

**UFRRJ**  
**INSTITUTO DE AGRONOMIA**  
**DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA**  
**CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FITOTECNIA**

**TESE**

**Uso da Radiação Gama na Conservação Pós-Colheita  
das Raízes de Mandioca (*Manihot esculenta* Crantz).**

**Jorge Luiz da Silva Grossi**

**2005**



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE AGRONOMIA  
DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA  
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FITOTECNIA**

**USO DA RADIAÇÃO GAMA NA CONSERVAÇÃO PÓS-COLHEITA  
DAS RAÍZES DE MANDIOCA (*Manihot esculenta* Crantz).**

**JORGE LUIZ DA SILVA GROSSI**

*Sob a Orientação do Professor*  
**Dr. Jorge Jacob Neto**

*e Co-orientação do Professor*  
**Dr. Armando Ubirajara Oliveira Sabaa Srur**

Tese submetida como requisito  
parcial para obtenção do grau de  
**“Doutor em Ciências”** no  
Programa de Pós-Graduação em  
Fitotecnia.

Seropédica, RJ.  
Abril de 2005

**Verificar na Biblioteca Central.**

.....

.....

Sobrenome, nome do autor

Título da dissertação/tese. Município. Estado. Instituição. Instituto. Ano.

xv. nº f: il.....

Orientador:

I. Referência orientador. II. Referência Instituição. Instituto. III. Título

**Modelo 3:** Orientação para confecção de ficha catalográfica, no verso da página de rosto.

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO**  
**INSTITUTO DE AGRONOMIA**  
**CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FITOTECNIA**

JORGE LUIZ DA SILVA GROSSI

Tese submetida ao Curso de Pós-Graduação em Fitotecnia, área de Concentração em Fisiologia da Produção, como requisito parcial para obtenção do grau de **“Doutor em Ciências”**.

TESE APROVADA EM 20 / 04 / 2005.

---

Dr. Jorge Jacob Neto  
(Orientador – Professor do DF/IA/ UFRRJ)

---

Dr. Armando Ubirajara de Oliveira Sabaa Srur  
(Co-Orientador – Professor do DNBE / IN / UFRJ)

---

Dr. Helio de Carvalho Vital  
(Pesquisador do CTEEx)

---

Dra. Regina Celi Cavestre Coneglian  
(Professora do DF/IA/ UFRRJ)

---

Dr. Francisco de Assis da Silva  
(Professor do DQ/ICE/UFRRJ)

A Georgia e Paula, minhas filhas, pela alegria e estímulo que me incentivam a cada dia. À minha esposa Sonia, presente em todos os momentos, pela compreensão e amor. Aos meus pais, avós e irmãos cujo amor e exemplo de integridade foram fundamentais à minha formação.

Aos meus amigos do Departamento de Química da UFRRJ, ao setor de Química Geral (DEQUIM – UFRRJ), e em especial aos amigos Porfírio Jesus das Neves e Carlos Maurício Rabello Sant’Anna, pelo apoio demonstrado nos momentos difíceis.

A todos, que de uma forma direta ou indireta, colaboraram com este trabalho. Agradeço especialmente a Deus, por suas bênçãos e infinito amor presentes em toda a minha vida.

## AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, ao Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento do Centro Tecnológico do Exército (IPD–CTEx) – RJ., a Embrapa Agroindústria de Alimentos e ao Centro Nacional de Pesquisa de Mandioca e Fruticultura Tropical (CNPMPF), unidade da EMBRAPA, em Cruz das Almas (BA).

À Professora Dra. Regina Celi Cavestre Coneglian, pela orientação, pelo apoio, dedicação e amizade no decorrer deste estudo.

Ao Professor Dr.Armando Ubirajara de Oliveira Sabaa Srur, pela orientação, amizade e estímulo durante e execução deste trabalho.

Ao D. Sc. Hélio de Carvalho Vital, do Centro Tecnológico do Exército (CTEx.), pela valiosa contribuição e dedicação no acompanhamento da etapa de irradiação, bem como nos cálculos das doses de radiação utilizadas no processamento das raízes de mandioca.

Ao Professor Dr. Francisco de Assis da Silva do Curso de Pós-Graduação em Química Orgânica, Departamento de Química da UFRRJ, na realização de análises químicas e físico-químicas nos estudos relativos as substâncias fenólicas.

Ao Capitão Sérgio Eduardo Martins de Oliveira, do CTEx, pela amizade e ajuda na revisão bibliográfica. Ao D. Sc. Luis Fernando Gonçalves Pires, Diretor científico do CTEx, por sua contribuição na etapa de irradiação das raízes de mandioca.

Ao Departamento de Fitotecnia e a Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia da UFRRJ que me possibilitaram a realização do curso e pelo estímulo e apoio.

À D. Sc. Regina Célia Della Modesta pelo apoio nos estudos sensoriais, da Embrapa Agroindústria de Alimentos. Ao Professor Dr. Clarindo Aldo Lopes, pelo apoio e orientação sobre a cultura da mandioca (cultivar Saracura), fundamentais para a realização de todas as etapas desta pesquisa.

Aos técnicos Edio Mariano, Wilson Pereira de Andrade<sup>(†)</sup> e Vanderly Marcelino de Oliveira do DTA-IT-UFRRJ, Eli Baldez Siqueira do DEQUIM-ICE-UFRRJ, aos estagiários Rômulo C. Valadão, Carolina Balbino, Fabiana P. Castro, Fidelcina e Thiana Claudia F. Esteves, pela inestimável colaboração nas análises, convivência e amizade.

Ao Exmo. Sr. Decano de Pesquisa e Pós-Graduação da UFRRJ, Professor Dr. Jorge Jacob Neto, pelo apoio, incentivo, amizade e orientação, imprescindíveis a realização deste trabalho.

## **BIOGRAFIA**

Jorge Luiz da Silva Grossi, filho de Victor Grossi e Judith da Silva Grossi, nasceu em 18 de junho de 1959, na cidade do Rio de Janeiro.

Em fevereiro de 1982, graduou-se em Engenharia Química, pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

Trabalhou como professor horista na Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ) de 1982 a 1984, tendo sido aprovado em primeiro lugar em concurso público para professor auxiliar de ensino desta Universidade em janeiro de 1985.

Prestou exame de seleção para o Curso de Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, no qual ingressou no primeiro semestre de 1991, tendo concluído o referido curso em maio de 1994.

Foi selecionado em março de 2000 para o Curso de Ciência e Tecnologia de Alimentos da UFRRJ, que devido a dificuldades de reconhecimento pelo MEC, foi interrompido, no segundo semestre letivo de 2002.

Em março de 2003, iniciou o curso de Doutorado em Fitotecnia, na Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

Atualmente é Professor do Departamento de Química da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, no nível de Adjunto III.

## SUMÁRIO

|                                                               |    |
|---------------------------------------------------------------|----|
| 1. Introdução.....                                            | 1  |
| 2. Revisão de Literatura.....                                 | 3  |
| 2.1 - Aspectos da Cultura da Mandioca.....                    | 3  |
| 2.2 - Principais Produtos e Derivados.....                    | 7  |
| 2.3 - Doenças.....                                            | 8  |
| 2.4 - Potencialidades agronômicas.....                        | 9  |
| 2.5 - Aspectos toxicológicos .....                            | 12 |
| 2.6 - Potencialidades econômicas .....                        | 14 |
| 2.7 - Situação e Estratégias do Cultivo da Mandioca .....     | 17 |
| 2.8 - A Conservação Pós-Colheita das Raízes de Mandioca ..... | 21 |
| 2.9 - Aplicações das Emissões Nucleares .....                 | 26 |
| 2.10 - Processos de Irradiação de Alimentos .....             | 27 |
| 2.11 - Doses de Radiação .....                                | 30 |
| 2.12 - Custos da Irradiação de Alimentos .....                | 31 |
| 2.13 - Efeitos das radiações .....                            | 32 |
| 2.14 - Legislação sobre Irradiação de Alimentos.....          | 38 |
| 2.15 - Evolução Mundial da Irradiação de Alimentos.....       | 38 |
| 3. Material e Métodos.....                                    | 40 |
| 3.1 - Matéria-prima .....                                     | 40 |
| 3.2 - O Irradiador Gama do CTEx.....                          | 40 |
| 3.3 - Determinações Químicas.....                             | 43 |
| 3.4 - Determinações Físicas .....                             | 44 |
| 3.5 - Análise Sensorial.....                                  | 44 |
| 3.6 - Determinações Físico-Químicas .....                     | 44 |
| 3.7 - Avaliação Microbiológica .....                          | 44 |
| 3.8 - Grau de Deterioração Fisiológica.....                   | 45 |
| 3.9 - Tratamento estatístico .....                            | 45 |
| 4. Resultados e Discussão .....                               | 46 |
| 4.1 - Determinações Químicas .....                            | 46 |
| 4.2 - Determinações Físicas .....                             | 56 |
| 4.3 - Análise Sensorial.....                                  | 59 |
| 4.4 - Determinações Físico-Químicas .....                     | 60 |
| 4.5 - Avaliação Microbiológica .....                          | 87 |
| 4.6 - Grau de Deterioração Fisiológica.....                   | 90 |
| 5. Conclusões .....                                           | 92 |
| 6. Referências Bibliográficas .....                           | 93 |

## ÍNDICE DE QUADROS

|                                                                                                                                  |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Quadro 1 - Principais continentes produtores de mandioca.....                                                                    | 2  |
| Quadro 2 - Rendimento de algumas culturas no Vale do Paranapanema (SP)<br>e Região de Campo Mourão (PR) .....                    | 10 |
| Quadro 3 - Composição por 100 g de parte comestível .....                                                                        | 25 |
| Quadro 4 - Ilustração dos efeitos da irradiação da molécula de metano e os<br>produtos radiolíticos possivelmente formados ..... | 35 |
| Quadro 5 - Pontos atribuídos (PA) relativos aos números de onda do<br>espectro FTIR.....                                         | 61 |
| Quadro 6 - Grupos funcionais (GP) propostos aos pontos atribuídos (PA) .....                                                     | 62 |

## ÍNDICE DE TABELAS

|                                                                                                                                                                   |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1 - Utilização de diferentes doses de radiação e seus respectivos<br>efeitos .....                                                                         | 30 |
| Tabela 2 - Teor de fenólicos totais ao atingir o nível de rejeição visual<br>(grau 5) .....                                                                       | 51 |
| Tabela 3 - Teor de cálcio expresso em mg/100g da parte comestível .....                                                                                           | 51 |
| Tabela 4 - Teor de fósforo expresso em mg/100g da parte comestível .....                                                                                          | 52 |
| Tabela 5 - Teor de ferro expresso em mg/100g da parte comestível .....                                                                                            | 52 |
| Tabela 6 - Média das notas atribuídas à aparência geral das amostras controle e<br>irradiadas, no primeiro, quinto e décimo quarto dias de<br>armazenamento ..... | 59 |
| Tabela 7 - Sumário das estruturas e transições eletrônicas de algumas<br>substâncias .....                                                                        | 73 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|                                                                                                                                                                                                         |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1 - Biossíntese de glicosídeos cianogênicos a partir de um aminoácido precursor .....                                                                                                            | 13 |
| Figura 2 - Decomposição enzimática da linamarina .....                                                                                                                                                  | 14 |
| Figura 3 - Localização do ecossistema Semi-Árido no Brasil .....                                                                                                                                        | 17 |
| Figura 4 - Potencialidades de uso do amido no Brasil .....                                                                                                                                              | 18 |
| Figura 5 - Principais Países Produtores de Mandioca em 2000 .....                                                                                                                                       | 19 |
| Figura 6 - Esquema de uma barra de $^{60}\text{Co}$ e sua montagem no painel de uma fonte .....                                                                                                         | 28 |
| Figura 7 - Irradiadores gama de pesquisa .....                                                                                                                                                          | 29 |
| Figura 8 - Um átomo de hidrogênio é ionizado pela radiação gama. O elétron ejetado pode agir diretamente em uma molécula de DNA causando (a) quebra simples da hélice; (b) quebra dupla da hélice ..... | 33 |
| Figura 9 - Utilização mundial de alimentos irradiados .....                                                                                                                                             | 39 |
| Figura 10 - Distribuição dosimétrica (câmara superior) $z = 1,0\text{cm}$ .....                                                                                                                         | 41 |
| Figura 11 - Distribuição dosimétrica (câmara inferior) .....                                                                                                                                            | 42 |
| Figura 12 - Distribuição dosimétrica (câmara inferior) .....                                                                                                                                            | 42 |
| Figura 13 - Variação do teor de fibras durante o armazenamento .....                                                                                                                                    | 47 |
| Figura 14 - Variação do teor de proteínas durante o armazenamento .....                                                                                                                                 | 49 |
| Figura 15 - Variação do teor de glicídios totais durante o armazenamento .....                                                                                                                          | 50 |
| Figura 16 - Variação do teor de lipídios durante o armazenamento .....                                                                                                                                  | 53 |
| Figura 17 - Componentes ativos da vitamina C.....                                                                                                                                                       | 54 |
| Figura 18 - Decaimento do teor de vitamina C durante o armazenamento .....                                                                                                                              | 55 |
| Figura 19 - Comparação dos níveis de vitamina C durante o armazenamento .....                                                                                                                           | 56 |
| Figura 20 - Variação do teor de umidade durante o armazenamento.....                                                                                                                                    | 57 |
| Figura 21 - Variação do teor de cinzas durante o armazenamento .....                                                                                                                                    | 58 |
| Figura 22 - Aspecto geral do espectro infravermelho proposto da parte comestível das raízes de mandioca .....                                                                                           | 61 |
| Figura 23 - Aspecto geral do espectro infravermelho proposto da parte comestível das raízes de mandioca, com sinal ampliado .....                                                                       | 62 |
| Figura 24 - Representação da seção transversal de uma raiz .....                                                                                                                                        | 63 |
| Figura 25 - Espectro FTIR de amostra não irradiada das regiões (A, B e C), no tempo zero .....                                                                                                          | 63 |
| Figura 26 - Espectro FTIR de amostra não irradiada da região A, em $t = 0$ .....                                                                                                                        | 64 |
| Figura 27 - Espectro FTIR de amostra não irradiada em $t = 1$ .....                                                                                                                                     | 64 |
| Figura 28 - Espectro FTIR de amostra com 2,5 kGy em $t = 1$ .....                                                                                                                                       | 65 |
| Figura 29 - Espectro FTIR de amostra não irradiada em $t = 2$ .....                                                                                                                                     | 65 |
| Figura 30 - Espectro FTIR de amostra com 2,5 kGy em $t = 2$ .....                                                                                                                                       | 66 |
| Figura 31 - Espectro FTIR de amostra com 10,0 kGy para $t = 2$ .....                                                                                                                                    | 66 |
| Figura 32 - Espectro FTIR de amostra com 2,5kGy para $t = 4$ .....                                                                                                                                      | 67 |

|                                                                                                                |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 33 - Espectro FTIR de amostra com 5,0 kGy para t = 5.....                                               | 67 |
| Figura 34 - Espectro FTIR de amostra com 7,5 kGy para t = 7.....                                               | 68 |
| Figura 35 - Espectro FTIR de amostra com 10,0kGy para t = 7 .....                                              | 68 |
| Figura 36 - Espectro FTIR de amostra com 5,0 kGy para t = 7.....                                               | 69 |
| Figura 37 - Espectro FTIR de amostra com 5,0 kGy para t = 9.....                                               | 69 |
| Figura 38 - Espectro FTIR de amostra com 7,5 kGy para t = 9.....                                               | 70 |
| Figura 39 - Espectro FTIR de amostra com 7,5 kGy para t = 13 .....                                             | 70 |
| Figura 40 - Espectro FTIR de amostra com 10,0 kGy para t = 12 .....                                            | 71 |
| Figura 41 - Espectro FTIR de amostra com 10,0 kGy para t = 15 .....                                            | 71 |
| Figura 42 - Amostras não irradiadas (NIRD), espectro U.V., t = 2 dias .....                                    | 74 |
| Figura 43 - Amostras irradiadas com 2,5kGy, espectro U.V., t = 2 dias .....                                    | 74 |
| Figura 44 - Amostras irradiadas com 5,0kGy, espectro U.V., t = 2 dias .....                                    | 75 |
| Figura 45 - Amostras irradiadas com 7,5kGy, espectro U.V., t = 2 dias .....                                    | 75 |
| Figura 46 - Amostras irradiadas com 10,0kGy, espectro U.V., t = 2 dias .....                                   | 76 |
| Figura 47 - Comportamento geral das amostras , espectro U.V., t = 2 dias.....                                  | 77 |
| Figura 48 - Amostras não irradiadas (NIRD), espectro U.V., t = 4 dias .....                                    | 78 |
| Figura 49 - Amostras irradiadas com 2,5kGy, espectro U.V., t = 4 dias .....                                    | 78 |
| Figura 50 - Amostras irradiadas com 5,0kGy, espectro U.V., t = 4 dias .....                                    | 79 |
| Figura 51 - Amostras irradiadas com 7,5kGy, espectro U.V., t = 4 dias .....                                    | 79 |
| Figura 52 - Amostras irradiadas com 10,0kGy, espectro U.V., t = 4 dias .....                                   | 80 |
| Figura 53 - Amostras não irradiadas (NIRD), espectro U.V., t = 7 dias .....                                    | 81 |
| Figura 54 - Amostras irradiadas com 2,5kGy, espectro U.V., t = 7 dias .....                                    | 81 |
| Figura 55 - Amostras irradiadas com 5,0kGy, espectro U.V., t = 7 dias .....                                    | 82 |
| Figura 56 - Amostras irradiadas com 7,5kGy, espectro U.V., t = 7 dias .....                                    | 83 |
| Figura 57 - Amostras irradiadas com 10,0kGy, espectro U.V., t = 7 dias .....                                   | 84 |
| Figura 58 - Aspecto geral das amostras IRD5,0, IRD7,5 e IRD10 espectro<br>U.V., t = 12 dias .....              | 85 |
| Figura 59 - Aspecto geral das amostras IRD5,0, IRD7,5 e IRD10 espectro<br>U.V., t = 14 dias .....              | 86 |
| Figura 60 - Avaliação microbiológica (contagem de bolores e leveduras).....                                    | 88 |
| Figura 61 - Comportamento das amostras em relação ao surgimento<br>do escurecimento de origem enzimática ..... | 89 |
| Figura 62 - Aparência das raízes irradiadas com 10kGy, após o processo de<br>deterioração .....                | 91 |

## RESUMO

GROSSI, Jorge Luiz da Silva. **Uso da Radiação Gama na Conservação Pós-Colheita das Raízes de Mandioca (*Manihot esculenta*)**. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (Tese – Doutorado em Fitotecnia <sup>1,2</sup>).

