacionados às características sensoriais do cogumelo *in natura*, como alterações na aparência, aroma e sabor, resultando na perda de qualidade sensorial. Resultados semelhantes foram obtidos por Nazzaro et al. (2007) durante a avaliação do perfil microbiológico de trufas

negras (*T. aestivum*) irradiadas com doses de 1,5 e 2,0 kGy. Os autores realizaram as análises imediatamente após a irradiação e com 30 dias de armazenamento a 4°C. Houve redução de dois e três ciclos logarítmicos nas doses de 1,5 e 2,0 kGy, respectivamente, em relação ao controle, para a contagem total de bactérias mesófilas aeróbias. Após 30 dias, houve aumento de dois ciclos logarítmicos nas amostras irradiadas com 1,5 kGy, equiparando-se ao controle no mesmo período. Também foi observado aumento de um ciclo logarítmico nas amostras irradiadas com 2,0 kGy, embora nesta dose a contagem tenha sido menor em relação ao controle no mesmo período. Os resultados indicaram a redução das populações mesófilas em até três ciclos logarítmicos imediatamente após a irradiação das trufas frescas com recuperação total ou parcial destes microrganismos ao final do período de armazenamento nas amostras.

Durante este trabalho não foi encontrado *E. coli* em nenhum dos tratamentos durante o período de armazenamento dos cogumelos *P. sajor-caju*. De acordo com a Figura 7 e Tabela 13, observou-se a menor contagem de coliformes totais nas doses de 125 e 250 Gy (2,5 x 10 e 3,5 x 10 NMP g^{-1}), com redução de aproximadamente 3 ciclos logarítmicos imediatamente após a irradiação das amostras. Entretanto, estes tratamentos apresentaram recuperação do número de coliformes totais após 10 dias de armazenamento, semelhante às contagens anteriores à irradiação. As amostras irradiadas com 500 e 750 Gy não apresentaram recuperação dos microrganismos ao final do armazenamento, de acordo com a Tabela 13, podendo ser consideradas as doses mais apropriadas para a irradiação de *P. sajor-caju*. Estes resultados foram semelhantes aos observados por Nazzaro et al. (2007) em trufas negras irradiadas com 1,5 e 2,0 kGy. Os autores relataram a redução de três ciclos logarítmicos em relação ao controle nas amostras irradiadas

com doses de 1,5 e 2,0 kGy, na contagem de coliformes totais imediatamente após a irradiação. Este número manteve-se para as amostras irradiadas até o término do período de armazenamento (30 dias), evidenciando a eficiência de ambas as doses na redução do número de coliformes totais.

Tabela 13 - Coliformes totais em cogumelos *Pleurotus sajor-caju* irradiados com diferentes doses, armazenados a 4±1ºC durante 10 dias.

	Coliformes Totais (NMP g^{-1})		
	Períodos (dias)		
Dose (Gy)	1 (antes irradiação)	1 (após irradiação)	10
0	$2,9 \times 10^4$	nd	$2,6 \times 10^3$
125	$6,2 \times 10^4$	$2,5 \times 10$	$3,8 \times 10^4$
250	$1,4 \times 10^4$	$3,5 \times 10$	$6,7 \times 10^3$
500	$7,4 \times 10^4$	$3,6 \times 10^2$	< 2
750	$1,5 \times 10^3$	< 2	< 2

Nota: não determinado (nd)

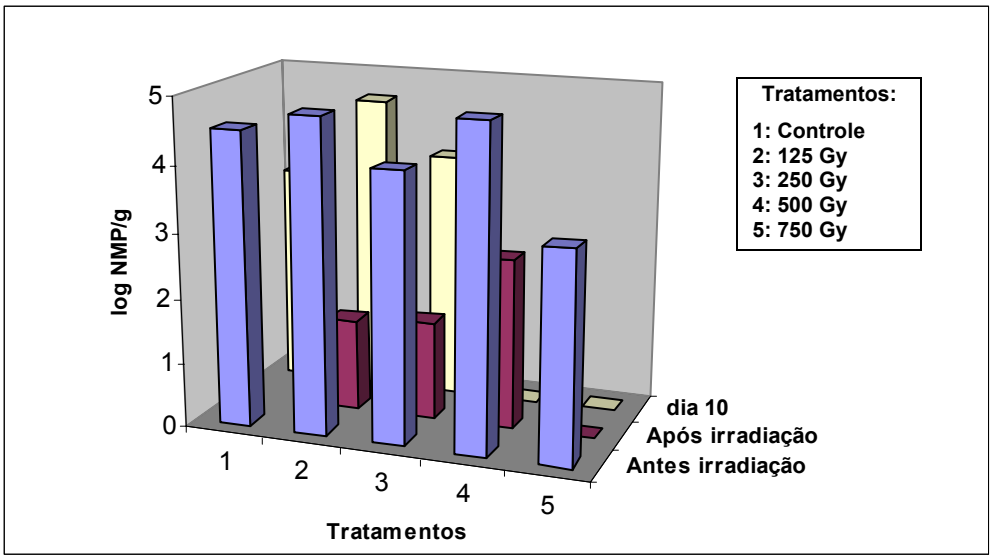


Figura 7. Coliformes totais (log NMP g^{-1}) em cogumelos *Pleurotus sajor-caju* irradiados com diferentes doses, armazenados a 4±1ºC durante 10 dias.

5.3 Análise sensorial

De acordo com Meilgaard et al. (1999), pode-se inferir a preferência dos consumidores em função dos valores relativos de aceitabilidade obtidos nos testes afetivos, ou seja, as amostras com maiores notas foram as mais preferidas pelos provadores.