O principal objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos da radiação gama na conservação pós-colheita das raízes de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) cultivar Saracura, geralmente consumida in natura, especialmente na região sudeste, em forma de purê, cozida ou frita sendo assim utilizada em muitos pratos típicos do Brasil. A mandioca constitui a principal fonte de carboidratos na alimentação humana e animal das áreas mais pobres e secas do mundo, destacando-se a América e a África como os maiores continentes produtores. O valor nutricional e as características químicas da mandioca são fatores que incrementaram a sua utilização e produção em todo o mundo. Porém a perda da qualidade das raízes armazenadas, ocasionada por fatores fisiológicos, microbiológicos ou por agentes físicos, tem sido um dos maiores inconvenientes para a comercialização das raízes, pois as mesmas não resistem mais que alguns dias. Em um irradiador gama do Centro Tecnológico do Exército (CTEx-RJ), com uma fonte de <sup>137</sup>Cs, as raízes foram tratadas com doses de 2,5kGy, 5,0kGy, 7,5kGy e 10kGy. Os grupos submetidos à irradiação e os grupos de controle (não irradiados) foram avaliados segundo metodologia do Instituto Adolfo Lutz, através das análises de fibra, aparência e aceitabilidade, umidade, cinzas, glicídios totais, proteínas, lipídios, minerais e metais pesados, composição química (infravermelho e ultravioleta), deterioração microbiológica, vitamina C, fenólicos totais e grau de deterioração fisiológica. Os resultados revelaram que a irradiação não provocou modificações químicas significativas na composição das raízes irradiadas, sendo detectada a presença de quinonas nas mesmas, sugerindo um aumento na eficácia do processo de conservação foi também observado um aumento na estabilidade do produto, monitorada por análises microbiológicas, avaliação do teor de vitamina C e pelo grau de deterioração devido à ação enzimática. A utilização da radiação gama proporcionou uma efetiva melhoria na conservação pós-colheita, ampliando a vida de prateleira em cerca de 250% (raízes tratadas com 10 kGy) em relação às amostras não irradiadas.

**Palavras chave:** irradiação, aipim, preservação.

---

1 – Orientador: Professor Dr. Jorge Jacob Neto (UFRRJ).

2 – Co-Orientador: Professor Dr. Armando U. O. Sabaa Srur (UFRJ).

## ABSTRACT

GROSSI, Jorge Luiz da Silva. **Use of Gama Radiation on the Post-Harvest Conservation of Cassava Roots (*Manihot esculenta* Crantz)**. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (Tese – Doutorado em Fitotecnia <sup>1,2</sup>).

The aims of this work was to evaluate the effects of gamma irradiation on the post-harvest conservation of cassava roots (*Manihot esculenta* Crantz), Saracura cultivation. The product is frequently consumed “in natura” in Southeastern Brazil in the form of purée or as a cooked or fried item usually added to other typical foods. Cassava is a major source of carbohydrates to humans and animals in poor and dry areas throughout the world, such as Latin America and Africa. Its high nutritional value and attractive chemical characteristics have contributed to its large production and consume worldwide. However, loss of quality of stored cassava roots, caused by physical, physiological and microbiological spoilage, remains a serious problem to the commercialization of the product because of its short shelf-life. Cassava roots were gamma irradiated to doses of 2.5, 5, 7.5 and 10 kGy in a research irradiator at the Army’s Technological Center in Rio de Janeiro. The irradiated and control (non-irradiated) samples were analyzed for: overall appearance and acceptability, fibers; humidity; ashes, total sugars; proteins; lipids; minerals; heavy metals, chemical composition (infrared and ultraviolet spectrometry); microbiological deterioration; vitamin C; total phenols; and degree of physiological deterioration. The results showed that irradiation caused no significant change in chemical composition. Furthermore, traces of chinonas found, added to results from the microbiological, vitamin C and enzymatic analyses lead lead to the conclusion that gamma radiation effectively enhanced the post-harvest conservation of cassava roots extending their shelf-life up to 250% (for 10 kGy) relatively to the non-irradiated samples.

**Key words:** irradiation, cassava, preservation.

---

1 – Adviser: Professor Dr. Jorge Jacob Neto (UFRRJ).

2 – Co-Adviser: Professor Dr. Armando U. O. Sabaa Srur (UFRJ).

## 1. INTRODUÇÃO

Um dos maiores problemas do mundo é a fome. Milhares de pessoas morrem diariamente de fome ou de causas a ela relacionadas. A maior parte deste contingente é de crianças abaixo de cinco anos. Embora a produção mundial de alimentos seja suficiente para nutrir todos os habitantes do globo terrestre, a má distribuição e o desperdício são as principais causas do problema. A busca pela qualidade e a quantidade de alimentos convencionais, como também, alimentos alternativos efetivos, os problemas ambientais relativos à utilização de agrotóxicos e a preservação de alimentos são temas cada vez mais importantes (OMS, 1995).

Segundo CARDOSO (1998), a mandioca constitui um dos principais alimentos energéticos para cerca de 500 milhões de pessoas, sobretudo nos países em desenvolvimento, onde é cultivada em pequenas áreas com baixo nível tecnológico. Mais de 80 países produzem mandioca, sendo que o Brasil participa com mais de 15% da produção mundial. De fácil adaptação, a mandioca é cultivada em todos os estados brasileiros, situando-se entre os nove primeiros produtos agrícolas do país, em termos de área cultivada, e o sexto em valor de produção.

Originária da América do Sul, a mandioca (*Manihot esculenta* Crantz), planta da família Euphorbiaceae, oriunda de região tropical, encontra condições favoráveis para o seu desenvolvimento em todos os climas tropicais e subtropicais (LOZANO, 1985). Na escolha da área deverão ser consideradas as condições de clima e solo favoráveis ao cultivo. O mandiocal deve ser instalado em áreas planas ou suavemente onduladas, com uma declividade máxima de 10% (SEAGRI, 2004).

O preparo do solo é realizado com o objetivo de eliminar plantas não desejáveis, obter condições favoráveis à germinação de sementes e brotação de partes vegetativas de determinadas culturas, além de preservar a matéria orgânica, evitar a erosão e manter o solo produtivo. No preparo do solo podem ser utilizados implementos que necessitem de máquinas de diversos tamanhos e modelos, animais de tração, ou mesmo manuseados pelo próprio homem (SANCHEZ, 1981; SANTANA, 1998).

DINIZ et al. (1994) consideraram que apesar de adaptada a solos de baixa fertilidade, a mandioca somente atinge seu potencial máximo de produção com adubação adequada. A pesquisa revelou que, dentre os macronutrientes, o fósforo permite resposta mais acentuada em termos de produtividade.

Quanto às adubações nitrogenadas e potássica, têm ocorrido respostas com menor intensidade e frequência. O uso de solos, com características físicas e químicas limitantes, tem contribuído para o baixo rendimento. Os solos devem ser escolhidos, preparados, corrigidos e adubados conforme preferência/exigência da cultura. Há evidência que a mandioca tolera as condições de acidez do solo (SOUZA et al., 1990).

O plantio é normalmente feito no início da estação chuvosa. A utilização de variedades é um dos componentes do sistema de produção que contribui para o aumento da produtividade sem elevar os custos de produção. O grande número de variedades existentes no Brasil permite a escolha mais adequada das mesmas de acordo com a região e a finalidade de exploração da cultura (FUKUDA, 1989).

Os principais continentes produtores de mandioca estão relacionados no **Quadro 1**, onde verificamos a área plantada e o rendimento obtido.

**Quadro 1** – Principais continentes produtores de mandioca.

| Continentes | Área plantada (m <sup>2</sup> /ha) | Rendimento ( t/ha) |
|-------------|------------------------------------|--------------------|
| África      | 9804,48                            | 8,46               |
| Ásia        | 3351,12                            | 14,37              |
| Américas    | 2596,72                            | 12,22              |
| Oceania     | 2584,40                            | 11,57              |

Fonte: FAO, 2001.

Observamos que, o valor nutricional e as características químicas da mandioca são fatores que incrementam a sua utilização e produção em todo o mundo ( EL-DASH, 1987).

Porém a perda da qualidade das raízes armazenadas, ocasionada por fatores fisiológicos, microbiológicos ou por agentes físicos, tem sido um dos maiores inconvenientes para a comercialização das raízes, pois as estas não resistem mais que alguns dias (WHEATLEY, 1985; PAIVA, 1994b). Estes fatores associados promovem deteriorações fisiológicas e microbiológicas. Estas perdas foram estimadas por VILPOUX (1996), na ordem de 15 a 25 % do total da produção brasileira.

Neste contexto a irradiação de alimentos adotada hoje em cerca de 40 países tem se destacado como um processo de conservação. Dentre as vantagens do mesmo podemos citar: a temperatura do alimento não sofre alterações significativas, o produto pode ser estocado por um período mais prolongado mesmo sem refrigeração e ainda o fato de não oferecer risco toxicológico. É importante frisar que o alimento irradiado não entra em contato com a fonte radioativa, não se tornando radioativo. Desde 1963 o FDA (Food and Drug Administration) permitiu o uso da radiação gama em alimentos (DIEHL, 1990; OMS, 1995).

Segundo BRADFORD & LOAHARANV (1993) trata-se de um processo através do qual os alimentos são expostos, a granel ou em embalagens, a uma dose controlada de radiação gama. Esta dose aplicada adequadamente se mostra efetiva na redução da população microbiana que causam deterioração e representam riscos a saúde humana, diminui ou elimina a infestação de insetos em grãos e retarda o amadurecimento de frutas. Como consequência permite a redução das perdas pós-colheita como também diminui a incidência de resíduos químicos nos alimentos, dispensando o uso de fumigantes e outros pesticidas, acarretando uma redução dos riscos de infecções alimentares causadas por patógenos, além da melhor manutenção das características naturais dos alimentos por um período maior, por se tratar de um processo que não envolve elevação de temperatura.

Os processos de irradiação regulamentados pela Organização para Agricultura e Alimentação (FAO), pela Agência Internacional de Energia Atômica (IAEA) e pela Organização Mundial de Saúde (OMS) envolvem a utilização de raios gama emitidos pela desintegração radioativa do <sup>60</sup>Co e <sup>137</sup>Cs e mostram que qualquer alimento irradiado na dose média de 10 kGy é seguro não induzindo problemas na qualidade nutricional, com total eliminação de microrganismos patogênicos (OMS, 1995).

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 – Aspectos da Cultura da Mandioca

#### 2.1.1 – Origem da planta

Embora a região exata do centro de origem da mandioca não tenha sido determinada com precisão, estima-se através de evidências arqueológicas que esta planta surgiu nas Américas entre as latitudes de 30° Norte e 30° Sul, depois da descoberta do novo mundo (COCK et al., 1985).

Áreas secas como parte da Guatemala, parte do nordeste do Brasil, oeste e sul do México têm sido indicadas como as regiões específicas, de onde se originou a mandioca (LOZANO, 1985; ABAM, 1998).

Segundo CARDOSO (1998) foram identificadas cerca de 200 espécies do gênero *Manihot*, família Euphorbiaceae, porém a *Manihot esculenta* Crantz, é a de maior importância econômica. Comumente conhecida no Brasil como mandioca, aipim, macaxeira, dependendo da região onde é cultivada.

Algumas referências citam que, a maioria das espécies selvagens desse gênero no estado natural, foi encontrada no Brasil, concluindo que o Brasil poderia ser o centro de origem da mandioca (EMBRAPA, 2003).

A região amazônica é apontada como o possível centro de origem, de onde se irradiou para o norte, chegando as Antilhas, América Central e parte sul da América do Norte. Sendo cultivada em todas regiões tropicais, é considerada em várias delas como a principal planta de subsistência e de importância econômica (IEA, 2004).

#### 2.1.2 – Propagação

A importância que a mandioca adquiriu nos últimos anos, graças à sua aplicação industrial, criou a necessidade de incrementar a sua área de cultivo. Uma das principais limitações para alcançar este objetivo, tem sido a insuficiente disponibilidade de material para o plantio, devido a sua propagação vegetativa e ao sistema tradicional para a obtenção das estacas para plantio (de uma planta madura obtém-se de 10 a 20 estacas de 20 centímetros, dependendo da variedade), que apresenta uma taxa de multiplicação muito baixa. Assim, para a mandioca, o fator de multiplicação por planta/ano varia entre 10 e 20, o qual é consideravelmente inferior ao fator de multiplicação dos cereais. Este problema também tem limitado a distribuição aos agricultores, de suficiente quantidade de estacas ou manivas de novas variedades, produtivas e livres de doenças. O Centro Internacional de Agricultura Tropical, em Cali – Colômbia, desenvolve sistemas de propagação mais rápidos, simples e de baixo custo, os quais aumentam o fator de multiplicação por planta/ano (VILPOUX, 1996).

#### 2.1.3 – Condições edafoclimáticas

A mandioca absorve grandes quantidades de nutrientes e praticamente exporta tudo o que foi absorvido, quase nada retornando ao solo sob a forma de resíduos culturais: as raízes tuberosas são destinadas à produção de farinha, fécula e outros produtos, bem como para a alimentação humana e animal; a parte aérea (manivas e folhas), para novos plantios, alimentação humana e animal (HOWELER, 1981). Para DINIZ (1994), em média, de uma produção de 25 toneladas de raízes e da parte aérea de mandioca por hectare são extraídos 123 kg de N, 27 kg de P, 146 kg de K, 46 kg de Ca e 20 kg de Mg; assim, a ordem decrescente de absorção de nutrientes é a seguinte:  $K > N > Ca > P > Mg$ .

No Brasil, de modo geral, não se tem conseguido aumentos acentuados na produção da mandioca pela aplicação de calcário, mesmo em solos ácidos, confirmando a tolerância da cultura à acidez do solo. No entanto, após vários cultivos na mesma área, é possível que a planta responda à aplicação de calcário, principalmente como suprimento de cálcio e magnésio, terceiro e quinto nutrientes mais absorvidos pela cultura (HOWELER, 1981).

SANTOS et al. (1995) avaliaram que quanto à adubação, a mandioca tem apresentado respostas pequenas à aplicação de nitrogênio, mesmo em solos com baixos teores de matéria orgânica, embora ele seja o segundo nutriente mais absorvido pela planta. Possivelmente, esse fato deve-se à presença de bactérias diazotróficas, fixadoras de nitrogênio atmosférico, no solo da rizosfera, nas raízes absorventes, nas raízes tuberosas e nas manivas da mandioca. Em função disso, a adubação com nitrogênio não deve ser motivo de maiores preocupações.

Embora o fósforo não seja extraído em grandes quantidades pela mandioca TANAKA et al. (1981) concluíram que sua aplicação adquire maior importância, pois os solos brasileiros em geral, e em

particular os cultivados com mandioca, normalmente classificados como marginais, são pobres nesse nutriente. Por esta razão, é grande a resposta da cultura à adubação fosfatada.

Quanto ao potássio, nutriente extraído em maior quantidade pela mandioca, como os solos cultivados normalmente apresentam teores baixos a médios deste nutriente e apresentam também baixa capacidade de renovar o potássio trocável do solo, o esgotamento do mesmo é atingido rapidamente, normalmente após dois a quatro cultivos repetidos na mesma área. Logo, embora a resposta à adubação potássica seja baixa nos primeiros cultivos numa área, após vários cultivos ela torna-se evidente (GOMES et al., 1983).

A calagem e adubação em mandioca devem obrigatoriamente ser definidas em função da análise química do solo, realizada com antecedência de pelo menos 60 dias do plantio, para que haja tempo suficiente para aquisição dos insumos e sua aplicação. Aconselha-se o limite máximo de uma tonelada de calcário por hectare (GOMES, 1998).

A mandioca é cultivada entre 30 graus de latitudes Norte e Sul, embora sua concentração de plantio esteja entre as latitudes 15°N e 15°S. Suporta altitudes que variam desde o nível do mar até cerca de 2.300 metros, sendo as regiões baixas ou com altitude de até 600 a 800 metros as mais favoráveis (EMBRAPA-SPI, 1996).

Segundo SOUZA et al. (1990) a faixa ideal de temperatura situa-se entre 20 a 27°C (média anual). As temperaturas baixas, em torno de 15°C, retardam a brotação e diminuem ou mesmo paralisam sua atividade vegetativa, entrando em fase de repouso (repouso vegetativo), o que ocorre em geral no Sul do Brasil.

A faixa mais adequada de chuva é entre 1.000 a 1.500 mm/ano, bem distribuídos. Em regiões tropicais, a mandioca produz em locais com índices de até 4.000 mm/ano, sem estação seca em nenhum período do ano; nesse caso, é importante que os solos sejam bem drenados, pois o encharcamento favorece a podridão de raízes. É também muito cultivada em regiões semi-áridas, com 400 a 700 mm de chuva por ano ou menos; nessas condições, é importante adequar a época de plantio, para que não ocorra deficiência de água nos primeiros cinco meses de cultivo, o que prejudica a produção; a deficiência de água após os primeiros cinco meses de cultivo, quando as plantas já formaram suas raízes tuberosas, não causa severas reduções na produção (OLIVEIRA et al., 1982).

O período de luz ideal está em torno de 12 horas/dia. Dias com períodos de luz mais longos favorecem o crescimento de parte aérea e reduzem o desenvolvimento das raízes tuberosas, enquanto que os períodos diários de luz mais curtos promovem o crescimento das raízes tuberosas e reduzem o desenvolvimento dos ramos. Esse aspecto é importante no Sul do Brasil, onde o número de horas de sol por dia varia bastante entre as estações do ano; no Nordeste a variação é muito pequena e não afeta a cultura (LOZANO, 1985).

No semi-árido brasileiro, que ocupa cerca de 85% do Nordeste e 18% do País, vários fatores contribuem para retardar o desenvolvimento da atividade agropecuária. Em geral, as precipitações anuais estão entre 400 e 800 mm, variando, também, as épocas de início e fim da estação chuvosa. A instabilidade climática é caracterizada mais pela irregularidade da distribuição de chuvas do que por sua escassez, sendo a chuva concentrada num único período de 4 a 5 meses. A evaporação média anual é de 2000 mm, com umidade relativa do ar média anual de 50%. As temperaturas médias são elevadas (23°C a 27°C), variando pouco, com amplitudes diárias de 10°C, mensais de 5°C a 10°C e anuais de 1°C a 5°C. A insolação média é de 2.800 horas por ano (RIBEIRO, 1998).

Nessa região, a mandioca é afetada por diversos fatores abióticos (relacionados ao clima e solos), cujo principal é a deficiência de água, e bióticos (devido a doenças e pragas), cujos principais são: podridão radicular, bacteriose e superbrotamento (doenças); ácaros, mosca-branca e percevejo de renda (pragas) (LOZANO, 1985).

De acordo com FUKUDA & BORGES (1989), as cultivares Marogogipe, Saracura, Manteiga, Casca Roxa e Paraguai são indicadas para ambientes com condições semelhantes a de Cruz das Almas (BA), com uma precipitação média de

120mm/ano, temperaturas médias de 24°C e umidade relativa em torno de 80%, podendo no entanto, adaptar-se a outros ambientes.

#### **2.1.4 – Colheita**

Segundo MATTOS (1982a) & ABAM (1998), nas regiões em que se predominam indústrias de produtos de mandioca, a colheita é feita geralmente nos períodos secos e quentes ou secos e frios, entre as estações chuvosas, pois as raízes apresentam suas qualidades desejáveis em seu mais alto grau. Nas Regiões Norte e Nordeste, em que a mandioca é considerada produto de subsistência, a colheita ocorre o ano inteiro, para atender ao consumo e à comercialização nas feiras livres.

SOUZA et al. (1990) avaliaram que o início da colheita da mandioca depende de diversos fatores técnicos e ambientais que são descritos a seguir:

##### Técnicos:

- a) ciclo das cultivares (precoces - 10-12 meses; semiprecoces - 14-16 meses; e tardias - 18-20 meses);
- b) ocorrências observadas ao longo do ciclo de cada cultivar ou de cada gleba, como o ataque de pragas ou doenças, que podem antecipar ou retardar a colheita;
- c) condições em que se encontram as diferentes áreas de mandioca na ocasião da colheita, como o grau de infestação de plantas daninhas e a recuperação das plantas, por exemplo, do ataque de mandarovás e/ou de ácaros, já tendo ocorrida a reposição do amido consumido na reconstituição da parte aérea danificada; e
- d) sistema de plantio em relação às condições de umidade do solo, desde quando nas culturas instaladas em covas ou camalhões, as raízes de reserva se desenvolvem mais superficialmente em relação ao nível do solo, o que não acontece quando o plantio é em sulcos (MATTOS, 1982b; ABAM, 1998).

##### Ambientais:

- a) condições de solo e clima, que determinam as facilidades e dificuldades para a colheita das plantas.
- b) estado das estradas e dos caminhos de acesso ao mandiocal;

Outros aspectos de caráter econômico, da cultura da mandioca, são relacionados por CARDOSO (1998), a saber:

- a) situação do mercado e dos preços dos produtos;
- b) disponibilidade de mão-de-obra e de recursos de apoio, pois a colheita da mandioca é a operação do sistema de produção que requer maior emprego do elemento humano, sendo mais dificultada em solo endurecido, com cultivar ramificada e com maior infestação de ervas daninhas. Um homem colhe 600 a 800 kg de raízes de mandioca numa jornada de trabalho de oito horas, podendo alcançar até 1.000 kg se o mandiocal estiver em solo mais arenoso, limpo e com boa produção por planta;
- c) premência de tempo, em casos em que, por exemplo, compromissos financeiros ou de âmbito contratual devem ser satisfeitos dentro da época preestabelecida, apesar de não combinarem com a época da colheita da mandioca.

As épocas mais indicadas para colher a mandioca são aquelas em que as plantas encontram-se em período de repouso, ou seja, quando pelas condições de clima e do ciclo elas já diminuíram o número e o tamanho das folhas e dos lobos foliares, condição em que atinge o máximo de produção de raízes com elevado teor de amido (GOMES et al., 1983a).

Segundo SOUZA et al. (1990) embora já existam implementos mecanizados de fabricação nacional, a colheita da mandioca é realizada manualmente ou com auxílio de implementos, tendo duas etapas: a) poda das ramas, efetuada a uma altura de 20 a 30 cm acima do nível do solo; e b) colheita das raízes, com a ajuda de ferramentas, a depender das condições de umidade e/ou características do solo.

Após a colheita das raízes, estas devem ser amontoadas em pontos na área a fim de facilitar o recolhimento pelo veículo transportador, devendo-se evitar que permaneçam no campo por mais de 24 horas, para que não ocorra a deterioração fisiológica e/ou bacteriológica. O carregamento das raízes do campo até o local do beneficiamento é feito em geral por meio de cestos, caixas, sacos e grades de madeira (ABAM, 1998).

As raízes da mandioca são uma ótima fonte energética, onde estão também presentes compostos cianogênicos potenciais, que oferecem riscos à saúde em caso de processamento inadequado. Estas podem ser usadas para consumo de mesa ("aipim" ou "mandioca mansa", com baixo teor de compostos cianogênicos potenciais, concentração menor que 100 ppm) ou de forma industrial ("mandioca" ou "mandioca brava", com alto teor de compostos cianogênicos potenciais, concentração maior que 100 ppm). No Norte e em alguns Estados do Nordeste a "mandioca mansa" também é conhecida por "macaxeira" (CARVALHO, 1979; TELES, 1995).

Em termos tecnológicos, o escurecimento enzimático é um fator importante a ser considerado no processamento. Após a colheita e com o descascamento, inicia-se esse processo de deterioração de forma mais intensa, que pode ser parcialmente evitada com a aplicação de tratamentos antioxidantes (por exemplo, por imersão em solução diluída de ácidos orgânicos) e/ou branqueamento (tratamento térmico brando), que podem também reduzir o valor nutricional (LOZANO, 1985; KATO, 1987).

SOUZA et al. (1990) avaliaram que outro fator relevante que interfere na deterioração das raízes de mandioca é a poda. Observou-se que efetuando a poda da parte aérea na planta em estado vegetativo e procedendo a colheita após duas a três semanas, as raízes se conservam por mais tempo. Pode-se perceber a influência da poda na deterioração das raízes observando-as após duas semanas, sendo que o efeito máximo é alcançado, colhendo-se as raízes três semanas após a poda. Embora para PAIVA (1994b), apesar do efeito da poda contribuir na redução da deterioração fisiológica, podendo prolongar por até nove semanas a conservação das raízes, há uma correspondente redução no teor de amido das mesmas, devido à sua utilização, pela planta, no processo de rebrota, além de afetar a textura e a qualidade culinária quando comparadas com as plantas não podadas.

Segundo FUKUDA & BORGES (1989), a colheita pode ser efetuada a partir dos 8 meses de idade até o 12º mês. A partir daí, as raízes das cultivares estudadas (Marogogipe, Saracura, Manteiga, Casca Roxa e Paraguai) começam a tornar-se fibrosas e difíceis de cozinhar.

## **2.2 – Principais produtos e derivados**

A mandioca industrializada pode dar origem a inúmeros produtos e subprodutos, dentre os quais se destacam a farinha e a fécula, também chamada de amido, tapioca ou goma. Nesse caso, as cultivares devem apresentar alta produção e qualidade do amido e da farinha. Além disso, é importante que as cultivares apresentem raízes com polpa de coloração branca ou amarela, córtex branco, ausência de cintas nas raízes, película fina e raízes grossas e bem conformadas, o que facilita o descascamento e garante a qualidade do produto final (FUKUDA et al., 1997). Os principais produtos derivados do "aipim" ou "mandioca mansa" são os minimamente processados ou os processados como mandioca pré-cozida

congelada ou frita, como os "chips". Os principais produtos derivados da "mandioca" ou "mandioca brava" são a farinha seca (EMBRAPA-CNPMF, 2003).

Destaca-se ainda na redução da mortalidade infantil, o uso de uma mistura alimentar simples, à base de farinha extraída da folha da mandioca (SARMENTO, 1999).

Outro destaque está relacionado à carência de vitamina A na alimentação das crianças que vivem no semi-árido nordestino é uma das principais causas da xerofthalmia, infecção secundária na mucosa ocular que leva à cegueira, na região. A solução para o problema está numa planta altamente resistente aos longos períodos de seca, a mandioca amarela (FUKUDA, 1997).

A variedade, rica em vitamina A, está sendo pesquisada em Cruz das Almas, pela Embrapa Mandioca e Fruticultura, através do projeto "Biofortificação" com a cultura da mandioca. Em quatro anos, a equipe responsável pelo projeto já identificou sete variedades de mandioca amarela e desenvolveu oito mil híbridos. A engenheira agrônoma Vera Fukuda, coordenadora do projeto, explicou que a intenção da pesquisa é ajudar no combate à fome nutricional, ou seja, carência de vitaminas e microelementos, através da oferta de alimentos enriquecidos. Sendo que a vantagem da mandioca amarela é que essa variedade, além do teor vitamínico, é resistente à seca e de fácil adaptação ao Nordeste. Além disso, ela não contém ácido cianídrico, substância tóxica encontrada na mandioca comum. A planta pode ser consumida tanto cozida, quanto frita. Antes de fritar, ela não precisa ser pré-cozida, e dessa forma, atua ainda substituindo a batata-do-reino (SEAGRI, 2004).

### **2.3 – Doenças**

A crença de que, dada a sua rusticidade, a mandioca possui a capacidade de desenvolver-se bem em condições adversas, faz com que essa cultura seja implantada em condições de recursos naturais desfavoráveis, ou seja, condições em que mesmo as pesquisas têm ação limitada na solução de problemas, logo colocando a cultura em desvantagem, quando comparada com outros produtos (VILPOUX, 1996).

Segundo FUKUDA (1997) uma característica agrônômica relevante da cultura da mandioca, refere-se à possibilidade de suas raízes serem armazenadas no próprio solo por um período razoável sem perdas consideráveis de qualidade e rendimento. Em outras palavras, a versatilidade de ser colhida com diferentes idades permite aos produtores melhor aproveitar as oportunidades de mercado e, em função da demanda, fazer ajustes alternativos dentro das unidades de produção.

A convivência com pragas e doenças, foi avaliada por FUKUDA (1993), como um indicador da grande potencialidade para os sistemas produtivos de mandioca integrarem programas de produção de alimentos com baixa agressão ao ambiente, uma vez que o uso de agrotóxicos, no Brasil e, em especial na região nordeste, é praticamente desprezível nesta cultura.

#### **2.3.1 – Podridão radicular**

A podridão radicular é a doença mais limitante da produção de mandioca na Região Nordeste, sendo que as perdas de produtividade nas áreas de maior ocorrência da doença estão em torno de 30%. Os mais importantes agentes causadores da podridão radicular são os fungos *Phytophthora* sp e *Fusarium* sp, não somente pela abrangência geográfica, mas principalmente pelas severas perdas na produção (LOZANO, 1985).

Os sintomas da podridão radicular são bastante distintos em função dos agentes causais. Normalmente, *Phytophthora* sp ataca a cultura na fase adulta, causando podridões "moles" nas raízes, com odores muito fortes, semelhantes ao de matéria

orgânica em decomposição; mostram uma coloração acinzentada que se constitui dos micélios ou mesmos esporos do fungo nos tecidos afetados (FUKUDA, 1997).

O aparecimento de sintomas visíveis é mais freqüente em raízes maduras; entretanto, existem casos de manifestação de sintomas na base das hastes jovens ou em plantas recém-germinadas, causando murcha e morte total. No caso do *Fusarium* sp, os sintomas podem ocorrer em qualquer fase do desenvolvimento da planta e raramente causam danos diretos nas raízes. O ataque ocorre no ponto da haste junto ao solo, causando infecções e muitas vezes obstruindo totalmente os tecidos vasculares, impedindo a livre circulação da seiva e, conseqüentemente, provocando podridão indireta das raízes. Ao contrário de *Phytophthora* sp, os sintomas provocados nas raízes pelo ataque de *Fusarium* sp são caracterizados por uma podridão de consistência seca e sem o aparente distúrbio dos tecidos (FUKUDA, 1993).

As medidas de controle da podridão radicular envolvem a integração do uso de variedades tolerantes, associado a práticas culturais como rotação de culturas, manejo físico e químico do solo, sistemas de cultivo e outras. Na Região Norte, trabalhos de pesquisa executados nas várzeas mostraram que o uso de variedade tolerante, associado à rotação de culturas e sistemas de plantio, reduziu a podridão em cerca de 60% (FUKUDA, 1995).

#### **2.3.2 – Outras doenças**

Segundo FUKUDA (1993) no caso das viroses (o “mosaico das nervuras”, o “couro de sapo” e o “mosaico comum”) podem ocorrer significativas perdas no teor de amido das raízes. Como métodos de controle das viroses são sugeridos: a seleção de material de plantio, uso de variedades resistentes e eliminação de plantas afetadas dentro do cultivo.

Em alguns casos, dependendo das condições ambiente e da suscetibilidade das variedades utilizadas, a antracnose causada por *Colletotrichum gloeosporioides* pode causar prejuízos esporádicos ou temporários na mandioca; em determinadas épocas ela ocorre de maneira mais intensiva, causando perdas significativas na produção de raízes e redução da qualidade dos produtos (FUKUDA, 1981).

#### **2.4 – Potencialidades agronômicas**

Com base nas características nutricionais da cultura da mandioca, indicaram que a mesma pode substituir o milho, total ou parcialmente, na alimentação animal, seja em confinamento ou como complementação alimentar nos períodos críticos. Deve ser ressaltado que o nível de substituição depende da espécie animal considerada (MACHADO, 1983; SAMPAIO, 1994).

Ainda quando comparada com o milho, estudos de SRIROTH et al. (2000), apontam no sentido de que a mandioca possui um balanço energético positivo, ou seja, a produção por unidade de área, quando transformada em energia é maior do que a quantidade de insumos gastos, também transformado em energia. A título de exemplo, a produção energética no Brasil, considerando-se ambas as culturas, foi de  $17,11 \cdot 10^6$  kcal ED/ha e  $16,29 \cdot 10^6$  kcal EM/ha para a mandioca e de  $5,95 \cdot 10^6$  kcal ED/ha e  $5,58 \cdot 10^6$  kcal EM/ha para o milho (ED = energia digestível, EM = energia metabolizável).

Segundo SILVA (1994), os valores relativos ao aproveitamento energético em termos de ED e EM, seriam equivalentes se fosse possível a produção de aproximadamente três safras de milho no mesmo período de tempo da produção de uma safra de mandioca, o que certamente, só aconteceria se houvessem altos investimentos em sistemas de uso intensivo de energia, o que tornaria o balanço energético também negativo.

O **Quadro 2** apresenta os valores (medidos em kg) da produção de proteína e matéria seca por hectare/ano da farinha de folha e raiz de mandioca, trigo, milho e soja.

**Quadro 2** – Rendimento de algumas culturas no Vale do Paranapanema (SP) e Região de Campo Mourão (PR) em kg de matéria seca e proteína por hectare.

| Especificações        | Mandioca         |                                       | Trigo       | Milho       | Soja        |
|-----------------------|------------------|---------------------------------------|-------------|-------------|-------------|
|                       | Farinha da folha | Raiz                                  |             |             |             |
| Produção (t/ha)       | 2,42             | 30 <sup>(1)</sup> – 60 <sup>(2)</sup> | 1,7 – 2,5   | 2,8 – 5,0   | 2,0 – 3,0   |
| Ciclo (dias)          | 365              | 540                                   | 125         | 140         | 130         |
| Matéria seca (%)      | 88               | 38                                    | 86          | 68          | 86          |
| Proteína (%)          | 27               | 1                                     | 10          | 8           | 35          |
| Matéria seca (t/ha)   | 2,3              | 11,4 – 22,8                           | 1,5 – 2,1   | 2,4 – 4,3   | 1,7 – 2,6   |
| Mat. seca (kg/ha/dia) | 5,8              | 21,1 – 42,2                           | 11,7 – 17,2 | 17,2 – 30,7 | 13,2 – 19,8 |
| Proteína (kg/ha)      | 653,4            | 300 – 600                             | 170 – 250   | 224 – 400   | 700 – 1050  |
| Proteína (kg/ha/dia)  | 1,79             | 0,56 – 1,11                           | 1,36 – 2,0  | 1,60 – 2,86 | 5,38 – 8,08 |

Fonte: VILPOUX, 1996.

(1) Valores médios da região.

(2) Valores obtidos por alguns produtores.

O **Quadro 2** apresenta os valores (medidos em Kg) da produção de proteína e matéria seca por hectare/ano da farinha de folha e raiz de mandioca, trigo, milho e soja. Desta tabela, pode-se observar que a farinha de folha de mandioca apresenta teor de proteína inferior apenas a soja. Deve-se salientar que, nas estimativas, foram computadas apenas uma colheita anual das folhas de mandioca. No entanto, colheitas mais frequentes da parte aérea podem ser efetuadas sem comprometer o rendimento das raízes.

Por outro lado, um aspecto que deve ser considerado em favor à cultura da mandioca diz respeito aos aspectos de segurança alimentar, principalmente nas unidades de produção do tipo familiar, situadas em regiões onde as condições agroambientais limitam o cultivo de outras culturas. Neste particular, essa cultura além de ser importante como fonte de carboidratos para alimentação humana é utilizada também na alimentação de pequenos rebanhos (bovino, suíno e avícola), que são elementos significativos na composição da renda nessas unidades de produção (CARDOSO, 1995).

Na África, o papel da mandioca na estabilização da segurança alimentar é verificado de forma satisfatória quando a produção destina-se ao consumo doméstico, devido entre outros fatores, ser menos sensível às condições ambientais adversas e possuir um baixo custo de estocagem. Esses resultados são perfeitamente compatíveis com as condições do Nordeste brasileiro. Além disso a capacidade para utilizar um contingente não desprezível de mão-de-obra não pode deixar de ser considerado como um indicador de competitividade nas condições onde esse fator de produção é abundante. Dado o baixo custo de oportunidade desse fator naquelas condições é razoável supor que o cultivo dessa cultura significa uma maior oferta de emprego (PRUDENCIO & AL-HASSAN, 1994).

FUKUDA & BORGES (1989) avaliaram alguns cultivares de mandioca de mesa, destacando-se a cultivar Saracura que apresentou um rendimento de 45,78 t/ha.

#### 2.4.1 – Seleção de cultivares

Alguns trabalhos têm sido realizados para se verificar as possíveis modificações nos constituintes químicos das raízes de mandioca durante o armazenamento e correlacionar as possíveis

alterações com a qualidade das raízes (CARVALHO, 1982; CAMPOS, 1990; KATO, 1991; GREGÓRIO, 1993).

Diversos constituintes físico-químicos das raízes são responsáveis pelas diferenças varietais, destacando-se os envolvidos em reações que provocam o escurecimento de tecidos, tais como, as dos compostos fenólicos e suas enzimas (HERNANDEZ & GUILLEN, 1984).

As cultivares de mandioca apresentam adaptação específica a determinadas regiões e dificilmente uma mesma cultivar se comporta de forma semelhante em todos os ecossistemas. Um dos motivos para isso é o grande número de pragas e doenças que afetam o cultivo, restritas a determinados ambientes. Isso justifica, em parte, a grande diversidade de cultivares utilizadas pelos agricultores de mandioca do Brasil (RIBEIRO, 1998).

Segundo GREGÓRIO (1993) as cultivares de mandioca são classificadas em: 1) doces ou de "mesa", também conhecidas como aipim, macaxeira ou mandioca mansa e normalmente utilizadas para consumo fresco humano e animal; e 2) amargas ou mandiocas bravas, geralmente usadas nas indústrias.

Para consumo humano, a principal característica é que as cultivares apresentem menos de 100 ppm de ácido cianídrico (HCN) por quilograma de raízes. O teor de HCN varia com a cultivar, com o ambiente e com o estado fisiológico da planta, que é um fator decisivo na escolha da cultivar de aipim (TELES, 1995).

Alguns caracteres de natureza qualitativa também são importantes, como é o caso do tempo de cozimento das raízes, que varia de acordo com a cultivar e com a idade de colheita. É comum variedades de aipim ou macaxeira passarem um determinado tempo de seu ciclo "sem cozinhar", o que é um fator crítico para o mercado *in natura*. Outras características referentes à qualidade, tais como ausência de fibras na massa cozida, resistência à deterioração pós-colheita, facilidade de descascamento das raízes, raízes bem conformadas são também importantes para o mercado consumidor de mandioca para mesa e devem ser consideradas na escolha da cultivar. Cultivares de mandioca para mesa em geral devem apresentar um ciclo mais curto (8 a 14 meses) para manter a qualidade do produto final. Em geral, cultivares tardias, não cozinham no fim do ciclo, e quando cozinham apresentam má qualidade da massa cozida, principalmente a presença de fibras (VILELA, 1987; TAVARES, 1998).

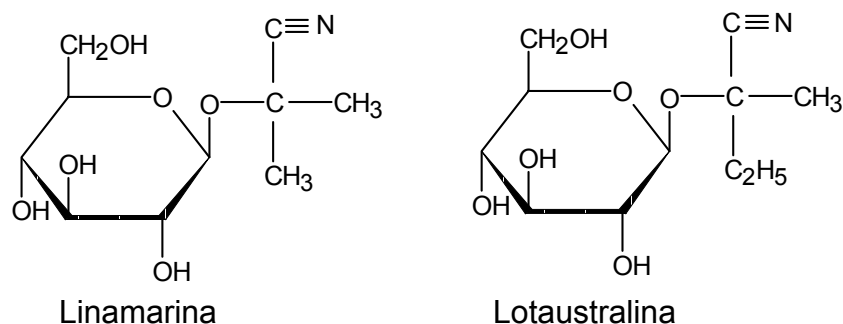
Como o teor de HCN nas raízes é liberado durante o processamento, na indústria podem ser utilizadas tanto cultivares de mandioca mansa como brava. A mandioca industrializada pode dar origem a inúmeros produtos e subprodutos, dentre os quais se destacam a farinha e a fécula, também chamada de amido, tapioca ou goma. Nesse caso, as cultivares devem apresentar alta produção e qualidade do amido e da farinha. Além disso, na maioria das regiões do Brasil é importante que as cultivares apresentem raízes com polpa, córtex e película de coloração branca, ausência de cintas nas raízes, película fina e raízes grossas e bem conformadas, o que facilita o descascamento e garante a qualidade do produto final (MATSUURA, 1998).