De acordo com a Tabela 14, foram obtidos para o atributo aroma, valores de 5,96 a 6,84 e 5,68 a 6,44 nos dias 1 e 5, respectivamente, correspondendo às opções “não gostei nem desgostei” e “gostei ligeiramente” do Anexo B. Entretanto, no último período de avaliação (dia 10), foram obtidas médias abaixo do limite de aceitabilidade (nota 5), exceto para o controle e dose de 125 Gy. As amostras irradiadas com doses de 500 e 750 Gy apresentaram as menores médias no dia 10 (4,0 e 4,12), diferindo significativamente dos demais tratamentos. Os provadores também relataram aroma de cozido, estranho, fermentado, principalmente nas amostras irradiadas com 750 Gy. Este fato pode ter ocorrido em função da oxidação do composto volátil 1,3-octenol para 1,3-octenona nas maiores doses de irradiação, conferindo aos cogumelos *P. sajor-caju* o aroma descrito como cogumelo cozido, de acordo com Pyysalo e Suihko (1976) e Mau e Hwang (1997). Sendo estes os principais componentes do flavor característico de cogumelos frescos, os autores concluíram que a irradiação poderia modificar o aroma característico da espécie, conferindo ocasionalmente ao produto o sabor metálico ou cozido, em função da dose de radiação aplicada e tempo de armazenamento.

O aroma de fermentado observado pelos provadores durante o último dia de avaliação também pode estar relacionado às maiores contagens de psicrotróficos e

coliformes totais observados em alguns tratamentos durante a análise microbiológica do dia 10.

Para o atributo cor, foram obtidos valores médios de 6,20 a 6,68 e 6,24 a 6,96 nos dias 1 e 5, respectivamente, correspondendo à opção “gostei ligeiramente” do Anexo B. Entretanto, no último período de avaliação (dia 10), foram obtidas médias abaixo do limite de aceitabilidade (nota 5), exceto para o controle e dose de 125 Gy. Os provadores também relataram cor estranha, amarelada, principalmente nas amostras irradiadas com 250, 500 e 750 Gy no dia 10. Os tratamentos com 250 e 750 Gy obtiveram as menores médias na última avaliação (4,08 e 4,36, respectivamente), diferindo significativamente dos demais tratamentos, de acordo com a Tabela 14. Estes resultados estão de acordo com os dados de L, a*, b* obtidos neste trabalho, indicando o escurecimento e amarelecimento dos cogumelos no período final de armazenamento, acentuadamente nas amostras irradiadas com maiores doses.

Em relação à aparência geral, foram observadas médias de 6,32 a 6,92 no dia 01 e 6,32 a 7,00 no dia 5, correspondendo às opções “gostei ligeiramente” e “gostei moderadamente” do Anexo B. Entretanto, todos os tratamentos obtiveram médias abaixo do limite de aceitabilidade no dia 10, com exceção do controle, que apresentou média de 5,20, correspondendo à opção “não gostei nem desgostei”. A menor média foi nas amostras irradiadas com 250 Gy (3,84), diferindo estatisticamente dos demais tratamentos, de acordo com a Tabela 14.

Tabela 14 - Aroma, cor e aparência geral em cogumelos *Pleurotus sajor-caju* irradiados com diferentes doses, armazenados a 4±1ºC durante 10 dias.

Dose (Gy)	Período (dias) 1			5			10			Médias	
Aroma											
0	6,84	A	a	6,40	AB	a	5,00	AB	b	6,08	A
125	6,68	AB	a	6,36	AB	a	5,24	A	b	6,09	A
250	6,60	AB	a	6,44	A	a	4,48	BC	b	5,84	A
500	6,04	B	a	5,96	AB	a	4,00	C	b	5,33	B
750	5,96	B	a	5,68	B	a	4,12	C	b	5,25	B
Médias	6,42	a		6,17	a		4,57	b			
CV(%): 6,87											
Cor											
0	6,68	A	ab	6,96	A	a	5,80	A	b	6,48	A
125	6,52	A	a	6,64	A	a	5,20	AB	b	6,12	B
250	6,56	A	a	6,40	A	a	4,08	C	b	5,68	C
500	6,48	A	a	6,24	A	a	4,76	BC	b	5,83	BC
750	6,20	A	a	6,48	A	a	4,36	C	b	5,68	C
Médias	6,49	a		6,54	a		4,84	b			
CV(%): 7,98											
Aparência geral											
0	6,92	A	a	7,00	A	a	5,20	A	b	6,37	A
125	6,60	A	a	6,76	A	a	4,88	AB	b	6,08	AB
250	6,52	A	a	6,64	A	a	3,84	C	b	5,67	C
500	6,32	A	a	6,36	A	a	4,68	AB	b	5,79	BC
750	6,40	A	a	6,32	A	a	4,40	BC	b	5,71	C
Médias	6,55	a		6,62	a		4,60	b			
CV(%): 14,7											

Nota: Letras maiúsculas distintas diferem ao nível de 5% de probabilidade entre os tratamentos e letras minúsculas distintas diferem ao nível de 5% de probabilidade entre os dias, pelo Teste de Tukey.

As amostras irradiadas com 750 Gy receberam as menores notas para os atributos aroma, cor e aparência geral em todas as avaliações, indicando ser a dose menos apropriada para a irradiação de cogumelos *P. sajor-caju*. De maneira geral, pode-se dizer que o controle obteve os melhores resultados, com as maiores médias em praticamente todos os períodos de avaliação. Com base no limite de aceitabilidade, pode-se dizer que somente o controle foi aceito pelos provadores até o último dia de avaliação (dia 10), com o final do experimento. As amostras irradiadas foram aceitas até a segunda avaliação (dia 5), determinando o final da vida útil dos cogumelos irradiados. Li et al. (2007) também avaliaram os atributos

sensoriais de cogumelos comestíveis *Agrocybe chaxingu* submetidos à atmosfera modificada e diferentes temperaturas de armazenamento. O limite de aceitabilidade para os atributos odor, firmeza e aparência geral (nota 5) ocorreu no 15º dia de armazenamento à 5ºC, indicando o final da vida útil do cogumelo nestas condições.

Figura 8. Aparência geral de cogumelos *Pleurotus sajor-caju* irradiados com diferentes doses no décimo dia (10) de armazenamento a 4±1ºC.