Toda a planta da mandioca pode ser usada na alimentação de vários animais domésticos, como bovinos, aves, caprinos, ovinos e suínos. As raízes são fontes de carboidratos; a parte aérea, incluindo as manivas, fornecem carboidratos e proteínas, estas últimas concentradas nas folhas (MACEDO, 1980).

Para a alimentação animal, o ideal é que as cultivares apresentem alta produtividade de raízes, de matéria seca e de parte aérea, com boa retenção foliar e altos teores de proteínas nas folhas. O teor de ácido cianídrico deve ser baixo, tanto nas folhas como nas raízes, para evitar intoxicação dos animais. Pode-se reduzir o teor de HCN das raízes e folhas para níveis adequados ao consumo animal, triturando-as e secando-as ao sol (MATSUURA, 1998).

## 2.5 – Aspectos toxicológicos

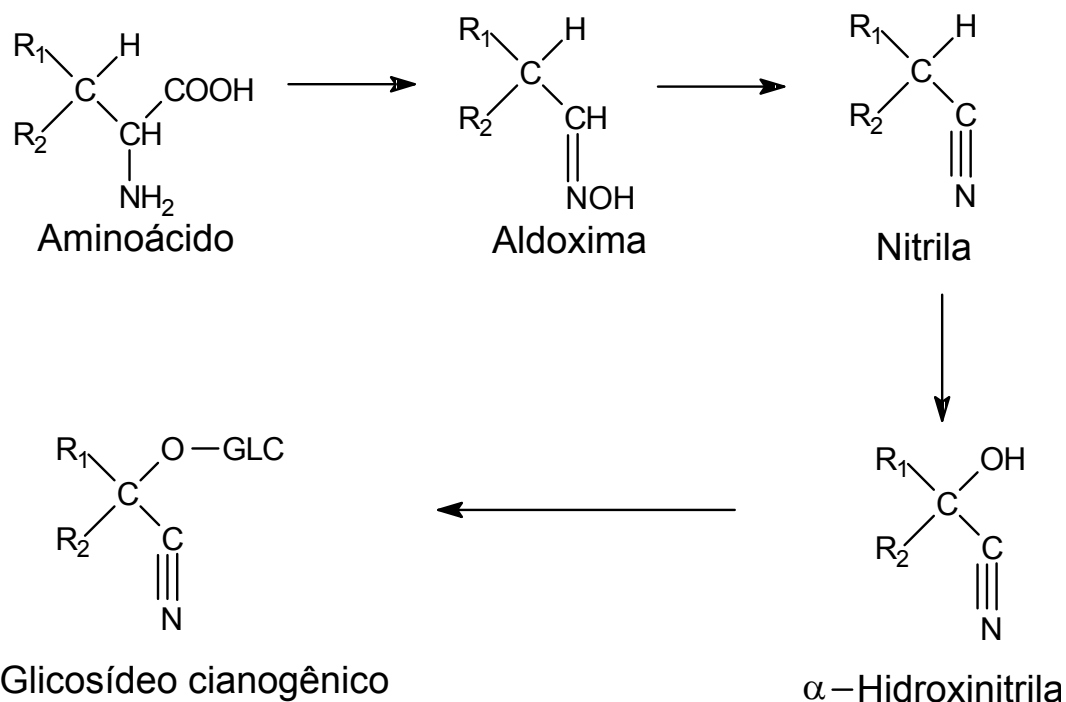
HERNANDEZ & GUILLEN (1984) relataram a ocorrência de quatro a cinco glicosídeos cianogênicos, sendo os principais a linamarina e a lotaustralina.



Estes glicosídeos são encontrados em todas as partes da planta, em concentrações variadas, sendo as folhas bem mais tóxicas que as raízes. Há variações também devidas à idade da planta, variedades, condições ambientais, condições do solo, clima, tratos culturais, etc. Já no final do século XIX, Theodore Peckolt afirmava que não havia ácido cianídrico livre na raiz intacta da mandioca. Seu aparecimento deve-se a traumatismo dos tecidos. Esta afirmação foi comprovada em experimentos posteriores, o que do ponto de vista toxicológico (torna necessário a determinação do cianeto livre) é apenas a avaliação do traumatismo sofrido, uma vez que, em nenhum momento da síntese desses glicosídeos, o HCN aparece livre.

Os glicosídeos, através de um processo de hidrólise ácida ou enzimática, podem liberar: ácido cianídrico (HCN), uma ou mais moléculas de açúcar, um aldeído ou uma cetona. O principal responsável pela toxicidade das mandiocas é o ácido cianídrico, embora haja possibilidade de existência de outros produtos tóxicos, tais como alcalóides e proteínas tóxicas, lembrando que dois dos maiores tóxicos vegetais são encontrados em uma euforbiácia: a ricina (proteína) e a ricinina (alcalóide). A intoxicação alimentar, pelos glicosídeos cianogênicos, se iniciam juntamente com o processo digestivo em sua primeira fase, hidrólise ácida seguida de hidrólise enzimática pela microflora intestinal (TELES, 1995).

A **Figura 1** apresenta o caminho metabólico da síntese dos principais glicosídeos cianogênicos encontrados na mandioca.



**Figura 1** – Biossíntese de glicosídeos cianogênicos a partir de um aminoácido precursor. Para linamarina,  $\text{R}_1 = \text{R}_2 = \text{CH}_3$  e o aminoácido é a valina. Para a lotaustralina,  $\text{R}_1 = \text{C}_2\text{H}_5$ ,  $\text{R}_2 = \text{CH}_3$  sendo o aminoácido a isoleucina. Para a prunasina,  $\text{R}_1 = \text{fenil}$ ,  $\text{R}_2 = \text{H}$  e o aminoácido é a fenilalanina. Para a durrina,  $\text{R}_1 = \text{p-hidroxifenil}$ ,  $\text{R}_2 = \text{H}$  e o aminoácido é a tirosina (TELES, 1995).

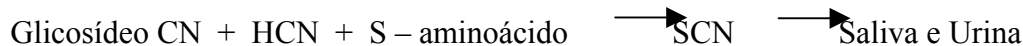
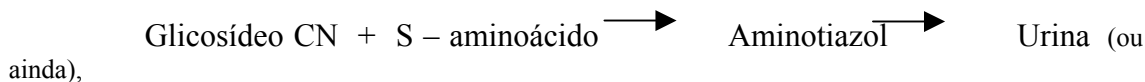
Segundo CARVALHO (1979) os glicosídeos na presença de ácidos diluídos a quente e no caso de tecidos vegetais sob a ação de enzimas, sofrem hidrólise e liberam (HCN) que além de venenoso é um potente inibidor da atividade enzimática na cadeia respiratória. A ação das enzimas começa com a destruição da estrutura celular da planta, o que propicia o contato enzima e substrato. A presença simultânea dos glicosídeos cianogênicos e da enzima é que confere às plantas o caráter cianogênico, como se pode observar na classificação abaixo:

- Plantas cianogênicas – glicosídeos cianogênicos + enzimas.
- Plantas acianogênicas – glicosídeos cianogênicos sem enzimas.
- Plantas acianogênicas – enzimas sem glicosídeos cianogênicos.
- Plantas acianogênicas – não apresentam glicosídeos cianogênicos e nem enzimas.

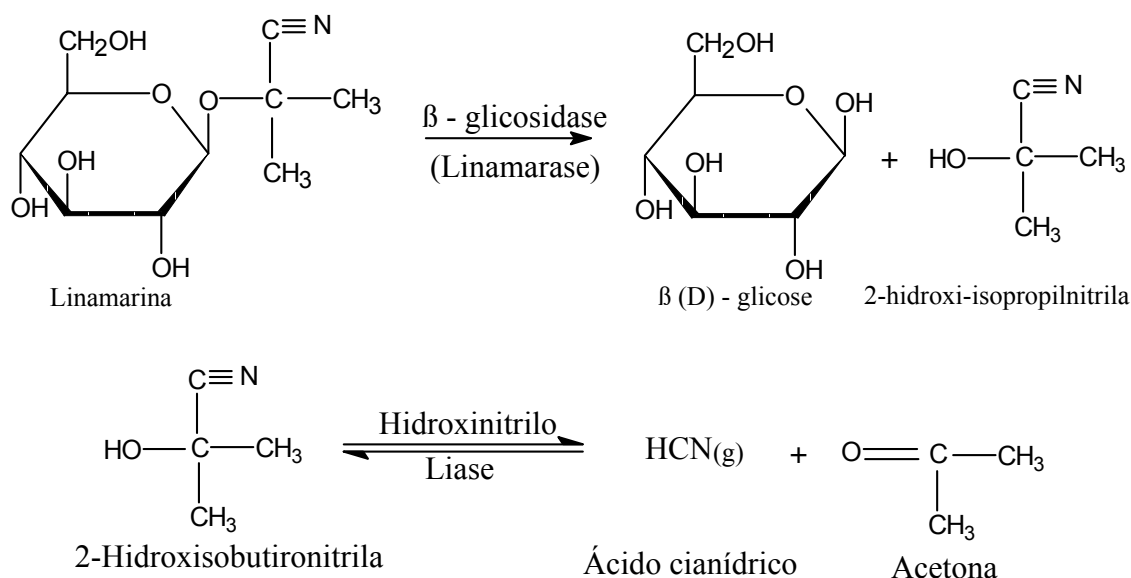
A mandioca nesta classificação, apresenta-se como planta cianogênica por conter glicosídeos cianogênicos, tais como, a linamarina e a lotaustralina e enzimas linamarase, responsável pela hidrólise destes glicosídeos, com liberação de HCN (ZEIGER & TAIZ, 1998).

De acordo com TELES (1995), o metabolismo e o catabolismo da linamarina não é muito conhecido no organismo, e ainda menos conhecido é o processo de excreção do glicosídeo intacto, embora alguns testes em ratos tenham demonstrado a presença de diminutas quantidades destes complexos tóxicos na urina. Daí para concluir-se sobre o

transporte e depuração renal. Aparentemente o principal mecanismo de defesa do organismo humano contra a intoxicação por glicosídeos cianogênicos é a sulfuração do radical cianeto (  $\text{CN}^\bullet$  ) com enxofre cedido pelos aminoácidos sulfurados, principalmente cisteína e metionina, numa reação geral do tipo:



Para RICHARDSON (1976) & CARVALHO (1979), bioquimicamente o catabolismo deve começar com a decomposição enzimática da linamarina, conforme é apresentado na **figura 2**.



**Figura 2** – Decomposição enzimática da linamarina.

## 2.6 – Potencialidades Econômicas

Segundo SARMENTO (1999) os levantamentos estatísticos disponíveis, indicam uma queda a médio e longo prazos, nos níveis de consumo da mandioca. Por outro lado, um exame dos estudos supracitados permite uma análise alternativa para as perspectivas da demanda deste produto, em meio a dinâmica da evolução das necessidades por alimentos. A referida análise pode ser respaldada no processo de mudança de hábitos de consumo, com predominância das proteínas de animais em detrimento dos alimentos calóricos e, nas possibilidades da mandioca participar de outros mercados, tais como na redução das importações de trigo.

Analisando-se especificamente a mudança de hábitos de consumo da população, na direção do consumo de proteínas animais, observa-se que vem aumentando rapidamente o consumo de alimentos balanceados para animais, e conseqüentemente, via efeito demanda derivada, a demanda de milho e outras matérias-primas (IEA, 2004).

Para o Sindicato Nacional das Indústrias de Rações Balanceadas (Sindirações), a produção de rações saiu de 13,6 milhões de toneladas em 1986 para 23,4 milhões em 1995, isto é equivalente a uma taxa de crescimento de 5,6% a.a., considerando-se que o milho corresponde a cerca de 62% da produção de rações no Brasil e a raspa de mandioca seca ao sol poderá substituí-lo na formulação de rações para animais em até 10%, sendo este nível considerado conservador, uma vez que para suínos a substituição pode ser total. Podemos estimar um mercado potencial de 1,5 milhões de toneladas que corresponde a uma necessidade de 3,75 milhões de toneladas de raízes. Considerando-se o exposto, admite-se que a mandioca pode se constituir em uma alternativa viável na substituição de parte do milho, principalmente

nas regiões onde ocorrem dificuldades, devido a condições edafoclimáticas, para produzi-lo e, assim, apresentar demanda superior às estimativas em alguns estudos (LAZZARINI et al., 1996).

Nessa perspectiva de uso da mandioca na produção de ração, os resultados dos estudos revelaram que a substituição de milho por raspa de mandioca em ração suína no Estado do Ceará proporciona benefícios para os consumidores e produtores, respectivamente, via a compra de carne suína a preços mais baixos e aumentando a quantidade comercializada a custos médios de produção menores (SILVA & KHAN, 1994).

No nordeste brasileiro, a média mensal dos preços reais recebidos pelos produtores de raspa de mandioca apresenta valores inferiores à do milho. Os pesquisadores concluem que, do ponto de vista econômico, é viável a substituição do milho pela raspa. Ao considerar uma hipótese pessimista, o nível mínimo de incorporação da raspa na ração para suínos, aves e bovinos haveria uma demanda global de 160,11 mil toneladas de raspa por ano o que seria equivalente a uma área de 58 mil hectares (DAMASCENO & BISERRA, 1996).

Ainda com relação às mudanças nos hábitos de consumo, não podemos deixar de considerar que a demanda de alimentos para a maioria da população brasileira, já começa a incorporar as tendências mundiais em termos de busca pela praticidade nutricional. Por exemplo, o aumento da participação da mulher no mercado de trabalho é um fenômeno inexorável, logo o tempo anteriormente dedicado às atividades domésticas está sendo reduzido e exige conseqüentemente produtos de preparação mais fácil, a chamada “demanda por conveniência” (SARMENTO, 1999).

Apesar de, a curto prazo, não contribuir de forma significativa, a médio e longo prazos a produção de mandioca pré-cozida e congelada poderá ampliar a demanda do produto. Outra alternativa para mudar as projeções da demanda da mandioca, reside na possibilidade da referida cultura contribuir com a redução das importações de trigo. Enquanto não existiam protecionismos ao trigo, até 1967, já se misturavam até 25% de farináceos de mandioca nos do cereal sem alterar as características físicas e químicas de alimentos de amplo consumo popular, como pão e macarrão. Neste sentido um mercado potencial para a fécula de mandioca é o dos cookies, bolos e wafers, assim como o pré-mix, mistura já preparada e embalada por indústrias especializadas bastante utilizada em pequenas e médias padarias, com formulações para pão francês, hambúrguer ou “cachorro quente” (PEDROSO & CEREDA, 1996).

Alguns estudos indicam que as médias mensais dos preços reais de farinha panificável de mandioca são inferiores ao preço da farinha de trigo comum. Isto sugere que mantida a mesma relação de preços e considerando as restrições de ordem técnica, há viabilidade econômica na substituição dos produtos. Ainda segundo alguns autores, a quantidade total de farinha panificável utilizada no mercado seria a mesma do trigo que deixaria de ser importada por esse setor (DAMASCENO & BISERRA, 1996).

CARDOSO et al. (1994) avaliaram que o farináceo de mandioca substitui a farinha de trigo nas colas das indústrias moveleiras de placas e compensados ou aglomerados de madeiras. Os estudos no Estado do Pará, tanto em laboratório como em escala comercial, indicam que não houve, em toda a fase da manufatura, problemas que inviabilizassem a substituição do trigo pela farinha de mandioca na colagem de lâminas dos compensados. Com relação aos testes de laboratório, os resultados mostram valores médios superiores aos da farinha de trigo, permitindo a esses pesquisadores concluir que é tecnicamente viável a substituição da farinha de trigo pela farinha de mandioca neste processo.

Além das possibilidades citadas anteriormente, a mandioca apresenta potencialidades para participar de outros mercados alternativos. O amido (independente de sua origem) é tradicionalmente empregado na indústria alimentícia, metalúrgica, mineração, construção, cosmética, farmacêutica, papel e papelão, têxtil, etc. O amido de mandioca por sua proporção entre amilose/amilopectina, pelas características das ligações glicosídicas e da estrutura granular apresenta propriedades singulares que o torna preferido em diversos processamentos alimentares e usos industriais (CEREDA, 1989).

Na busca de mercados alternativos, foram feitas simulações para produção de mosto cervejeiro, utilizando como adjunto do malte “grits” de milho (padrão), farinha de mandioca e farinha de rapa. Foi constatado que além da redução do requerimento de energia térmica da mosturação, o processo dispensa o uso do tanque denominado “cozedor de cereal”, podendo representar uma redução dos custos de investimentos no projeto de implantação de uma nova cervejaria. Contudo, para uma adoção significativa da farinha de mandioca ou de rapa, nesse processo, há necessidade de se pesquisar a viabilidade técnico-econômica e a qualidade sensorial da bebida produzida (VENTURINI FILHO & CEREDA, 1995).

No tocante ao potencial de mercado para o amido no setor de papel e papelão, com base nos índices técnicos de uso de amido em papel, na Europa, estima-se que no Brasil há um mercado potencial de 650 mil toneladas/ano. Isto significaria uma demanda de matéria-prima equivalente a 3,3 milhões de toneladas de raízes (PORFIRIO & VILPOUX, 1996).

A produção de álcool, principalmente para fins alimentícios (bebidas), farmacológicos e laboratoriais, também se apresenta como uma alternativa de mercado para a fécula de mandioca. Nesse aspecto, existe a vantagem de se trabalhar com a fécula ao invés de amido de cereais, pois na obtenção de álcool, via fécula, precisa-se de temperaturas mais baixas no processamento, com a conseqüente economia de energia (FONSECA, 1996).

Há indicativos de outros mercados potenciais. O uso da fécula de mandioca para a elaboração de película fina gelatinizada visando a conservação de frutas e hortaliças já é uma realidade, sendo inclusive objeto de uma patente. Além da simplicidade operacional e do baixo custo, o uso da película de fécula apresenta a vantagem de não ser tóxica, portanto pode ser ingerida sem problemas, e ser biodegradável. Esses atributos atendem ao forte apelo para o consumo de produtos que garantam uma dieta saudável. Dentro desta perspectiva, não pode ser desconsiderada a ampliação do mercado de alimentos preparados, os chamados pratos prontos, onde a fécula de mandioca poderá ter um papel destacado (CEREDA, 1996).

## **2.7 – Situação e Estratégias do Cultivo da Mandioca.**

Dentre os principais estados produtores destacam-se: Pará (17,9%), Bahia (16,7%), Paraná (14,5%), Rio Grande do Sul (5,6%) e Amazonas (4,3%), que respondem por 59% da produção do país. A Região Nordeste sobressai com uma participação de 34,7% da produção nacional, porém com rendimento médio de apenas 10,6 t/ha, as demais regiões participam com 25,9% (Norte), 23,0% (Sul), 10,4% (Sudeste) e 6,0% (Centro-Oeste). Quase toda a mandioca do Nordeste é cultivada na Região Semi-Árida, que corresponde à cerca de 85% da Região Nordeste (VILPOUX, 1996). A **figura 3** apresenta a distribuição da cultura no nordeste brasileiro.