6 CONCLUSÕES

Analisando os resultados obtidos nas diferentes variáveis avaliadas, podemos determinar em 5 dias a vida útil dos cogumelos irradiados, principalmente em função das atividades enzimática e respiratória e análises microbiológicas e sensoriais, elegendo a dose de 750 Gy como a mais adequada para a irradiação de cogumelos comestíveis *Pleurotus sajor-caju* frescos armazenados a 4°C.

REFERÊNCIAS

AKINDAHUNSI, A.A.; OYETAYO, F.L. Nutrient and antinutrient distribution of edible mushroom, *Pleurotus tuber-regium* (Fries) Singer. **Food Science and Technology**, London, v. 39, p. 548-553, 2006.

AMERICAN DIETETIC ASSOCIATION - ADA. Position of the American Dietetic Association: Food Irradiation. **Journal of the American Dietetic Association,** Chicago, n. 1, v. 96, p. 69-72, 1996.

ANDRESS, E.; DELAPLANE, K. **Food irradiation**. Disponível em: <http://www.fcs.uga.edu/ext/pubs/html/FDNS-E-3.html>. Acesso em: 13 jul. 2007.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL OF CHEMISTS – AOAC. Rapid test kits. Arlington: AOAC International, 2005. Disponível em: <http://www.aoac.org/testkits/kits-microbiology.htm>. Acesso em: 10 jan. 2008.

ASSOCIATION OF OFFICIAL AGRICULTURAL CHEMISTS – AOAC. **Official methods of analysis of the AOAC**. 16. ed. Arlington: AOAC International, 1995. v. 2.

BANO, Z.; RAJARATHNAM, S. *Pleurotus* mushrooms: Part II. Chemical composition, preservation and role an human food. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, Cleveland, v. 27, n. 2, p. 87-158, 1988.

BEAULIEU, M.; LACROIX, M.; CHARBONNEAU, R.; LABERGE, L.; GANON, M. Effects of gamma irradiations dose rate on microbiological and physical quality of mushrooms (*Agaricus bisporus*). **Sciences des Aliments**, Paris, v. 12, p. 289-303, 1992.

BEAULIEU, M.; D'APRANO, G.; LACROIX, M. Dose rate effect of gamma irradiation on phenolic compounds, polyphenol oxidase, and browning of muhsrooms (*Agaricus bisporus*). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 47, n. 7, p. 2537-2543, 1999.

BEAULIEU, M.; D'APRANO, G.; LACROIX, M. Effect of dose rate of gamma irradiation on biochemical quality and browning of mushrooms *Agaricus bisporus*. **Radiation Physics and Chemistry**, Oxford, v. 63, p. 311-315, 2002.

BEETZ, A.; GREER, L. **Mushroom cultivation and marketing**. Horticulture Production Guide. Fayetteville: Appropriate Technology Transfer for Rural Areas, 1999. 79 p.

BENOIT, M.A.; D'APRANO, G.; LACROIX, M. Effect of gamma irradiation on phenylalanine ammonia-lyase activity, total phenolic content, and respiration of mushrooms (*A. biporus*). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 48, n. 12, p. 6312-6316, 2000.

BIBLE, B.B.; SINGHA, S. Canopy position influences CIELAB coordinates of peach color. **HortScience**, Alexandria, v. 28, n. 10, p. 992-993, 1993.

BISARIA, R.; MADAN, M.; BISARIA, V.S. Biological efficiency and nutritive value of *Pleurotus sajor-caju* cultivated on different agro-wastes. **Biological Wastes**, Barking, v. 19, n. 2, p. 239-255, 1987.

BOBBIO, P.A.; BOBBIO, F.O. **Química de processamento de alimentos**. 3. ed. São Paulo: Varela, 2001. 143 p.

BONATTI, M.; KARNOPP, P.; SOARES, H.M.; FURLAN, S.A. Evaluation of *Pleurotus ostreatus* and *Pleurotus sajor-caju* nutritional characteristics when cultivated in different lignocellulosic wastes. **Food Chemistry**, London, v. 88, p. 425-428, 2004.

BONONI, V.L.; TRUFEM, S.F.B. **Cogumelos comestíveis**. São Paulo: Ícone, 1985. 85 p.

BONONI, V.L.; CAPELARI, M.; MAZIERO, R.; TRUFEM, S.F.B. **Cultivo de cogumelos comestíveis**. São Paulo: Ícone, 1995. 206 p.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária de Alimentos. Portaria n° 12, de 24 de julho de 1978. In: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DE ALIMENTAÇÃO. **Compêndio da legislação de alimentos.** São Paulo: ABIA, 1997. v. 1.

_____. Resolução RDC n° 21, de 26 de janeiro de 2001. Regulamento técnico para irradiação de alimentos. In: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DE ALIMENTAÇÃO. **Compêndio da legislação de alimentos.** Consolidação das Normas e Padrões de Alimento. São Paulo: ABIA, 2001. v. 1A.

_____. **Decreto-lei nº 986, de 21 de outubro de 1969**. Disponível em: <http://www.anvisa.gov.br/legis/consolidada/decreto-lei_986_69.pdf.>. Acesso em: 15 set. 2007.

_____. **Decreto nº 72.718, de 29 de agosto de 1973**. Disponível em: <http://e-legis.anvisa.gov.br/leisref/public/showAct.php?id=25>. Acesso em: 15 set. 2007.

BRENNAN, M.; LEPORT, G.; GORMLEY, R. Post-harvest treatment with citric acid or hydrogen peroxide to extend the shelf life of fresh sliced mushrooms. **Food Science and Technology**, London, v. 33, n. 2, p. 285-289, 2000.

BURTON, K.S. The effects of pre and post harvest development on mushroom tyrosinase. **Journal of Horticultural Science**, London, v. 63, n. 2, p. 255-260, 1980.

BURTON, K.S.; SREENIVASAPRASAD, S.; EASTWOOD, D.; RAMA, T.; BEECHER, T.; MOLLOY, S. The science of mushroom quality. **Mushroom Science**, Amsterdam, v. 15, part. 2, p. 715-720, 2000.

BUSWELL, J.A.; CHANG, S.T. Edible mushrooms: attributes and applications. In: CHANG, S.T.; BUSWELL, J.A.; MILES, P.G. **Genetics and breeding of edible mushrooms**. Amsterdam: Gordon and Breach Science Publishers, 1993. cap. 15, p. 306-318.

CAMPBELL, J.D.; STOTHERS, S.; VAISEY, M.; BERCK, B. Gamma irradiation influence on the storage and nutritional quality of mushrooms. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 33, n. 5, p. 540-542, 1968.

CHANG, S.T.; LAU, O.W.; CHO, K.Y. The cultivation and nutritional value of *Pleurotus sajor-caju*. **European Journal of Applied Microbiology and Biotechnology**, Berlin, v. 12, p. 58-62, 1981.

CHANG, S.T.; MILES, P.G. A new look at cultivated mushrooms. **Bioscience**, Washington, v. 34, n. 6, p. 358-362, 1984.

CHAVES, J.B.P.; SPROESSER, R.L. **Práticas de laboratório de análise sensorial de alimentos e bebidas.** Viçosa: UFV, 1996. 81 p.

CHITARRA, M.I.F. **Processamento mínimo de frutos e hortaliças.** Textos acadêmicos. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2000. 119 p.

CHITARRA, M.I.F.; CHITARRA, A.B. **Pós-colheita de frutas e hortaliças:** fisiologia e manuseio**.** 2. ed. Lavras: ESAL/FAEPE, 2005. 334 p.

COMPANHIA DE ENTREPOSTOS E ARMAZÉNS GERAIS DE SÃO PAULO – CEAGESP. **Boletim mensal**: dados estatísticos relativos aos produtos hortigranjeiros e pescado afluídos ao ETSP. São Paulo, 2004. 110 p.

CURZIO, O.A. Preservación de alimentos por irradiación. **La Alimentación Latinoamericana**, Buenos Aires, n. 137, p. 14-16, 1982.

ÇAGLARIRMAK, N. The nutrients of exotic mushrooms (*Lentinula edodes* and *Pleurotus* species) and an estimated approach to the volatile compounds. **Food Chemistry**, London, v. 105, p. 1188-1194, 2007.

DASSO, I. ¿Qué ponemos en juego al degustar un alimento? **La Alimentación Latinoamericana,** Buenos Aires, v. 33, n. 229, p. 34-36, 1999.

FAO. **Fatos sobre irradiação de alimentos**. Série de fichas descritivas do Grupo Consultivo Internacional sobre Irradiação de Alimentos (ICGFI). Vienna: Joint FAO/WHO, 1999. 48 p.

FARKAS, J. Irradiation for better foods. **Trends in Food Science & Technology,** Cambridge, v. 17, p. 148-152, 2006.

FERREIRA, J.E.F. **Produção de cogumelos**. São Paulo: Agropecuária, 1998. 136p.

FUJIHARA, S.; KASUGA, A.; AOYAGI, Y.; SUGAHARA, T. Nitrogen-to-protein conversion factors for some common edible mushrooms. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 60, n. 5, p. 1045-1047, 1995.

GIL, M.I.; ENCARNA, A.; KADER, A.A. Quality changes and nutrient retention in fresh-cut versus whole fruits during storage. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 54, n. 12, p. 4284-4294, 2006.

GILL, W.J.; NICHOLAS, R.C.; MARKAKIS, P. Irradiation of cultured mushrooms. **Food Technology**, Chicago, v. 23, p. 385-388, 1969.

GUO, L.Q.; LIN, J.Y.; LIN, J.F. Non-volatile components of several novel species of edible fungi in China. **Food Chemistry**, London, v. 100, p. 643-649, 2007.

GURGEL, M.S. de C.C. do A. **Efeito da radiação gama na resistência do *Staphylococcus aureus* (Rosembach, 1884) e nas propriedades físico-químicas e sensoriais do queijo Minas Frescal.** 2000. 81 f. Tese (Doutorado em Ciências) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.

JONES, H.D. Phenylalanine ammonia-lyase: regulation of its induction, and its role in plant development. **Phytochemistry**, New York, v. 23, p. 1349-1355, 1984.

JUSTO, M.B.; GUZMAN, M.G.A.; MEJIA, E.G.; DIAZ, C.L.G.; MARTINEZ, G.; CORONA, E.B. Composición química de três cepas mexicanas de setas (*Pleurotus ostreatus*). **Archivos Latinoamericanos de Nutrición**, Caracas, v. 48, n. 4, p. 359-363, 1998.

JUSTO, M.B.; GUZMAN, M.G.A.; MEJIA, E.G.; DIAZ, C.L.G.; MARTINEZ, G.; CORONA, E.B. Calidad proteínica de três cepas mexicanas de setas (*Pleurotus*

ostreatus). **Archivos Latinoamericanos de Nutrición**, Caracas, v. 49, n. 1, p. 81-85, 1999.

KASHANGURA, J.; HALLSWORTH, J.E.; MSWAKA, A.Y. Phenotypic diversity amongst strains of *Pleurotus sajor-caju*: implications for cultivation in arid environments. **Mycological Research**, Cambridge, v. 110, p. 312-317, 2006.

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

KORNACKI, J.L.; JOHNSON, J.L. *Enterobacteriaceae*, coliforms, and *Escherichia coli* as quality and safety indicators. In: DOWNES, F.P.; ITO, K (Ed.). **Compendium of methods for the microbiological examination of foods**. 4. ed. Washington: APHA, 2001. cap. 8, p. 69-82.

KOVACS, E.; VAZ, K. Effect of ionizing radiation on some organoleptic characteristics of edible mushroom. **Acta Alimentaria**, Budapest, v. 3, n. 1, p. 11-17, 1974a.