**Figura 3** – Localização do ecossistema Semi-Árido no Brasil.  
Fonte: Embrapa (1996).

As Regiões Norte e Nordeste destacam-se como principais consumidoras, sobretudo, sob a forma de farinha. No Sul e Sudeste, com rendimentos médios de 18,8 t/ha e 17,1 t/ha, respectivamente, a maior parte da produção vão para as indústrias, principalmente no Paraná, São Paulo e Minas Gerais. É importante também destacar o crescimento da atividade no Mato Grosso do Sul (EMBRAPA, 1996).

Segundo CARDOSO & SOUZA (1998) o consumo *per capita* mundial de mandioca e derivados, em 1996, foi de 17,4 kg/hab/ano, sendo de 50,6 kg/hab/ano no Brasil. Os países da África destacam-se nesse aspecto, sendo que a República Democrática do Congo, República do Congo e Gana apresentaram, respectivamente, valores de 333,2, 281,1 e 247,2 kg/hab/ano.

Em função do tipo de raiz, a mandioca pode ser comercializada com diferentes finalidades. A mandioca de "mesa" (comercializada na forma cozida ou *in natura*), a mandioca para a indústria (transformada principalmente em farinha), que tem uso essencialmente alimentar, e a fécula que junto com seus produtos derivados, têm competitividade crescente no mercado de amiláceos para a alimentação humana, ou como insumos em diversos ramos industriais tais como o de alimentos embutidos, cervejaria, embalagens, colas, mineração, têxtil e farmacêutica (TAVARES, 1998; VENTURINI, 1995).

O mercado internacional de mandioca, sem considerar o comércio interno na União Européia, movimentou, em média/ano, até 1993, cerca de 10 milhões de toneladas de produtos derivados ("pellets" e farinha de soja/mandioca), sendo equivalente a mais de US\$ 1 bilhão de dólares. A produção brasileira de mandioca é praticamente consumida no mercado interno, com menos de 0,5% da produção nacional sendo exportados nos últimos 10 anos. A **figura 4** apresenta os principais empregos do amido proveniente da mandioca (EMBRAPA, 2003).



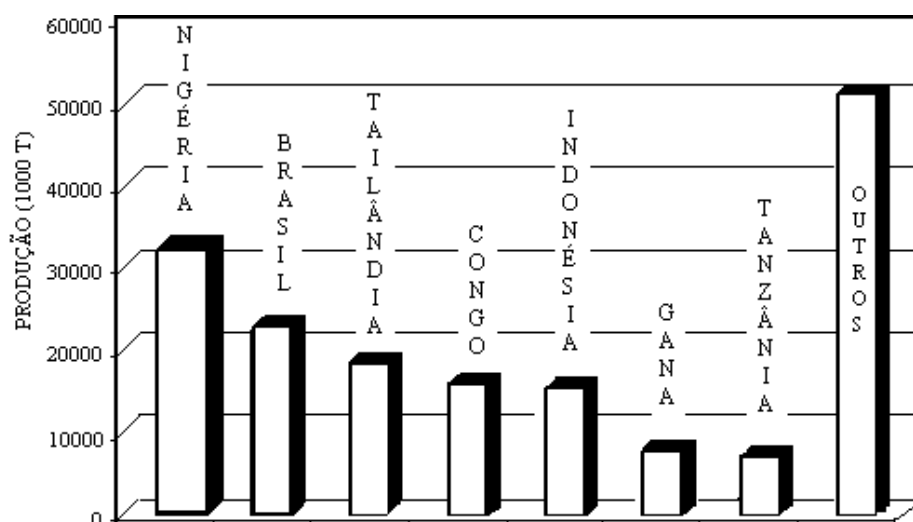
**Figura 4** - Potencialidades de uso do amido no Brasil. (EMBRAPA-CNPMF, 2003)

A produção nacional de mandioca da safra 2002/03 foi de 22,1 milhões de toneladas, conforme estimativa da Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, o que representa uma queda de 3,63% em relação à safra 2001/2002. Os aumentos, estimados em 4,76% no Nordeste e em 0,56% no Norte, as duas maiores regiões produtoras do País, compensaram parcialmente as expressivas reduções verificadas nas regiões Sul e Centro-Oeste, respectivamente de 18,05 % e 21,70%, e também no Sudeste, de 2,31%. Nessas regiões, encontram-se os Estados cujas áreas de plantio são predominantemente voltadas para o mercado (IBGE, 2004).

Os casos dos estados do Paraná, Santa Catarina, Mato Grosso do Sul e São Paulo, onde os preços recebidos pelos produtores mantiveram-se baixos durante praticamente todos os meses de 2001 e 2002, face aos sucessivos aumentos de áreas produtoras nas três últimas safras, bem como a recuperação da produção nordestina no mesmo período. A elevação dos preços recebidos, verificada desde novembro de 2003, reflete a menor oferta, decorrente da redução de áreas nas principais regiões produtoras. Em São Paulo, o preço médio recebido pelos produtores foi de R\$ 103,94 por tonelada em março de 2003, em comparação com R\$ 40,01 no mesmo mês de 2002, de acordo com levantamento do Instituto de Economia Agrícola (IEA). Descontado a inflação do período, de 34%, conforme o IGP-DI da Fundação Getúlio Vargas (FGV), houve valorização de 126% no preço da raiz (IEA, 2004).

### **2.7.1 – Desempenho do Cultivo da Mandioca nos Países Produtores**

Na **figura 5**, verifica-se a produção dos oito principais países produtores. O Brasil se destaca na produção, sendo o segundo produtor mundial, atrás da Nigéria, o maior produtor. Merecem destaque as produções de: Tailândia, Congo, Indonésia, Gana e Tanzânia.



**Figura 5** - Principais países produtores de mandioca em 2000.  
Fonte: FAO, 2001.

#### 2.7.2 – Caracterização da cadeia produtiva: mercado e comercialização

Apesar da grande diversidade, o sistema produtivo da cadeia da mandioca apresenta três tipologias básicas: a unidade doméstica, a unidade familiar e a unidade empresarial. Essa tipologia leva em consideração a origem da mão-de-obra, o nível tecnológico, a participação no mercado e o grau de intensidade do uso de capital na exploração.

A unidade doméstica é caracterizada por usar mão-de-obra familiar, não utilizar tecnologias modernas, pouco participar do mercado e dispor de capital de exploração de baixa intensidade. A unidade familiar já adota algumas tecnologias modernas, tem uma participação significativa no mercado e dispõe de capital de exploração em nível mais elevado. A contratação de mão-de-obra de terceiros é a característica marcante da unidade empresarial que, juntamente com as unidades do tipo familiar, responde pela maior parte da produção de raízes no Brasil (RIBEIRO, 1998).

O segmento de processamento da cadeia da mandioca está intimamente relacionado com o uso das raízes: farinha ou fécula. A escala de operação das indústrias de processamento de farinha vai desde as pequenas unidades artesanais de processamento (comunitárias ou privadas) existentes no Brasil como um todo, até as unidades de grande porte que processam, em média, 300 sacas de farinha por dia, passando pelas unidades de médio porte (100 sacas por dia). Estima-se que existam mais de 200 farinheiras de médio ou grande porte concentradas na região de Paranaíba (PR). A maioria das fecularias possui capacidade operacional para moer, no mínimo, 150 toneladas de mandioca por dia. Na cadeia da mandioca existem ainda outros produtos de importância econômica regional e que são comercializados de forma informal, como é o caso da raspa de mandioca e da parte aérea (SARMENTO, 1999).

As etapas de processamento e distribuição às vezes são realizadas por um mesmo componente da cadeia produtiva. Essa situação pode acontecer no mercado de farinha, de raízes frescas e de fécula, ou seja, um mesmo produtor/empresa processa e distribui os produtos. Neste caso, a farinha e as raízes frescas (no caso dos aipins) são

comercializadas diretamente nas feiras livres ou são repassadas para os supermercados. Já no caso da fécula, ocorre a comercialização diretamente com as empresas que irão usá-la como insumo em diversos processos industriais. Apesar do crescimento da comercialização via associações e cooperativas, ainda prevalece a figura do intermediário como principal agente de comercialização na cadeia. Essa função é exercida por agentes esporádicos (caminhoneiros) e por comerciantes regularmente estabelecidos nos centros urbanos (VILPOUX, 1996).

Segundo TAVARES (1998) o processo de embalagem depende do produto (farinha ou fécula) e do mercado a que se destina. A farinha é comercializada nas feiras livres, geralmente embalada em sacas de 50 kg, ou em supermercados, embalada em pacotes de um ou dois quilos e comercializada em fardos de 30 kg. No caso da fécula, o produto é embalado em sacas de 25 kg, para atender tanto ao mercado atacadista como ao mercado das indústrias; para atender a esse último mercado, a fécula é também comercializada em embalagens de maior capacidade.

O segmento de consumo da cadeia da mandioca é caracterizado por consumidores que absorvem a própria produção, ou seja, são agricultores que definem os produtos em função de suas preferências e hábitos regionais. No caso dos demais consumidores, que adquirem os produtos no mercado, o padrão de consumo depende do produto, nível de renda, costumes regionais e hábitos de compra. No tocante à farinha comum, farinhas temperadas, farinha tipo "beiju", mandioca "fresca" e outros produtos tradicionais, identificam-se, pelo menos, dois tipos de consumidores que podem ser caracterizados em função dos hábitos de compra: "o consumidor de feira livre" e o "consumidor de supermercado" (CARDOSO, 1998).

Estudos realizados por CEREDA (1989), classificam os consumidores de fécula como consumidores intermediários, isto é, adquirem o produto para ser utilizado como insumo nos diversos processos industriais.

Alguns consumidores compram pequenas quantidades de fécula, que podem ser encontradas no comércio varejista e no mercado atacadista, como é o caso das padarias, confeitarias e pequenas indústrias de processamento de carne. Além disso, incluem-se também os consumidores que transacionam grandes volumes, diretamente negociados com as fecularias visando obter melhores preços e condições de pagamento. Nesse segmento da cadeia inserem-se, também, os importadores (CARDOSO, 1998).

### **2.7.3 - Sazonalidade e formação de preço**

Quanto à sazonalidade dos preços das raízes, que influencia diretamente o preço dos produtos, é importante considerar, pelo menos, dois principais corredores de comercialização, ou seja, a região de Paranavaí (PR), como centro de produção, e a Região Nordeste, como centro de produção/consumo. Independentemente do corredor considerado, as flutuações nos preços são diretamente influenciadas por mudanças na oferta, haja vista que as mudanças na demanda se processam mais lentamente (PEDROSO, 1996).

Em relação à formação dos preços, há uma série de fatores que interferem neste processo, tais como, aspectos relacionados com o ciclo da cultura, que é função direta da combinação das variedades cultivadas e das condições ambientais; aspectos inerentes à estrutura de mercado enfrentada pelos produtores de mandioca, pois quando o preço do produto está atrativo, ocorrem entradas de agricultores no negócio e a produção de raízes e farinha aumenta rapidamente, reduzindo os preços. Havendo os fatores culturais de cada localidade que influenciam no aumento da oferta de matéria-prima, como uma

necessidade para se fazer caixa, visando a aquisição de bens e serviços de demanda imediata (LAZZARINI, 1996).

## 2.8 – A Conservação Pós-Colheita das Raízes de Mandioca

De acordo com COCK (1985), a cultura da mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) reúne facilidade de cultivo e resistência a doenças e a variações climatológicas, propiciando a oportunidade de se preparar vários tipos de alimentos, particularmente nas camadas mais humildes da população. A mandioca pode ser considerada primariamente como excelente fonte de energia, e 100g (peso fresco) proporciona cerca de 146 kcal, enquanto um adulto necessita de 2.500 cal/dia.

Um dos maiores obstáculos para a utilização da mandioca é a alta perecibilidade dessa raiz, pois quando armazenada em condições ambientais, possuem uma vida útil muito restrita. O processo deteriorativo, de caráter fisiológico, inicia-se durante as primeiras 48 horas após a colheita, levando a perdas qualitativas e quantitativas (KATO & SOUZA, 1987).

A raiz de mandioca possui de 24% a 27% de matéria seca no parênquima, e o teor de amido representa 78,1 a 90,1% da mesma (HERNANDEZ & GUILLEN, 1984).

O teor de água é um dos aspectos mais importantes da conservação de raízes pela influência direta na durabilidade das mesmas, pois cultivares resistentes à deterioração fisiológica apresentam maiores teores de umidade (CARVALHO et al., 1982). Contudo, PAIVA (1994b), considera que a extrema perecibilidade das raízes pós-colheita é um sério obstáculo para quem produz, processa ou mesmo consome a mandioca e um dos principais fatores que pode estar associado a isso é o seu elevado conteúdo de água, em torno de 60%, o que facilita a contaminação microbiológica. Por esta razão, a conservação deste material tem sido uma constante preocupação, pois o espaço de tempo decorrido entre a colheita e o processamento torna o produto vulnerável ao ataque de agentes nocivos.

De acordo com FERREIRA (1986), durante o armazenamento podem ocorrer diversas variações entre as cultivares em relação aos constituintes químicos da mandioca, como os açúcares totais, redutores e não-redutores.

O ácido ascórbico é fator importante na prevenção do escurecimento em frutos e raízes graças ao seu extraordinário poder redutor, pois ao se oxidar, reduz quinonas produzidas pela ação enzimática, transformando-se em ácido deidroascórbico, que também apresenta atividade vitamínica (VAN LELYVELD & DE BRUYN, 1977).

Assim, enquanto teores adequados da forma não oxidada do ácido ascórbico forem mantidos no tecido, o escurecimento é prevenido. Níveis de ácido ascórbico e deidroascórbico foram detectados em raízes de mandioca na faixa de 120-150 mg/100g (base seca) e 56-70 mg/100g (base seca), respectivamente, o que pode ser considerado uma vantagem para a sua conservação. O tipo de processamento utilizado pode levar a perdas consideráveis dessa vitamina, como a cocção, por exemplo, em que há uma redução de 50% a 75% de Vitamina C (COCK, 1990; BEZERRA et al., 2002).

Segundo CEREDA & LIMA (1985), o teor de ácidos orgânicos, com poucas exceções, diminui com a maturação do vegetal em decorrência do processo respiratório ou da conversão dos mesmos em açúcares. Na mandioca, o início do processo fermentativo é acompanhado por uma rápida queda na concentração do oxigênio dissolvido, ocasionada por bactérias amilolíticas aeróbicas, capazes de consumir oxigênio e produzir ácidos orgânicos, como o láctico, butírico, acético, entre outros.

Quando o cultivo da mandioca é realizado em condições ótimas de umidade para a cultura, o conteúdo de amido esperado na raiz é de 25,9% a 30,3% aos 12 meses (SRIROTH et al., 2000).

O amido das raízes de mandioca, que são essencialmente de reserva, pode ser degradado por atuação de enzimas hidrolíticas, sendo as de maior significância a  $\alpha$ -amilase,  $\beta$ -amilase, glucoamilase, isoamilase e pululonase, cujos produtos são glicose, maltose, dextrina limite,  $\beta$ -D-maltose,  $\beta$ -D-glicose,  $\alpha$ -D-maltotriose (CIACCO & CRUZ, 1988).

De acordo com WHEATLEY & GOMES (1985), existem variações acentuadas nos tempos de cocção de raízes de mandioca, até mesmo entre raízes de uma mesma cultivar, que são atribuídas a fatores genéticos, idade das plantas, época de colheita, clima, solo e local. O tempo ótimo de cocção varia de 15 a 25 minutos e quando o tempo excede a 30 minutos, é considerado de baixa qualidade.

Dois estágios de deterioração da mandioca, denominados primário (fisiológico) e secundário (patológico), são identificados. O estágio inicial ocorre rapidamente depois da colheita, durante a qual a raiz desenvolve estrias azuladas (MONTALDO, 1973).

A deterioração fisiológica tem sido estreitamente relacionada com as mudanças oxidativas das substâncias fenólicas e com as enzimas envolvidas na oxidação desses compostos, como a peroxidase e a polifenoloxidase (CARVALHO et al., 1985).

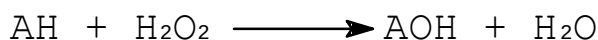
Neste tipo de deterioração, considerada primária, geralmente após as primeiras 24 – 48 horas depois da colheita, verifica-se o acúmulo de certos compostos fenólicos como a escopoletina, escopolina e esculina que se polimerizam formando estrias azul-escuras ao longo da raiz. Essa deterioração começa nos danos mecânicos que ocorrem quase sempre nas extremidades da raiz durante a colheita (MONTALDO, 1973; BOOTH, 1976).

RICHARDSON (1976) e BALAGOPALAN (1984) avaliaram que a polifenoloxidase é uma enzima-chave associada com a deterioração azul das raízes, pois com o rompimento dos tecidos por dano mecânico, a polifenoloxidase atua oxidativamente sobre o substrato disponível, acelerando o escurecimento e, conseqüentemente, a deterioração.

Estudos realizados por BEZERRA et al. (2002) demonstraram que o branqueamento em água fervente, em recipiente de aço inoxidável, por 30 segundos, não levou à inativação das enzimas polifenoloxidase e peroxidase, mas o escurecimento das raízes foi controlado efetivamente, o que proporcionou um aumento médio de 66,6% na vida de prateleira de certas cultivares, armazenadas sob condições de refrigeração.

Segundo ARAÚJO (1999), uma das funções da peroxidase é proteger o tecido vegetal e animal contra os efeitos tóxicos da  $H_2O_2$  formada durante o metabolismo celular. Também é importante a sua ação no ponto de vista nutricional, pois está relacionada à coloração e ao ‘flavor’ e sua atividade pode levar à destruição da vitamina C e descoloração de carotenóides e antocianinas, bem como atuar como catalisador na degradação não-enzimática de ácidos graxos insaturados, com a formação de compostos voláteis (sabor oxidado).

A peroxidase participa de transformações do tipo:



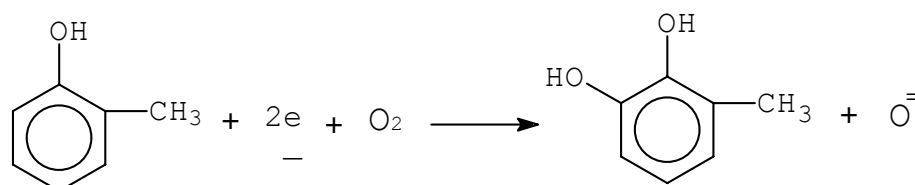
onde AH pode ser fenol, ácido ascórbico, etc. Pelo fato de ser facilmente determinada e por ser uma das enzimas mais resistentes ao calor, a peroxidase é utilizada como indicação de branqueamento em muitos produtos.

A catalase, assim como a peroxidase, é uma enzima que contém o núcleo ferro-porfirina. A mais conhecida das reações da catalase envolve uma oxidação-redução bimolecular, onde uma molécula de  $H_2O_2$  é oxidada para  $O_2$  e a outra é reduzida para  $H_2O$  (SRIROTH et al., 2000).

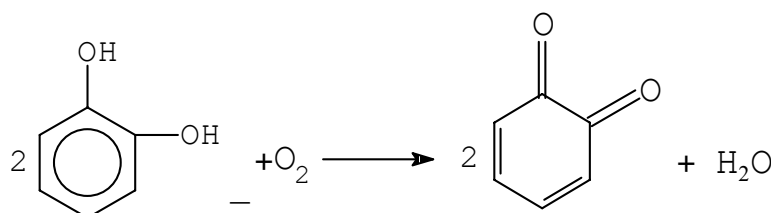


As polifenoloxidasas, são responsáveis pelo escurecimento enzimático em muitos produtos, estas enzimas têm duas diferentes atividades catalíticas, ambas envolvendo oxigênio. Elas são chamadas de atividades cresolase e catecolase.

A cresolase está relacionada com a oxidação de fenóis monohidroxilados, como a tirosina, fenol, ortocresol, etc., para formar outro grupo hidroxílico. Os dois elétrons são fornecidos pelo cobre, sempre associado à enzima.



A catecolase envolve a remoção de dois hidrogênios de fenóis dihidroxilados, como o catecol ou dihidrofenilalanina, para dar uma ortoquinona correspondente.



As quinonas, por polimerização, produzem melanoidinas (GAVA, 1984; BEZERRA et al., 2002).

De acordo com ANDRADE et al. (1979) as raízes de mandioca podem ser conservadas por refrigeração ou por congelamento. Observou-se que raízes de mandioca foram conservadas em geladeira por vários dias, após corte, descascamento e cocção, em temperatura um pouco acima de 0°C.

O tempo de conservação das raízes de mandioca pode ser afetado pelas condições ambientais, e perda de umidade é um dos fatores envolvidos na incidência de deterioração fisiológica e experimentos têm sido realizados para preservar a umidade das raízes para prevenir a ocorrência desta deterioração. Entretanto vale ressaltar que teores de umidade elevados favorecem a deterioração microbiana (LOZANO, 1978; KATO, 1987).

A deterioração microbiológica ou secundária, causada por fungos e bactérias, e ocasionada geralmente logo após a deterioração fisiológica e promove fermentação e podridões nas raízes de mandioca. Os fungos dos gêneros *Penicillium*, *Fusarium* e *Rhizopus* são os que se encontram com maior frequência, embora a capacidade da flora do solo e do meio ambiente, da intensidade de danos mecânicos e injúrias ocasionados as raízes durante a colheita podem ter ação decisiva no grau de deterioração (LOZANO, 1978; PAIVA, 1994).

Fungos pertencentes aos gêneros *Verticillium* sp., *Fusarium* sp., *Aspergillus* sp., *Penicillium* sp. e *Phytophthora* sp. foram observados ocorrendo em associação com a deterioração microbiológica, tendo sido relatado a ocorrência destes fungos, entre outros, por outros autores como BOOTH (1976) e CARVALHO (1982).

Segundo PAIVA (1994b), nas áreas em que o consumo de mandioca é destinado à alimentação humana, registram-se perdas consideráveis, principalmente quando as áreas de produção situam-se em regiões distantes do mercado consumidor.

Observamos assim, que o valor nutricional e as características químicas da mandioca são fatores que incrementam a sua utilização e produção em todo o mundo (EL-DASH, 1987).

Alguns componentes nutricionais estão relacionados no **Quadro 3**.

**QUADRO 3 – COMPOSIÇÃO POR 100 g DE PARTE COMESTÍVEL**

| Componentes nutricionais | MANDIOCA | MANDIOCA COZIDA | MANDIOCA FRITA | POLVILHO DE MANDIOCA | FARINHA DE MANDIOCA |
|--------------------------|----------|-----------------|----------------|----------------------|---------------------|
| CALORIAS                 | 149      | 119             | 352            | 352                  | 354                 |
| UMIDADE (g)              | 62       | 69.6            | 27.7           | 12.6                 | 10.4                |
| PROTEÍNAS (g)            | 0.8      | 0.6             | 1.2            | 0.6                  | 1.7                 |
| LIPÍDEOS (g)             | 0.3      | 0.2             | 14.5           | 0.2                  | 0.3                 |
| GLICÍDEOS (g)            | 36       | 28.9            | 55.2           | 86.4                 | 86.4                |
| FIBRAS (g)               | 1.0      | 0.8             | 1.5            | 0.1                  | 1.8                 |
| CINZAS (g)               | 0.9      | 0.7             | 1.4            | 0.2                  | 1.2                 |
| CÁLCIO (mg)              | 35       | 28              | 54             | 10                   | 61                  |
| FÓSFORO (mg)             | 46       | 37              | 70             | 16                   | 48                  |
| FERRO (mg)               | 1.1      | 0.9             | 1.7            | 0.4                  | 3.1                 |
| RETINOL EQUIVALENTE (mg) | 2        | 2               | 3              | -                    | -                   |
| VITAMINA B1 (mg)         | 0.06     | 0.05            | 0.09           | 0.01                 | 0.08                |
| VITAMINA B2 (mg)         | 0.04     | 0.03            | 0.06           | 0.02                 | 0.07                |
| NIACINA (mg)             | 0.7      | 0.6             | 1.1            | 0.5                  | 1.6                 |
| VITAMINA C (mg)          | 39       | -               | -              | -                    | 14                  |
| PARTE NÃO-COMESTÍVEL (%) | 26.8     | -               | -              | -                    | -                   |

FONTE: Estudo Nacional da Despesa Familiar - ENDEF. Tabelas de composição dos alimentos, Rio de Janeiro – 1977.

## **2.9 – Aplicações das Emissões Nucleares**

As principais aplicações pacíficas da energia nuclear, tanto no Brasil quanto em qualquer outro país do mundo, que possui domínio desta tecnologia, abrangem diversas áreas, tais como: produção de energia elétrica, medicina nuclear, em indústrias, arqueologia, geologia dentre outras (BRADFORD & LOAHARANV, 1993).

O uso da radiação gama é vasto, podendo ser empregada, por exemplo, para a indução de reações químicas a frio ou na ausência de luz, polimerização de resinas em ambientes densos, obtenção de radicais livres e radiólise e degradação forçada de pesticidas (URBAIN, 1986).

Segundo MATIN et al. (1996) na agricultura os processos de irradiação podem ser empregados para mutação genética de grãos e plantas, preservação de alimentos, pelo processo de irradiação com raios-gama, uso de radiotraçadores e no estudo de solo e plantas. Na agricultura, o fósforo-32 é utilizado para verificar a absorção dos fertilizantes pelas plantas.

Os raios gama também são usados para a esterilização de solos, meios de cultura e instrumentos cirúrgicos. Destaca-se ainda o seu uso nos programas de melhoramento de plantas, pois algumas culturas podem apresentar características não favoráveis tais como susceptibilidade a doenças, ciclo longo, coloração, forma e tamanho do fruto ou sementes inadequadas, porte e configuração que dificultam a colheita, características nutricionais inferiores. Nestes casos as alterações genéticas necessárias são obtidas pela utilização de fontes de cobalto-60. Parte da planta é irradiada, a semente, por exemplo, e assim a radiação poderá induzir alterações cromossômicas no caso destas sementes serem usadas para reprodução (MORETTI, 1993).

No estudo dos processos orgânicos e bioquímicos dos animais e nos estudos dietéticos; o fósforo-32 e o estrôncio-89 são empregados na avaliação da eficácia dos controles de insetos destruidores e portadores de doenças; o carbono-14 é usado no estudo do grau de decomposição das materiais no solo e sua disponibilidade como alimento para plantas e no estudo da fotossíntese; o cobalto-60 é utilizado para preservação e esterilização de alimentos (POTTER & HOTCHKISS, 1996).

### **2.9.1 – Conservação de Alimentos por Irradiação**

Os alimentos possuem alguns componentes que, embora presentes em concentrações muito baixas, regulam seu sabor, seu aspecto e seu valor nutritivo. Estes componentes podem ser lábeis, quando submetidos à irradiação e, se a dose de radiação for alta, podem causar transformações no sabor, odor, textura e na cor desses alimentos (ARAÚJO, 1999). Embora, para a OMS (1995) doses altas sejam necessárias para esterilizar totalmente um alimento, doses muito pequenas têm a propriedade útil de estender a vida de alimentos estocáveis, sem alterá-los de forma significativa.

Existem vários processos relacionados com a preservação temporária e conservação permanente de produtos alimentícios, onde pode ser aplicada a tecnologia das radiações, às vezes como uma opção frente a outros métodos tradicionais, pode-se destacar a inibição da germinação, desinfestação e a descontaminação (CDTN, 1999).

A inibição da germinação evita o aparecimento do broto nos tubérculos e outras raízes nutritivas como a batata, por exemplo, após um determinado período de armazenagem. Este é um fator importante

na deterioração desses alimentos que causam grandes prejuízos. Doses baixas de radiação, de 50Gy (Gray) a 100Gy, são suficientes para inibir definitivamente a germinação possibilitando prolongar o período de armazenagem desses produtos, sem perda do peso e da qualidade, dispensando o uso de inibidores químicos. Alimentos como batata, alho e cebola estão sendo irradiados e comercializados (PAULI & TARANTINO, 1995).

De acordo com SILVA (2000), a desinfestação é obtida quando a radiação aplicada em doses baixas, cerca de 30Gy a 200Gy, é capaz de controlar a população de insetos num material a granel, não só causando a morte ou inibindo a reprodução dos insetos adultos como também impedindo que larvas e ovos terminem o seu ciclo. Essa técnica é utilizada para preservação de frutas, grãos, farinhas e legumes.

No caso da pasteurização, a redução da população de agentes corruptores se faz normalmente com a pasteurização térmica seguida em geral, pela conservação sob refrigeração. Porém, a maioria dos alimentos frescos, não pode ser submetida a pasteurização térmica, porque perderiam a condição de frescor. A utilização de doses médias de radiação, em torno de 4000Gy pode prolongar o período de vida da carne, pescados, mariscos e aves entre outros produtos (FAJARDO & REGO, 1993).

Pela versatilidade das aplicações, os radioisótopos tornam-se um instrumento indispensável para o bem estar do ser humano (SAXENA & OTOMO, 2003).

A irradiação de alimentos é uma tecnologia já implantada em muitos países para oferecer ao povo uma alimentação mais farta e mais sadia. No Brasil poderá vir a ser uma valiosa fonte de divisas tanto para o tratamento de frutas e outros produtos agrícolas, como também desinfestando alimentos de origem animal, pasteurizando ou mesmo evitando a propagação de doenças causadas por vermes, bactérias e outros microrganismos, em carnes e produtos do mar (SILVESTRE, 1999).

A radiação é mais um recurso que pode ser utilizado como meio direto para a conservação de alimentos e como complemento para reforçar a ação de outros processos aplicados com a mesma finalidade. O emprego da radiação, sob o ponto de vista tecnológico, satisfaz plenamente o objetivo de proporcionar aos alimentos, a estabilidade química e microbiológica, condições de sanidade e longo período de armazenamento (CHEFTEL et al., 1992).

Entre as fontes de radiações gama, autorizadas pela Comissão Nacional de Energia Nuclear, para irradiação de alimentos, destacam-se o cobalto-60 e o cézio-137 (OMS, 1995; CARDOSO, 2004).

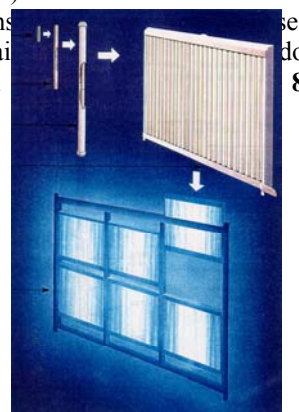
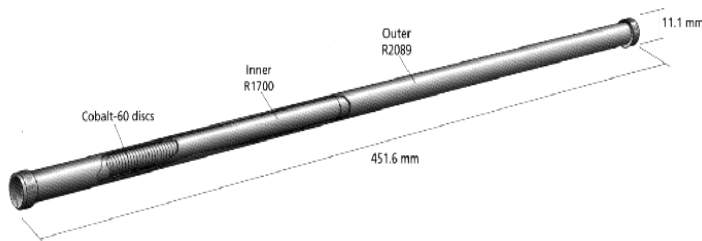
Segundo BRADFORD & LOAHARANV (1993) não mais do que quaisquer outros métodos de processamento e preservação de alimentos usados, o processamento por irradiação que é um “processo frio”, isto é, não aumenta substancialmente a temperatura do alimento, as perdas de nutrientes são pequenas e, freqüentemente de modo significativo, são menores do que as perdas associadas a outros métodos de preservação tais como enlatamento, secagem e pasteurização a quente.

Uma avaliação realista da adequação nutricional do alimento irradiado deve estar baseada em resultados de experimentos feitos, utilizando doses plausíveis de serem usadas na prática comercial (ICGFI, 1999).

## 2.10 – Processos de Irradiação em Alimentos

Dos elementos utilizados como fonte radioativa, o cobalto-60 é o maior produtor de energia. Esse elemento é um isótopo artificial, obtido da irradiação do cobalto natural. O  $^{60}\text{Co}$  tem meia-vida de 5,27 anos. Decai para o  $^{60}\text{Ni}$  (níquel 60, que é estável) por meio da emissão de dois fótons gama (1,17 e 1,33 MeV) e de uma partícula beta (0,31 MeV). É produzido artificialmente, por meio da irradiação de barras de  $^{59}\text{Co}$  (cobalto 59), em reatores nucleares (HERNANDES et al., 2003).

Segundo DIEHL (1990), o cobalto-60 tem a grande vantagem de ser inerte, então, a melhor escolha como fonte de radiação gama em termos comerciais é o  $^{59}\text{Co}$ , que não é radioativo, quando este captura nêutrons térmicos em um reator nuclear. A figura ilustra a montagem dessas barras numa fonte.

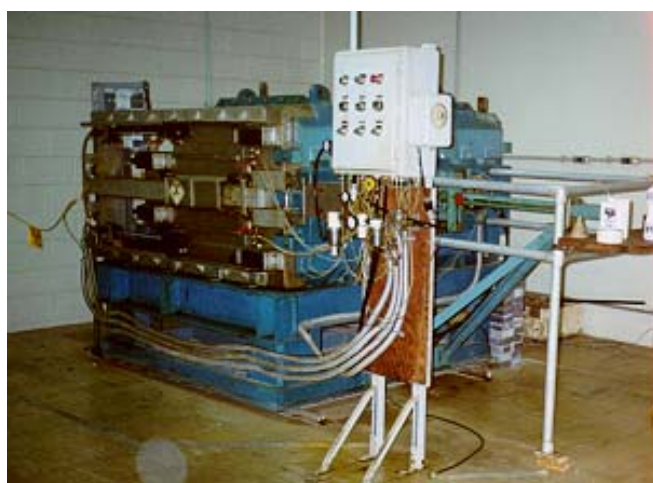


**Figura 6** - Esquema de uma barra de  $^{60}\text{Co}$  e sua montagem no painel de uma fonte ( MDS Nordion, 2000).

Uma outra fonte é a de cézio-137, utilizado em processos de irradiação semelhantes à pasteurização e à esterilização, podendo ser considerado correspondente a estes processos, porém a frio. Esses processos são essencialmente importantes quando se necessita submeter a tratamento térmico, alimentos sensíveis à elevação de temperatura. O  $^{137}\text{Cs}$ , que tem meia-vida de 30 anos, decai para o  $^{137}\text{Ba}$  (bário 137, que é estável), por meio da emissão de duas partículas beta (0,51 e 1,18 MeV) e emissão de um fóton gama (0,66 MeV). É obtido a partir da fusão do urânio ou através do reprocessamento de elementos combustíveis. Extraído na forma de  $\text{CsCl}$  (solúvel em água), por isso é triplamente encapsulado em aço inoxidável. Seu uso como fonte para irradiação foi muito difundido no início dos anos 70 (KILCAST, 1994; LAGUNAS, 1995).

Em 1977, por motivos estratégicos e políticos, o então presidente dos Estados Unidos da América (EUA), Jimmy Carter, decidiu cancelar a construção de várias plantas comerciais de reprocessamento que poderiam fornecer o  $^{137}\text{Cs}$ . Desta forma, a utilização do referido radionuclídeo, como fonte de radiação gama para irradiadores, ficou limitada. Somando-se este fato à dificuldade de manipulação apresentada pelo  $^{137}\text{Cs}$ , decorrente de sua solubilidade água, tornou-se inviável e desvantajoso a utilização do  $^{137}\text{Cs}$  como fonte de radiação gama para irradiação comercial de alimentos (DIEHL, 1990).

Segundo HERNANDES *et al.* (2003), principalmente pela baixa disponibilidade, o cézio, pode ser utilizado como fonte de reatores de pesquisa, uma vez que sua meia-vida é alta permitindo sua utilização por longos períodos. Sua maior desvantagem é ser solúvel em água, o que acarreta risco de contaminação do meio-ambiente. Na **Figura 7** são mostrados dois irradiadores de pesquisa, um com fonte de  $^{60}\text{Co}$  e o outro com fonte de  $^{137}\text{Cs}$ .



(A)



(B)

**Figura 7** – Irradiadores gama de pesquisa: (A) Irradiador gama do CTEEx, com volume útil de 100L, fonte de  $^{137}\text{Cs}$  e Taxa de Dose (atual) de  $2 \text{ kGy h}^{-1}$ . (B) Gama Cell - fonte de  $^{60}\text{Co}$ , (HERNANDES *et al.*, 2003).

A irradiação de alimentos tem por objetivo conservar os produtos, protegendo-os contra os agentes da deterioração e conseqüentemente, aumentando a sua vida-de-prateleira. Esse processo pode ainda complementar a ação de outras técnicas de conservação como também destruir os microrganismos que podem ser encontrados nos alimentos, inclusive nos de origem vegetal (LIMA *et al.*, 2001).

De acordo com HERNANDES et al. (2003), dependendo da dose radioativa aplicada podemos obter resultados diferentes, por exemplo, na conservação de batata, cebola, alho, etc. A irradiação previne o brotamento de vegetais, principalmente raízes, tubérculos e bulbos, retarda o ciclo de maturação de frutas, tais como, manga, goiaba, banana, mamão. Sendo muito eficiente como método de desinfestação, eliminando insetos adultos, seus ovos e larvas. Pode inativar ou eliminar bactérias (patogênicas ou de putrefação), mofos, leveduras e helmintos. Um bom exemplo é a inativação de fungos responsáveis pela decomposição do tomate.

Segundo MATIN *et al.* (1996), os efeitos do processo de irradiação em alimentos de origem vegetal após o período de armazenamento, resultaram em uma redução das perdas pós-colheita da ordem de 30-45% em cebolas e de 12-22% em leguminosas, durante 6 a 8 meses sob condições ambientais. Em algumas classes de alimentos, a irradiação pode melhorar determinadas características organolépticas, exaltando o aroma, a cor e o sabor.

Na **Tabela 1**, são apresentados alguns efeitos causados pela irradiação de alguns alimentos e as doses recomendadas para que estes resultados sejam alcançados.