KOVACS, E.; VAZ, K. Effect of ionizing radiation on postharvest ripening processes of cultured mushrooms (*A. bisporus*), with special reference to the rates of respiration and of ethylene production. **Acta Alimentaria**, Budapest, v. 3, n. 1, p. 19-25, 1974b.

KÜES, U.; LIU, Y. Fruiting body production in basidiomycetes. **Applied Microbiology and Biotechnology**, Berlin, v. 54, n. 2, p. 141-152, 2000.

KUYPER, L.; WEINERT, I.A.G.; Mc GILL, A.E.J. The effect of modified atmosphere packaging and addition of calcium hypochlorite on the atmosphere composition, colour and microbial quality of mushrooms. **Food Science and Technology**, London, v. 26, n. 5, p. 14-20, 1993.

LESCANO, G. Irradiación de champignons *Agaricus campestris* (L.) para prolongar el tiempo de comercialización. **La Alimentación Latinoamericana**, Buenos Aires, v. 24, n. 183, p. 31-35, 1990.

LI, T.; ZHANG, M.; WANG, S. Effects of temperature on *Agrocybe chaxingu* quality stored in modified atmosphere packages with silicon gum film windows. **Food Science and Technology**, London, v. 41, n. 6, p. 985-973, 2008. doi: 10.1016/j.lwt.2007.07.013.

LOZANO, J.E. El arte de evaluar los sabores. **La Alimentación Latinoamericana**, Buenos Aires, v. 33, n. 229, p. 42-43, 1999.

MADAN, M.; VASUDEVAN, P.; SHARMA, S. Cultivation of *Pleurotus sajor-caju* on different wastes. **Biological Wastes**, Barking, v. 22, n. 3, p. 241-250, 1987.

MANSUR, M.; KLIBANSKY, M.; GUTIÉRREZ, I.; GONZÁLES, L. Evaluación de parametros de processo para la produción de hongos del gênero *Pleurotus* cultivados sobre paja de cana. **Boletim GEPLACEA**, Caracas, v. 9, n. 8, p. 11-21, 1992.

MATSUNO, H.; URITANI, I. Physiological behavior of peroxidase isosymes in sweet potato root tissue injured by cutting or with black rot. **Plant and Cell Physiology**, Kyoto, v. 13, p. 1091-1101, 1972.

MAU, J.L.; HWANG, S.J. Effect of gamma irradiation on flavor compounds of fresh mushrooms. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 45, n. 5, p. 1849-1852, 1997.

McGUIRE, R.G. Reporting of objective color measurements. **HortScience**, Alexandria, v. 27, n. 12, p. 1254-1255, 1992.

MEILGAARD, M.; VANCE, G.; CIVILLE, B.T.C. **Sensory evaluation techniques**. 3. ed. Boca Raton: CRC Press, 1999. p. 231-255.

MODA, E.M.; SPOTO, M.H.F.; HORII, J.; ZOCCHI, S.S. Uso de peróxido de hidrogênio e ácido cítrico na conservação de cogumelos *Pleurotus sajor-caju* “in natura”. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 25, n. 2, p. 291-296, 2005.

MOHAPATRA, D.; FRIAS, J.M.; OLIVEIRA, F.A.R.; BIRA, Z.M.; KERRY, J. Development and validation of a model to predict enzymatic activity during storage of cultivated mushrooms (*Agaricus bisporus*). **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 9, n. 3, p. 124-129, 2007.

MUTSCHLER, M.A.; WOLFE, D.W.; COBB, E.D.; YOURSTONE, K.S. Toamyo fruit quality and shelf life in hybrids heterozigous for the *alc* ripening mutant. **HortScience**, Alexandria, v. 27, n. 4, p. 352-355, 1992.

NARDIM, M.S. **Conservação de cogumelos comestíveis (*P. sajor-caju*) por acidificação e processamento térmico e por desidratação**. 1999. 134 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1999.

NARVAIZ, P. Some physicochemical measurements on mushrooms (*A. campestris*) irradiated to extend shelf-life. **Food Science and Technology**, London, v. 27, p. 7-10, 1994.

NAZZARRO, F.; FRATIANNI, F.; PICARIELLO, G. et al. Evaluation of gamma rays influence on some biochemical and microbiological aspects in black truffles. **Food Chemistry**, London, v. 33, p. 344-354, 2007.

OLIVEIRA, L.C. Present situation of food irradiation in South America and regulatory perspectives for Brazil. **Radiation Physics and Chemistry**, Oxford, v. 57, p. 249-252, 2000.

ORTEGA, G.M.; MARTINEZ, E.O.; BETANCOURT, D.; GONZALÉZ, A.E.; OTERO, M.A. Bioconversion of sugar cane crop residues with white-rot fungi *Pleurotus* sp. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, Oxford, v. 8, n. 4, p. 402-405, 1992.

PASCHOLATTI, S.F.; STANGARLIN, J.R.; PICCININ, E. **Cogumelos** – cultivo e comercialização: shiitake e cogumelo do sol. Cuiabá: SEBRAE - M.T., 1998. 85 p. (Coleção Agroindústria).

PATRABANSH, S.; MADAN, M. Studies on cultivation, biological efficiency and chemical analysis of *Pleurotus sajor-caju* (Fr.) Singer on different bio-wastes. **Acta Biotechnologica**, Berlin, v. 17, n. 2, p. 107-122, 1997.

PERALA-SANTOLARIA, J.M. **Setas**. Madrid: Ministerio de Agricultura, 1964. 109 p. (Série Técnica Spain Servicio de Extension Agrária, 10).

PYYSALO, H.; SUIHKO, M. Odour characteristic and threshold value of some volatile compounds in fresh mushrooms. **Food Science and Technology**, London, v. 9, p. 371-373, 1976.

POPPE, J. Use of agricultural waste materials in the cultivation of mushrooms. **Mushroom Science**, Amsterdam, v. 15, part 1, p. 3-19, 2000.

POSTE, L.M.; MACKIE, D.A.; BUTLER, G.; LARMOND, E. **Laboratory methods for sensory analysis of food**. Ottawa: Research Branch Agriculture Canada, 1991. 90 p. (Publication, 1864/E).

PREGNOLATTO, W.; PREGNOLATTO, N. P. **Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz**: métodos químicos e físicos para análises de alimentos. 3. ed. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 1985. v. 1, 533 p.

RAGUNATHAN, R.; SWAMINATHAN, K. Nutritional status of *Pleurotus* spp. grown on various agro-wastes. **Food Chemistry**, London, v. 80, p. 371-375, 2003.

RAJARATHNAM, S. *Pleurotus* mushrooms. Part IA. Morfology, life cicle, taxonomy breeding and cultivation. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, Cleveland, v. 26, n. 2, p. 157-223, 1987.

RAJARATHNAM, S. Biopotentialities of the Basidiomacromycetes. **Advances in Applied Microbiology**, San Diego, v. 37, p. 233-361, 1992.

RAJARATHNAM, S.; BANO, Z. *Pleurotus* mushrooms: Part III. Biotransformations of natural lignocellulosic wastes commercial applications and implications. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, Cleveland, v. 28, n. 1, p. 31-113, 1989.

RELA, P.R. Cresce o uso de irradiação para conservação de alimentos. **Engenharia de Alimentos**, São Paulo, v. 6, n. 29, p. 26-29, 2000.

ROBINSON, D.S. Peroxidases and catalases in foods. In: ROBINSON, D.S.; ESKIN, N.A.M. (Ed.). **Oxidative enzymes in foods**. New York: Elsevier Applied Science, 1991. p. 1-45.

RODRIGO, M.; CALVO, C.; SANCHEZ, T.; RODRIGO, C.; MARTINEZ, A. Quality of canned mushrooms acidified with glucana-lactone. **International Journal of Food Science and Technology**, Oxford, v. 34, n. 2, p. 161-166, 1999.

ROY, S.; ANANTHESWARAN, R.C.; BEELMAN, R.B. Fresh mushroom quality as affected by modified atmosphere packaging. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 60, n. 2, p. 334-340, 1995a.

ROY, S.; ANANTHESWARAN, R.C.; BEELMAN, R.B. Sorbitol increases shelf life of fresh mushrooms stored in conventional packages. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 60, n. 6, p. 1254-1259, 1995b.

ROY, M.K.; CHATTERJEE, S.R.; BAHUKANDI, D.; SHARMA, R.; PHILIPS, A.S. Gamma radiation in increasing productivity of *Agaricus bisporus* and *Pleurotus sajor-caju* and enhancing storage of *P. sajor-caju*. **Journal of Food Science and Technology**, Mysore, v. 37, n. 1, p. 83-86, 2000.

SAS INSTITUTE. **SAS/STAT user`s guide 8.0.** Cary, 1998.

SAPERS, G.M.; MILLER, R.L.; MILLER, F.C.; COOKE, P.H.; CHOI, S. Enzymatic browning control in minimally processed mushrooms. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 59, n. 5, p. 1042-1047, 1994.

SAPERS, G.M.; MILLER, R.L.; CHOI, S.W.; COOKE, P.H. Structure and composition of mushrooms as affected by hydrogen peroxide wash. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 64, n. 5, p. 889-892, 1999.

SILVA, D.J. **Análise de alimentos:** métodos químicos e biológicos. Viçosa. Imprensa Universitária Federal de Viçosa, 1990. 166 p.

SILVA, J. M. **Efeitos da radiação gama (^{60}Co) na conservação pós-colheita do abacaxi cv. Smooth Cayene**. 2005. 130 f. Tese (Doutorado em Ciências) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

SILVA, N.; JUNQUEIRA, V.C.A.; SILVEIRA, N.F.A. **Manual de métodos de análise microbiológica de alimentos**. 3. ed. São Paulo: Varela, 2007. 536 p.

SINGER, R.; HARRIS, B. Mushrooms and truffles for human consumption and other uses. In: _____. **Mushrooms and truffles**: botany, cultivation and utilization. New York: Wiley, 1987. cap. 13, p. 273-278.

SMITH, C.F.; TOWNSEND, D.E. A new medium for determining the Total Plate Count in food. **Journal of Food Protection,** Dês Moines, v. 62, n. 12, p. 1404-1410, 1999.

SPOTO, M.H.F. **Análise crítica de obra acadêmica: qualidade sensorial de frutas – laranja pêra (*Citrus sinensis*) da matéria-prima ao suco**. 2007. 187 f. Tese (Livre-Docente) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

STAMETS, P. **Growing gourmet & medicinal mushrooms:** a companion guide to the mushroom cultivator. Berkely: Speed Press, 1993. 552 p.

STURION, G.L.; OETTERER, M. Composição química de cogumelos comestíveis (*Pleurotus* spp.) originados de cultivos em diferentes substratos. **Ciência e Tecnologia de Alimentos,** Campinas, v. 15, n. 2, p. 189-193, 1995.

STURION, G.L.; RANZANI, M.R.T.de C. **Produção do cogumelo comestível *Pleurotus*:** opção promissora, especialmente na região do vale do Ribeira. Piracicaba: USP, ESALQ, DIBD, 1997. 44 p. (Série Produtor Rural, 2).

SUBRAMANIAN, C.V. Mushrooms: beaty, diversity, relevance. **Current Science**, Columbus, v. 69, n. 12, p. 986-998, 1995.

SUBRAMANIAN, N.; VENKATESH, P.; GANGULI, S.; SINKAR, V.P. Role of polyphenol oxidase and peroxidase in the generation of black tea teaflavins. **Journal of Agriculture and Food Chemistry**, Easton, v. 47, p. 2571-2578, 1999.

SUN, N.K.; SONG, K.B. Effect of nonthermal treatment on the molecular properties of mushroom polyphenoloxidase. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 68, n. 5, p. 1639-1643, 2003.

TAPE, N. W. **Protegendo nossas colheitas**. Vienna: ICGFI, 1996.