**Tabela 1** – Utilização de diferentes doses de radiação e seus respectivos efeitos.

---

| Utilização | Doses (kGy) | Alimentos |
|------------|-------------|-----------|
|------------|-------------|-----------|

---

|                                                                                      |             |                                                                     |
|--------------------------------------------------------------------------------------|-------------|---------------------------------------------------------------------|
| Esterilização por                                                                    | 7,0 - 10,0  | Condimentos e especiarias<br>Armazenamento de carnes<br>longo tempo |
| Esterilização de enlatados                                                           | 10,0 - 25,0 |                                                                     |
| Destruição de microrganismos patogênicos                                             | 2,5 - 5,0   |                                                                     |
| Destruição de <i>Salmonella sp.</i> carne                                            | 3,0 - 10,0  | Produtos congelados,<br>Bovina, carne de aves                       |
| <i>Shigella sp.</i> , <i>Campylobacter sp.</i> ,<br>Controle de bolores              | 2,0 - 5,0   | Armazenamento de frutas                                             |
| Prolongamento da vida-de-prateleira (5 a 30 dias)                                    | 2,0 - 5,0   | Frutas frescas, pescado e carne bovina fresca                       |
| Inativação e controle de parasitas como <i>Trichinella sp.</i> , e <i>Taenia sp.</i> | 0,1 - 6,0   | Carne de porco                                                      |
| Controle do crescimento de Insetos, desinfestação frutas                             | 0,1 - 2,0   | Frutas, grãos, farinhas,<br>Secas, coco ralado                      |
| Descontaminação de Ingredientes para receitas                                        | 7,0 - 10,0  | Misturas de alimentos secos                                         |
| Inibição da germinação                                                               | 0,1 - 0,2   | Batata, cebola, alho                                                |

(FELLOWS, 1994).

## 2.11 – Doses de radiação

As doses de radiações não são prescritas arbitrariamente, a quantidade de radiação a ser utilizada depende de diversas condições. A liberação de seu uso é uma atribuição das autoridades nacionais e internacionais, responsáveis pela elaboração de leis e decretos destinados ao controle sanitário dos alimentos, como por exemplo o Código Nacional de Saúde, a Organização Mundial de Saúde e a Comissão Nacional de Energia Nuclear dentre outros. O Comitê Conjunto de Especialistas da FAO, WHO e a IAEA afirmaram em suas conclusões em 1980 que a irradiação não introduz problemas nutricionais especiais nos alimentos, que foi também a conclusão de peritos que reuniram-se em um encontro organizado pela FAO, IAEA e WHO em Genebra, Suíça em 1997 para discutir os efeitos de alta dose de irradiação. Concluiu-se nesta reunião que doses maiores que 10kGy “não levarão a perdas de nutrientes em uma extensão que tivesse um efeito adverso sobre o estado nutricional de indivíduos ou populações” (CDTN, 1999).

De acordo com as doses aplicadas os processos de radiação em alimentos podem ser agrupados em três categorias:

- Radurização – utilizam-se baixas doses de radiação de 0,4 a 1,0 kGy. Os principais objetivos deste processo são de melhorar as propriedades de conservação dos alimentos a partir de uma redução substancial da população de microrganismos de decomposição (DIEHL, 1990). Podemos citar, por exemplo, a inibição de brotamento de cebolas, de batatas e do alho, retardar o

período de maturação e deterioração de frutas e hortaliças, e a eliminação de insetos infestadores de cereais e leguminosas (SILVA, 2000).

- Radicidação – são utilizadas doses intermediárias de 2 a 8 kGy, com o propósito de reduzir a contagem de bactérias viáveis e não produtoras de esporos, a níveis não detectáveis nos alimentos assim tratados. Inativa os parasitas em alimentos (DIEHL, 1990). Sendo empregado, por exemplo, em sucos de fruta, controle da presença de *Salmonella sp.*, para retardar a deterioração de pescado (SILVA, 2000).
- Radapertização – equivale à esterilização comercial. Utilizam-se doses altas de radiação de 25 a 45 kGy, empregando energia ionizante suficiente para eliminar totalmente a deterioração ou a toxicidade de origem microbiana. Tem por objetivo a destruição de esporos de *C. botulinum* na mesma proporção que as esterilizações térmicas dos processos de apertização. Sendo geralmente usado na conservação de carnes e seus produtos derivados (DIEHL, 1990; SILVA, 2000).

## 2.12 – Custos da Irradiação de Alimentos

Como qualquer processamento de alimentos a irradiação, irá adicionar custo. Na maioria dos casos, contudo, os preços dos alimentos não aumentam necessariamente apenas porque um produto foi tratado. Enlatamento, congelamento, pasteurização, refrigeração, fumigação e irradiação adicionam custo ao produto. Estes tratamentos irão também trazer benefícios aos consumidores em termos de disponibilidade e quantidade, tempo de armazenamento, conveniência e higiene melhorada do alimento. A redução das perdas irá trazer renda aos produtores e comerciantes, compensando os custos de tratamento (CDTN, 1999).

De acordo com BRYNJOLFSON (1978) para se refrigerar frango cru e em pedaços, a energia total necessária é de 17.760 kJ/kg. Para o mesmo produto congelado, incluindo o tempo de 3 a 5 semanas de congelamento, essa energia é de 46.600 kJ/kg, e para a carne de frango enlatada é de 20.180 kJ/kg. Comparativamente, o frango cru, em pedaços, irradiado e refrigerado, requer uma energia total de 17.860 kJ/kg. Portanto, o uso combinado de irradiação e refrigeração pode ser um substituto para o congelamento, com uma substancial redução de energia, e conseqüentemente, do custo.

A irradiação de carcaças, ou partes de frango com dose de 2,5 kGy, juntamente com a refrigeração, satisfaz as necessidades do mercado do país, já que a diferença de preço entre carcaças de frango congeladas e resfriadas é de US\$ 0,20/kg. Se essas carcaças fossem submetidas à irradiação a um custo de US\$ 0,02/kg, haveria uma economia de US\$ 0,181/kg, significando um lucro anual de US\$ 3 milhões. Esse lucro remuneraria, inclusive, os custos de instalação da planta de irradiação em pouco tempo (MORETTI, 1993).

Os principais fatores que influenciam a economia da irradiação de alimentos usando o cobalto-60, incluem: parâmetros de projeto de irradiação tais como dose aplicada, densidade de acondicionamento dos produtos, condições de manuseio (produtos secos versus deterioráveis), uniformidade de dose e produtividade operacional; custo de capital consistindo do irradiador, fonte de irradiação, peças sobressalentes para aceleradores lineares, capacidade de armazenagem; e custos operacionais (CDTN, 1999).

MATIN *et al.* (1996) demonstraram que os custos de irradiação variam de US\$10 a US\$15 por tonelada para uma aplicação de baixa dose (por exemplo, para inibir o crescimento de brotos em batatas e cebolas) e de US\$100 a US\$250 por tonelada para aplicação de alta dose (por exemplo, para assegurar a qualidade higiênica de especiarias). Estes custos são competitivos com tratamentos alternativos. Em alguns casos, a irradiação pode ser consideravelmente menos dispendiosa. Para desinfestação de frutas, para satisfazer aos requisitos de quarentena de um país importador, por exemplo, foi estimado que o custo de irradiação seria somente 10% a 20% do custo do tratamento a quente por vapor.

O custo para construir uma instalação de irradiação de alimentos comercial de cobalto-60 está na faixa de US\$3 milhões a US\$5 milhões, dependendo de seu tamanho, capacidade de processamento e outros fatores. Os valores apresentados estão dentro da faixa dos custos da instalação para outras tecnologias. Por exemplo, uma instalação de tamanho moderado, empregando temperaturas altíssimas para esterilização de leite, suco de frutas e outros líquidos, custa cerca de US\$ 2 milhões. Uma pequena instalação

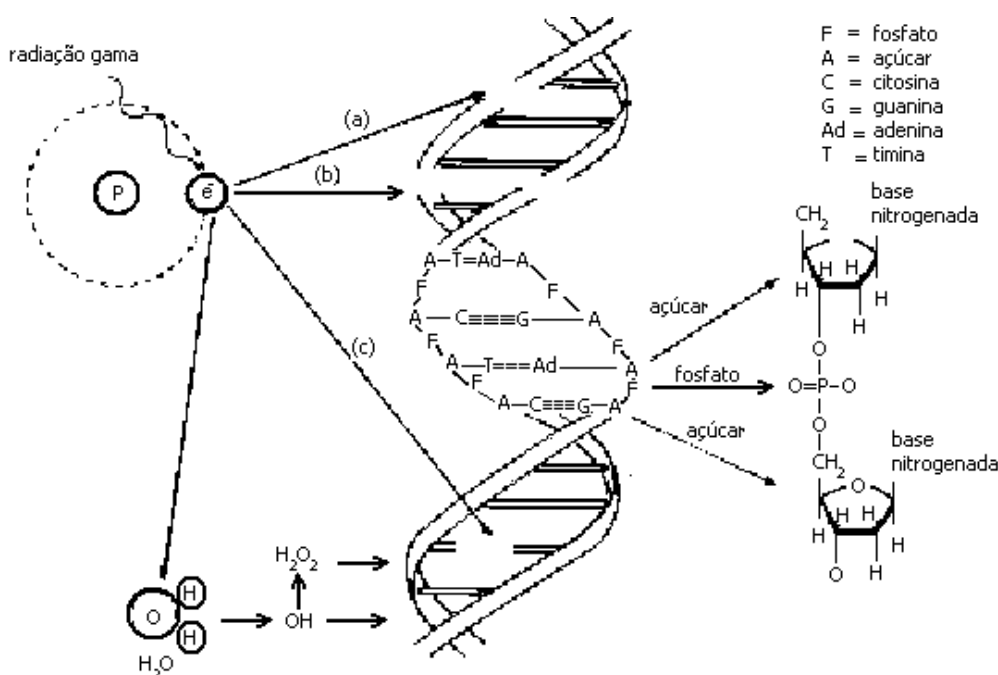
de tratamento a quente por vapor, para desinfestação de frutas, custa cerca de US\$ 1 milhão. Algumas empresas que operam em muitos países deram preferência a um contrato comercial, estabelecendo que a utilização do irradiador deve estar voltada para realizar atividades múltiplas, oferecendo serviços de irradiação a custo razoável. A maioria destas instalações combina com sucesso a irradiação de vários produtos alimentícios e de outros tipos de produtos, tornando-a mais viável em uma análise custo-benefício (OLIVEIRA, 2002).

Irradiadores por feixes de elétrons podem ter vantagens econômicas em relação aos irradiadores gama onde a produtividade operacional do produto for grande, o tamanho de partícula ou espessura do produto sendo tratado forem pequenos, e onde o tratamento contínuo é possível pela integração do irradiador na linha de produção. Assim, podem ser mais eficientes que os irradiadores gama para o tratamento de grandes volumes de grãos domésticos ou importados (ICGFI, 2000). Embora para KILCAST (1994), a principal limitação dos feixes de elétrons seja a capacidade de penetração, quando comparado com a radiação gama.

## 2.13 – Efeitos das Radiações

### 2.13.1 – Mecanismos de interação com as moléculas

São dois os principais tipos de mecanismos pelos quais a radiação pode lesar uma molécula: o direto e o indireto. No mecanismo direto a radiação age diretamente sobre uma biomolécula importante, tal como a do DNA, danificando o material genético. No mecanismo indireto, as moléculas como a água, que constituem cerca de 70% das células, são quebradas pela radiação. Seus produtos, o radical livre hidroxila ( $\text{OH}^\cdot$ ) e o produto oxidante peróxido de hidrogênio ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ), comumente conhecido como água oxigenada, são agentes eficientes causando danos biológicos, ao atacar biomoléculas importantes da célula, a **Figura 8** ilustra esses dois mecanismos e o modelo de dupla hélice da molécula de DNA de Crick-Watson. As duas hélices antiparalelas são formadas pela sequência de grupos fosfato e de açúcar que é a desoxirribose. Elas são interconectadas por pares de bases (adenina, timina, citosina e guanina), que por sua vez ligadas entre si pelas pontes de hidrogênio (ligação hidrogênio). A adenina só se liga com a timina e a citosina com a guanina (OKUNO, 1988).



**Figura 8** – Um átomo de hidrogênio é ionizado pela radiação gama. O elétron ejetado pode agir diretamente em uma molécula de DNA causando (a) quebra simples da hélice; (b)

quebra dupla da hélice; (c) deleção (ausência) de uma base. No efeito indireto, o elétron interage com a molécula de água produzindo o radical livre hidroxila ( $\text{OH}^-$ ) e o peróxido de hidrogênio ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ), que por sua vez danificam a molécula de DNA (OKUNO, 1988).

FAJARDO *et al.* (1993) estudaram a ação da radiação ionizante nos sistemas biológicos, alterando quimicamente suas moléculas. A ação da radiação se traduz na degradação ou quebra da molécula em unidades menores e quebra ligações cruzadas (Crosslinking) de moléculas. Estas mudanças estruturais podem causar severas alterações nas suas propriedades bioquímicas, provocando alterações metabólicas. Algumas mudanças químicas são raramente detectadas e são reparadas automaticamente. Outras podem ocorrer em estruturas importantes e podem resultar em alterações reconhecíveis. A transição entre o efeito químico e a manifestação biológica ainda é material de estudos. Sabe-se que a extensão do dano depende da quantidade de dose de radiação, da taxa de dose (exposições agudas são mais críticas), da transferência linear de energia (LET) da radiação incidente e da sensibilidade do tecido biológico. A absorção de radiação ionizante pode causar uma série de efeitos nocivos, tais como: inibição da divisão celular, disfunção celular, alteração da estrutura genética e até morte da célula.

O efeito da radiação sobre enzimas e no metabolismo de energia tem sido postulado. Contudo o efeito mais crítico e, portanto, mais danoso à célula é justamente a incidência da radiação ionizante sobre o ácido desoxirribonucléico (DNA) presente nos cromossomos. Efeitos na membrana citoplasmática parecem fazer um papel adicional em algumas circunstâncias (DIEHL, 1990).

As lesões mais importantes estão relacionadas às bases nitrogenadas ou à própria estrutura da hélice da molécula de DNA (COSTA, 1997).

MICUSAN (1984), citado por DION *et al.* (1994), relatou que, quando moléculas de DNA são alteradas, cerca de 70% das alterações são devido à formação do radical livre ( $\text{OH}^\bullet$ ), resultante da ionização da água, e 30% pela ionização direta, em produtos propícios a contaminação por bactérias patogênicas, tanto de origem vegetal como os de origem animal.

Apenas uma cópia (ou muito poucas cópias) de uma molécula de DNA está presente em uma célula. Considerando que a sensibilidade de macromoléculas à radiação é aproximadamente proporcional ao peso molecular delas, estima-se que uma dose de 0,1 kGy danificará 2,8% do DNA em células bacterianas, enquanto a mesma dose danificará 0,14% das enzimas e só 0,005% dos aminoácidos. O dano de 2,8% do DNA será letal para uma grande fração de células bacterianas irradiadas, e isto trará consequências facilmente identificáveis a olho nu. Em contraste, os 0,14% de moléculas de enzimas danificadas serão difíceis descobrir, até mesmo através de métodos analíticos sofisticados, e uma alteração de 0,005% nos aminoácidos, em um sistema biológico, dificilmente poderá ser detectado. (DIEHL, 1990).

### 2.13.2 – Efeitos das Radiações Ionizantes sobre a Água

A água está presente em quase todos os alimentos. Sua proporção é cerca de 90% em muitos vegetais: 80% em frutas, 60% em carnes e de 40% em pães. Até mesmo determinados produtos secos contêm alguma quantidade de água. Deste modo, torna-se de particular interesse, para a irradiação de alimentos, os efeitos que a radiação ionizante pode provocar sobre a água. Quando a radiação ionizante atinge a água, ela provoca quebra nas ligações químicas entre os átomos e forma substâncias que são denominadas produtos radiolíticos da água, como os radicais hidroxila ( $\text{OH}\bullet$ ), hidrogênio atômico ( $\text{H}\bullet$ ), hidrogênio molecular ( $\text{H}_2$ ), elétron solvatado ou hidratado ( $\text{e}^-_{(\text{aq})}$ ); peróxido de hidrogênio ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) e hidrônio solvatado ( $\text{H}_3\text{O}^+$ ). Com a formação dos produtos radiolíticos da água, torna-se imperiosa a verificação das possíveis mudanças que estes podem ocasionar nos alimentos submetidos à irradiação. A formação do  $\text{H}_2\text{O}_2$  e do radical hidroxila, que são fortes agentes oxidantes, podem ocasionar alterações prejudiciais aos alimentos, do mesmo modo que o  $\text{e}^-_{(\text{aq})}$ , que é um poderoso agente redutor, e do hidrogênio atômico, que apresenta razoável ação redutora. São parâmetros importantes que devem ter atenção especial quando da irradiação, uma vez que todos os alimentos possuem componentes que podem ser oxidados, ou reduzidos. Assim, em meio aquoso, podem ocorrer reações com formação de radicais livres (KILCAST, 1994).

De acordo com DIEHL (1990), a formação de determinados produtos da radiólise da água pode ser influenciada por algumas variáveis. A presença de oxigênio durante a irradiação promove formação do  $\text{H}_2\text{O}_2$ . O pH alcalino favorece a formação do  $\text{e}^-_{(\text{aq})}$ , do contrário o  $\text{e}^-_{(\text{aq})}$  tenderá a desaparecer em um meio ácido. A variação da temperatura também provoca alterações. Materiais congelados apresentam maior proteção quanto a radiólise, quando comparados com materiais submetidos à mesma dose sob temperaturas mais elevadas.

Os produtos radiolíticos são os gerados, direta ou indiretamente, nos processos de irradiação. Com raras exceções são idênticos, aos produzidos nos processos de tratamento térmicos (chamados termolíticos). Entre os produtos radiolíticos formados a partir de carboidratos estão as cetonas, aldeídos e ácidos. Os oligossacarídeos dão origem a monossacarídeos e os polissacarídeos são quebrados em unidades menores. Cadeias polipeptídicas de proteínas podem se converter em tri e dipeptídeos devido a quebra de ligações carbono-nitrogênio e de pontes constituídas por enxofre, havendo ainda formação de agregados protéicos de elevado peso molecular (OMS, 1995).

Ao interagir com a matéria, uma radiação ionizante pode produzir os seguintes efeitos primários: ionização, dissociação e excitação. Os produtos formados são extremamente reativos (uma molécula excitada só pode reter o excesso de energia por um período muito curto, da ordem de  $10^{-8}$  s). (URBAIN, 1986).

Toda essa reatividade tem como consequência alguns efeitos secundários, que podem ser: recombinação, dimerização, captura de elétrons e desproporcionalização exemplificados no **Quadro 4**.

**Quadro 4** – Ilustração dos efeitos da irradiação da molécula de metano e os produtos radiolíticos possivelmente formados (DIEHL, 1990).

| Efeitos Primários                                                                                                                |                                                  |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| $\text{CH}_4 + h\nu \rightarrow$                                                                                                 | $\cdot\text{CH}_4^+ + e^-$ (ionização)           |
|                                                                                                                                  | $\cdot\text{CH}_3 + \cdot\text{H}$ (dissociação) |
|                                                                                                                                  | $\text{CH}_4^*$ (excitação)                      |
| Efeitos Secundários                                                                                                              |                                                  |
| $\cdot\text{CH}_3 + \cdot\text{H} \rightarrow \text{CH}_4$                                                                       | recombinação                                     |
| $\cdot\text{CH}_3 + \cdot\text{CH}_3 \rightarrow \text{C}_2\text{H}_6$<br>$\cdot\text{H} + \cdot\text{H} \rightarrow \text{H}_2$ | dimerização                                      |
| $\cdot\text{CH}_4^+ + e^- \rightarrow \text{CH}_4$                                                                               | captura de elétron                               |
| Efeitos Primários e Secundários (simultâneos).                                                                                   |                                                  |
| $\text{CH}_4^* + h\nu \rightarrow \cdot\text{CH}_3 + \cdot\text{H}$                                                              | dissociação                                      |
| $\text{CH}_4^* + h\nu \rightarrow \cdot\text{CH}_4^+ + e^-$                                                                      | ionização                                        |
| $\cdot\text{CH}_3 + \cdot\text{CH}_3 \rightarrow \text{C}_2\text{H}_6$                                                           | dimerização                                      |
| $\text{C}_2\text{H}_6 + h\nu \rightarrow \cdot\text{C}_2\text{H}_5^+ + e^-$                                                      | ionização                                        |
| $\cdot\text{C}_2\text{H}_5^+ + \cdot\text{C}_2\text{H}_5^+ \rightarrow \text{C}_4\text{H}_{10}$                                  | dimerização                                      |
| $\cdot\text{C}_2\text{H}_5^+ + \cdot\text{C}_2\text{H}_5^+ \rightarrow \text{C}_2\text{H}_4 + \text{C}_2\text{H}_6$              | desproporcionalização                            |

Fonte: (HERNANDES *et al.*, 2003).