THAYER, D.W. Wholesomeness of irradiated foods. **Food Technology**, Chicago, v. 48, n. 5, p. 132-135, 1994.

TOMÁS-BARBERÁN, F.A.; ESPÍN, J.C. Phenolics compounds and related enzymes as determinants of quality in fruits and vegetables. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, London, v. 81, p. 853-876, 2001.

TOWNSEND, D.E.; IRVING, R.L.; NAQUI, A. Comparison of the Simplate Coliform and *Escherichia coli* Test with Petrifilm, Three-Tube MPN, and VRBA+MUG methods for enumerating coliforms and *E. coli* in food. **Journal of Food Protection**, Des Moines, v. 61, n. 4, p. 444-449, 1998.

VÁMOS-VIGYÁZO, L. Polyphenoloxidase and peroxidase in fruits and vegetables. **CRC Critical Reviews in Food Science**, Cleveland, v. 15, n. 1, p. 49-127, 1981.

VERRUMA-BERNARDI, M.R.; SPOTO, M.H.F. Efeito da radiação gama sobre o perfil sensorial de suco de laranja. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 23, n. 1, p. 28-32, 2003.

VILLAESCUSA, R.; GIL, M.I. Quality improvement of Pleurotus mushrooms by modified atmosphere packaging and moisture absorbers. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 28, n. 1, p. 169-179, 2003.

WIENDL, F.M. Irradiação de alimentos. **Boletim da Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia**, Campinas, n. 45, p. 3-25, 1978.

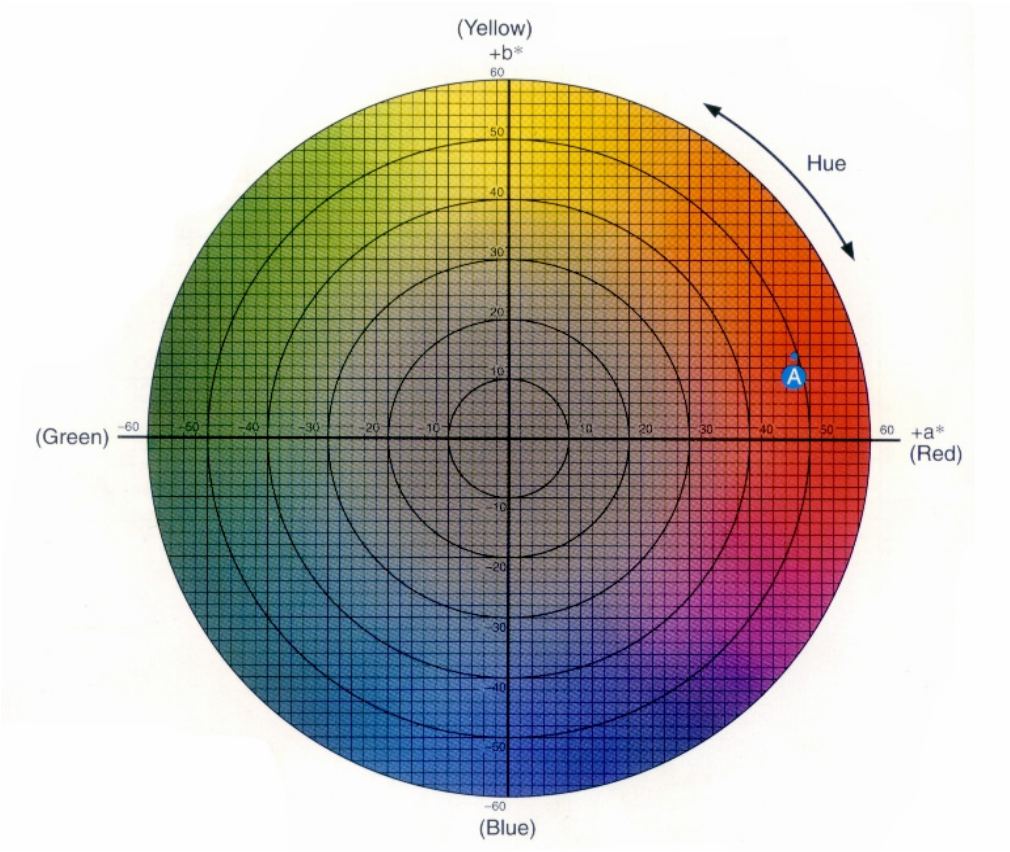
ZADRAZIL, F. Influence of ammonium nitrate and organic supplements on the yield of *Pleurotus sajor-caju* (Fr.) Singer. **European Journal of Applied Microbiology and Biotechnology**, Berlin, v. 9, p. 31-35, 1980.

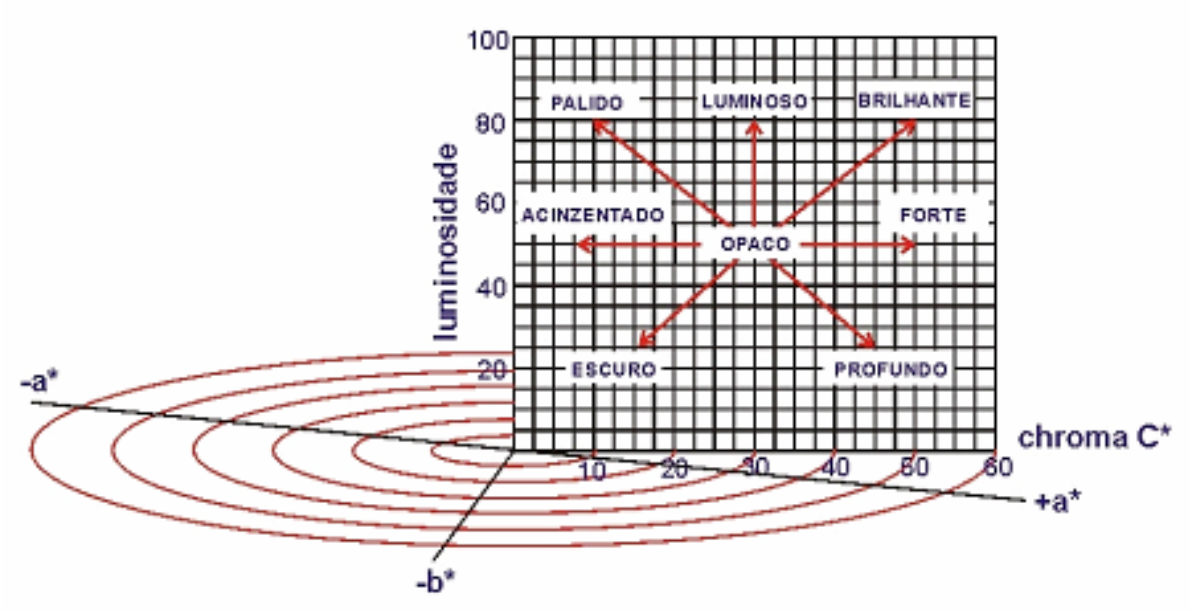
ZANETTI, A.L.; RANAL, M.A. Suplementação da cana-de-açúcar com guandú no cultivo de *Pleurotus* sp. “Flórida”. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 32, n. 9, p. 959-964, 1997.

ZAWISTOWSKY, J.; BILIADERIS, C.G.; ESKIN, N.S.M. Polyphenoloxidase. In: ROBINSON, D.S.; ESKIN, N.A.M. **Oxidative enzymes in foods**. New York: Elsevier Applied Science, 1991. p. 217-271.

ANEXOS

ANEXO A – Diagrama de cromaticidade (a*, b*) e Luminosidade L.





ANEXO B – Modelo da ficha do Teste de Aceitabilidade em escala hedônica de 9 pontos.

Nome: _____ Data: _____

Muito obrigado por participar de nossa pesquisa com COGUMELOS *Pleurotus sajor-caju* 'in natura'. Você receberá CINCO amostras para avaliação. Por favor, leia este questionário antes de iniciar o teste, depois analise o produto e responda as questões que se seguem:

1. Indique o quanto você gostou da cor do produto:

	Amostra nº	Amostra nº	Amostra nº	Amostra nº	Amostra nº
gostei extremamente					
gostei muito					
gostei moderadamente					
gostei ligeiramente					
não gostei nem desgostei					
desgostei ligeiramente					
desgostei moderadamente					
desgostei muito					
desgostei extremamente					

2. Indique o quanto você gostou do aroma do produto:

	Amostra nº	Amostra nº	Amostra nº	Amostra nº	Amostra nº
gostei extremamente					
gostei muito					
gostei moderadamente					
gostei ligeiramente					
não gostei nem desgostei					
desgostei ligeiramente					
desgostei moderadamente					
desgostei muito					
desgostei extremamente					

3. Indique o quanto você gostou de maneira geral do produto:

	Amostra nº	Amostra nº	Amostra nº	Amostra nº	Amostra nº
gostei extremamente					
gostei muito					
gostei moderadamente					
gostei ligeiramente					
não gostei nem desgostei					
desgostei ligeiramente					
desgostei moderadamente					
desgostei muito					
desgostei extremamente					

4. Comentários: por favor, indique o que em particular você mais gostou ou menos gostou neste produto (use palavras ou frases):

Mais gostei: _____ Menos gostei: _____

5. Qual a sua faixa de idade?
( ) 18 a 25 anos
( ) 25 a 35 anos
( ) acima de 35 anos

6. Você costuma consumir esse tipo de produto?
( ) Sim, diariamente
( ) Sim, de vez em quando (com que freqüência?) _____
( ) Sim, raramente
( ) Nunca

ANEXO C – Tabela de conversão para o método Simplate®.

Número de cavidades postitivas	UFC ou NMP	Limite 95% de confiança Mínimo	Máximo
0	**	<0,3	<14
1	2	0,3	14
2	4	1	16
3	6	2	19
4	8	3	22
5	10	4	25
6	12	6	27
7	14	7	30
8	16	8	33
9	18	10	36
10	22	11	39
11	24	13	42
12	26	15	45
13	28	16	48
14	30	18	51
15	32	20	54
16	36	22	58
17	38	23	61
18	40	25	64
19	42	27	67
20	46	29	70
21	48	31	74
22	50	33	77
23	54	35	80
24	56	38	84
25	58	40	87
26	62	42	91
27	64	44	94
28	68	47	98
29	70	49	102
30	74	51	106
31	76	54	109
32	80	56	113
33	84	59	117
34	86	62	121
35	90	64	126
36	94	67	130
37	96	70	134
38	100	73	139
39	104	76	143
40	108	79	148
41	112	82	152
42	116	85	157

Número de cavidades postitivas	UFC ou NMP	Limite 95% de confiança Mínimo	Máximo
43	120	88	162
44	124	91	167
45	128	95	173
46	132	98	178
47	136	102	183
48	142	106	189
49	146	109	195
50	150	113	201
51	156	117	207
52	160	121	213
53	166	125	220
54	172	130	227
55	178	134	234
56	184	139	241
57	190	144	249
58	196	149	257
59	202	154	265
60	208	159	273
61	216	165	282
62	224	171	292
63	232	177	302
64	240	183	312
65	248	190	323
66	256	197	335
67	266	204	347
68	276	212	361
69	288	220	375
70	298	229	390
71	312	238	407
72	324	248	425
73	338	258	444
74	354	270	466
75	372	282	491
76	392	296	519
77	414	311	551
78	440	328	589
79	470	348	636
80	508	371	695
81	556	398	775
82	624	432	899
83	738	476	1146
84	>738	>476	>1146

* Quando todas as cavidades forem negativas e o algodão estiver positivo, o resultado é = 1.
* Quando todas as cavidades forem negativas e o algodão estiver negativo, o resultado é <1.

Fonte: Material cedido por SOVEREIGN Brasil, www.biocontrol.com