Segundo SATIN (1997), a formação de radicais livres e a ionização ocorrem naturalmente nos tecidos vivos, também podem ser obtidos por processamentos convencionais em alimentos. Estes radicais são provenientes de átomos ou de moléculas com elétrons livres, ocorrendo também com consequência do processo de irradiação em alimentos. O efeito da radiação em lipídeos pode desencadear uma série de reações secundárias como polimerização, descarboxilação, desidratação e a oxidação em presença de oxigênio, estas reações secundárias são originadas pela formação dos radicais livres.

### 2.13.3 – Efeitos das Radiações nos Alimentos

De acordo com a OMS (1995), a irradiação não torna o alimento radioativo. A maioria dos componentes do ambiente em que vivemos, incluindo os alimentos, contêm traços de radioatividade. Isso significa que estes traços (cerca de 150 a 200 becquerels/kg) de radioatividade natural de elementos tais como potássio são inevitáveis em nossas dietas diárias. Em países onde a irradiação de alimentos é permitida, tanto as fontes de irradiação como seus níveis de energia são reguladas e controladas. O processo de irradiação envolve a passagem do alimento através de um campo de irradiação a uma velocidade fixada para controlar a quantidade de energia ou dose

absorvida pelo produto. O alimento, propriamente dito, nunca entra em contato direto com a fonte de radiação.

O alimento irradiado não se torna mais radioativo do que os dentes que tenham sido radiografados por raios-X. Portando estes alimentos são processados com radiação, de forma que, possam inibir o brotamento, destruir bactérias ou obter outras propriedades favoráveis à conservação dos mesmos. Deve-se ressaltar que além dos gêneros alimentícios, muitos outros materiais são comercialmente irradiados durante a fabricação. Estes incluem os cosméticos, rolhas de garrafas de vinho, suprimentos hospitalares, produtos médicos e alguns tipos de embalagens para alimentos (SATIN, 1997).

#### **2.13.4 - Efeitos na qualidade nutricional**

São comuns trabalhos sobre irradiação utilizando alimentos tratados com doses de esterilização. A maioria das aplicações usa com frequência, doses bem abaixo de 10kGy. A adequação de um processo comercial de irradiação depende do valor nutricional do alimento irradiado e dos resultados de experimentos feitos, usando doses plausíveis de radiação na prática comercial (CHEFTEL *et al.*, 1992).

Segundo SATIN (1997) carboidratos, proteínas e gorduras são os componentes principais dos alimentos. Estes sofrem pequenas alterações durante a irradiação mesmo a doses de 10kGy. Da mesma forma, os aminoácidos, minerais e a maioria das vitaminas não sofrem perdas significativas. Os macronutrientes são, de maneira geral estáveis quando os alimentos são expostos à doses de 10 kGy.

Diferentes tipos de vitaminas possuem variada sensibilidade à irradiação e a alguns outros métodos de processamento de alimentos. A sensibilidade das vitaminas à irradiação depende da complexidade do sistema alimentício e da solubilidade das vitaminas na água ou gordura. A irradiação de vitaminas em soluções puras resulta em considerável destruição destes compostos, por conseguinte, alguns relatórios na literatura superestimaram as perdas. Por exemplo, a vitamina B1 (tiamina) em solução aquosa mostrou 50% de perda após irradiação a 0,5kGy, enquanto que a irradiação de ovo seco integral àquela dose, causou menos de 5% de destruição da mesma vitamina. Isto é devido à ação mutuamente protetora entre si dos vários constituintes do alimento (POTTER, 1996).

Perdas de vitaminas podem ser minimizadas irradiando o alimento na forma congelada ou embalando-o em uma atmosfera inerte tal como sob nitrogênio. Quatro vitaminas são reconhecidas como altamente sensíveis à irradiação: B1, C (ácido ascórbico), A (retinol) e E. Contudo a B1 é mesmo mais sensível ao calor do que a irradiação (CDTN, 1999).

De acordo com LIMA (2001), a irradiação não tem praticamente nenhum efeito sobre os níveis de beta caroteno e outros carotenóides, os precursores da vitamina A, formados nas frutas durante o amadurecimento. No total, os efeitos da irradiação sobre o valor nutricional dos alimentos são mínimos. Também deve ser lembrado que o alimento irradiado será consumido como parte de uma dieta mista e, por conseguinte, o processo terá pequeno impacto na admissão de nutrientes específicos.

DIEHL *et al.* (1991), avaliaram os efeitos da radiação gama sobre o teor de vitamina C em batatas, e verificaram perdas imediatamente após o processamento por irradiação, havendo um declínio nos primeiros meses de estocagem. Entretanto, concluíram que após seis meses de armazenamento os níveis da referida vitamina eram maiores nas batatas irradiadas do que nas amostras controle, ou seja, nas batatas não irradiadas.

Uma das maiores dificuldades para se desenvolver métodos de detecção capazes de distinguir alimentos irradiados dos não irradiados, reside no fato de que são poucas as alterações encontradas na composição dos mesmos. Ainda deve ser considerado que,

algumas dessas modificações ocorrem também em outros processos de conservação de alimentos (OLIVEIRA, 1998).

BEZERRA et al. (2002) estudaram algumas alterações de origem enzimática, principalmente para estágios de reações de oxi-redução durante o período em que o alimento é armazenado, estando em contato com o oxigênio. Podem ocorrer mudanças em algumas características sensoriais envolvendo substâncias derivadas de amônia ( $\text{NH}_3$ ), dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), hidrogênio ( $\text{H}_2$ ), gás sulfídrico ( $\text{H}_2\text{S}$ ), amidas, carbonilas, alterações em grupos aromáticos de certos aminoácidos. Lipídios podem apresentar produtos de oxidação tais como: carbonilas e peróxidos durante ou depois do período de estocagem em presença de oxigênio. Segundo GAVA (1984), a atividade das enzimas é afetada pelas doses permitidas de irradiação, podendo-se, portanto, estender a vida de prateleira desses alimentos.

A irradiação pode também hidrolisar carboidratos de alto peso molecular, como a pectina, por exemplo. O processo ocasiona amolecimento de frutas e vegetais através da hidrólise das substâncias da parede celular das frutas. O efeito do processo depende de fatores como a variedade e o grau de maturidade da fruta. O amolecimento tem sua desvantagem, mas apresenta a vantagem de aumentar o rendimento do suco e reduzir o tempo de secagem e cozimento de produtos desidratados (KILCAST, 1994).

Algumas mudanças a nível nutricional ocorrem em alimentos irradiados, não sendo, no entanto, diferentes daquelas observadas em alimentos submetidos a outros processos, como o enlatamento, o congelamento ou a desidratação, algumas vitaminas, como a “B” e a vitamina “C”, são parcialmente perdidas. A OMS considera essas mudanças insignificantes. Componentes, como aminoácidos essenciais, ácidos graxos essenciais e minerais e micronutrientes não são afetados sob condições adequadas de irradiação (BRUHN, 1995).

Podemos afirmar que, as perdas de vitaminas em frangos utilizando doses de até 3,0 kGy como também em carne de porco com doses de até 1,0 kGy não foram significativas nutricionalmente (FOX et al., 1989).

As perdas causadas pela irradiação são comparáveis a de outros métodos convencionais utilizados para conservação de alimentos. Proteínas, gorduras e carboidratos não são alterados significativamente através da irradiação quando são expostos a uma dose máxima de 10 kGy, no caso de micronutrientes, especialmente as vitaminas podem ser sensíveis a qualquer método de tratamento, inclusive à irradiação (SATIN, 1997).

A variação do valor nutritivo depende de vários fatores, entre eles a dose a qual o alimento foi exposto, seus constituintes, a sua embalagem, temperatura durante a irradiação e o tempo de armazenamento (OLIVEIRA, 1998).

Experimentos realizados com soluções preparadas com vitaminas de alto grau de pureza, demonstraram elevadas perdas quando estas foram submetidas a irradiação. Porém estudos realizados com estas mesmas vitaminas quando irradiadas nos alimentos de origem resultaram em quedas menores, podendo ser exemplificado o caso da vitamina B<sub>1</sub>, em solução aquosa (0,25 mg / 100 mL), a qual mostrou 50 % de perda, após ser submetida à irradiação com uma dose de 0,5 kGy, enquanto a irradiação em um

ovo seco integral contendo vitamina “B<sub>1</sub>” (0,39 mg / 100 g), submetido à mesma dose, resultou uma perda de 5% da vitamina. Este é mais um efeito protetor ocasionado pelos vários constituintes do alimento (DIEHL, 1990).

Em resumo, os macronutrientes, como proteínas, gorduras e carboidratos não são alterados significativamente através da irradiação em termos de valor nutritivo e digestibilidade. Já entre os micronutrientes, podem ser encontradas algumas das vitaminas que são sensíveis à irradiação, sendo que a extensão do dano causado pela irradiação depende muito da composição do alimento e das condições de armazenamento. Contudo, deve-se levar em conta que perda total, ou parcial, de uma vitamina ou de vitaminas em uma comida irradiada tem sua importância de acordo com a contribuição nutritiva que o alimento irradiado faz à dieta total. No caso da irradiação de temperos as perdas de vitaminas não devem ser levadas em conta, isto porque temperos, não são uma fonte significativa de vitaminas. Por outro lado, carne de porco é uma fonte importante de tiamina para algumas populações e neste caso os danos causados às vitaminas são importantes (DIEHL, 1990; OMS, 1995; OLIVEIRA, 2002).

#### **2.14 – Legislação sobre Irradiação de Alimentos**

A legislação existente, tanto no âmbito internacional como no nacional, define qualitativamente as condições que podem ser empregadas na irradiação de alimentos (BRASIL M.S., 2001; PAULI, 1995). Assim, de acordo com as normas estabelecidas, só podem ser utilizadas na irradiação de alimentos as seguintes radiações:

- a) Raios-x, produzidos por geradores de raios-x, com energia máxima de 5Mev;
- b) Feixes de elétrons, produzidos por aceleradores de elétrons, com energia máxima de 10Mev;
- c) Raios- $\gamma$ , gerados por fontes de  $^{60}\text{Co}$  ou  $^{137}\text{Cs}$ .

A atual legislação brasileira para a irradiação de alimentos, baseia-se na RDC nº 21 de 26 de janeiro de 2001, D.O.U. de 29/01/2001, da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA).

#### **2.15 – Evolução Mundial da Irradiação de Alimentos**

Recentes tentativas de mercado para introduzir novos alimentos irradiados como arroz, condimentos, batatas, entre outros, em vários países, conduzirão num futuro próximo a comercialização adicional de comida irradiada. A venda atual de comida irradiada no mercado em vários países tem claramente demonstrado que os consumidores concordarão em possuir esta nova opção de escolha. A **Figura 9** apresenta a situação mundial de utilização de alimentos irradiados.



**Figura 9** – Utilização mundial de alimentos irradiados, os países assinalados com coloração aplicam a irradiação de alimentos para propósitos comerciais (ICGFI, 1999).

Segundo POTTER (1996), o clima das diversas regiões, nem sempre permite a produção contínua e satisfatória de certos alimentos necessários ao homem. Surge então a importância do desenvolvimento de técnicas para prolongar o período de armazenamento, aumentando assim a durabilidade de alimentos para as regiões onde a colheita foi escassa e, a conservação dos alimentos, possa aos menos amenizar a fome dos habitantes daquela localidade, representando desta forma um importante passo da história da humanidade. Este legado ficou conhecido como Ciência e Tecnologia de Alimentos, e que, ainda é alvo de inúmeros estudos e de constantes inovações.

O desperdício de alimentos no Brasil, ocorre mesmo nos momentos de crise, estimam-se em mais de 30% as perdas de produtos hortícolas, nas fases de manuseio transporte, armazenamento e comercialização (CHITARRA, 1990).

De acordo com BRADFORD et al. (1993), o emprego da irradiação de alimentos mostra-se promissor e de grande importância, através de sua contribuição na conservação, reduzindo as perdas pós-colheita e a possibilidade de melhorar a oferta de alimentos.

MATIN et al. (1996) demonstraram que o processo de irradiação representa um benefício econômico para a agricultura, através da redução de perdas pós-colheita, desde que estejam em conformidade com as “Good Irradiation Practices (GIPs), nas condições de manipulação, armazenagem e transporte, estabelecidos pelas autoridades nacionais ou internacionais.

Não foram encontrados na literatura, trabalhos relacionando a utilização da radiação gama com o aumento do tempo de prateleira das raízes de mandioca, visando a preservação e avaliação da qualidade nutricional.

Este trabalho se propõe a avaliar os efeitos da radiação gama sobre a composição das raízes de mandioca, assim como, tentar estabelecer o mecanismo através do qual o processo de irradiação interfere na conservação das mesmas.

### **3. MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1 – Matéria-Prima**

As amostras utilizadas neste trabalho foram obtidas no Instituto de Agronomia da UFRRJ, Seropédica – RJ, de um experimento conforme relatado por LOPES (2003), em que não houve aplicação de nenhum tipo de fertilizante ou corretivo químico, bem como, uso de agrotóxico. A cultivar de mandioca utilizada, saracura, é a mais plantada no cinturão verde do Rio de Janeiro, para consumo de mesa. Por ocasião do plantio utilizou-se manivas de 20 cm, com média de dois centímetros de diâmetro, plantadas em sulcos de 10 cm de profundidade.

A cultivar Saracura é a mais sensível a deteriorações dentre as cultivares recomendadas para mesa. Seu rendimento médio é de 28,5t / ha em 12 meses, apresentando cerca de nove raízes por planta, forma cônica, com comprimento médio de 30-40cm, película de revestimento externo marrom escura, cor da casca rósea, sendo a polpa branca que corresponde a parte comestível crua ou cozida, sabor típico, textura fina, plasticidade de média a alta apresentando tempo médio de cozimento (cocção) de 20 minutos variando principalmente com a idade e época de colheita (EMBRAPA, 2003).

A colheita das raízes foi realizada 12 meses após o plantio e, depois de selecionadas foram escovadas manualmente, para remoção de resíduos impregnados na superfície das mesmas, com a finalidade de deixá-las em condições semelhantes às de sua comercialização. As mesmas foram transportadas para o laboratório da Sub-Direção de Projetos Especiais / Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento do Centro Tecnológico do Exército (CTEx), em Guaratiba, RJ, e separadas em cinco grupos de aproximadamente 15,0 Kg cada, para serem submetidas respectivamente aos seguintes tratamentos por radiação gama: amostra controle (não irradiada), 2,50, 5,00, 7,50 e 10,0 kGy. As raízes, em triplicatas foram levadas para as respectivas análises. Durante o período de estudos as amostras foram armazenadas em condições ambientais, cerca de 25°C, e analisadas em intervalos de 24 horas, até o dia em que, para cada um dos tratamentos, foram observados sintomas visuais de deterioração.

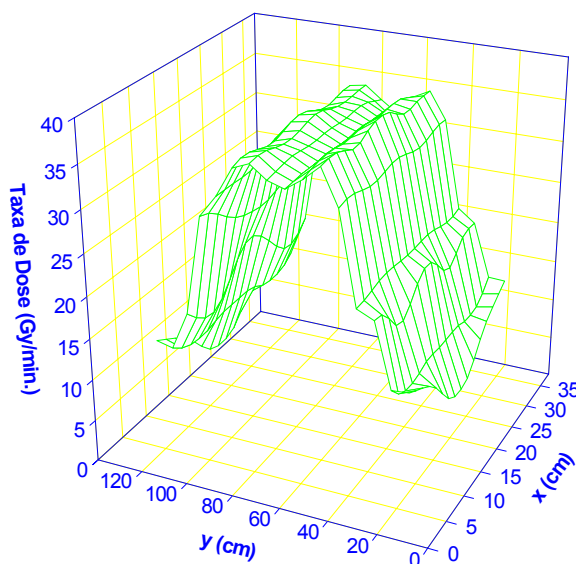
#### **3.2 - O Irradiador Gama do CTEx (Centro Tecnológico do Exército)**

O Irradiador Gama do CTEx, é dotado de uma fonte  $^{137}\text{Cs}$  com atividade inicial de  $3,99.10^{16}$  Bq (108.000 Ci), classifica-se como experimental do tipo “cavidade”, tem grande valor científico e está

localizado no Centro Tecnológico do Exército (CTEx), possibilitando as pesquisas de irradiação em diversos tipos de alimentos e materiais de interesse do Exército. O mapeamento dosimétrico do Irradiador Gama foi realizado com dosímetros de alta precisão do tipo cérico. Os resultados indicam que o irradiador foi projetado de forma a fornecer taxas de dose com boa uniformidade, compatível com irradiadores de pesquisa. Dessa forma, as dimensões das câmaras, trilhos e gavetas de irradiação estão otimizados para fornecer uma distribuição de dose tão uniforme quanto possível (VITAL et al., 2000).

O irradiador possui duas câmaras de irradiação as quais tem 20 cm de altura ( $0 < z < 20$  cm); 37 cm de largura útil ( $0 < x < 37$  cm) e 138 cm de comprimento total ( $0 < y < 138$  cm), o material a ser irradiado, normalmente é introduzido nas câmaras utilizando gavetas, as quais têm comprimento de 48 cm e largura de 37 cm. Na posição central relativa às portas do irradiador, tal que  $45 \text{ cm} < y < 93 \text{ cm}$ , uma amostra plana qualquer é submetida a uma distribuição de dose grosseiramente uniforme com desvio padrão médio em torno de  $\pm 5\%$  ( $1 \sigma$ ), para um valor de  $z$  fixo. De uma forma geral, as taxas de dose caem rapidamente com o aumento da distância vertical à superfície da câmara mais próxima da fonte de cério (localizada entre as duas câmaras) com gradientes entre 1 e 4% / cm. Um significativo gradiente também ocorre a distâncias horizontais maiores que 25 cm do plano vertical central ( $y = 69 \text{ cm}$ ), ou seja, para  $y > 94 \text{ cm}$  e  $y < 44 \text{ cm}$ . Num dado plano horizontal ( $z$  fixo), uma uniformidade melhor que  $\pm 15\%$  deve ser esperada para amostras com menos de 5 cm de altura dentro da gaveta de irradiação posicionada no centro da câmara. Existe uma simetria entre as duas câmaras – superior e inferior, em termos da taxa de dose. Dessa forma, irradiações poderão ser realizadas simultaneamente em ambas as câmaras sem o risco de obter-se taxas de dose muito diferentes entre ambas (diferenças maiores que 10%), desde que o topo das amostras inseridas na câmara inferior esteja bem próximo ( $< 4 \text{ mm}$ ) da superfície superior da câmara (VITAL et al., 2000).

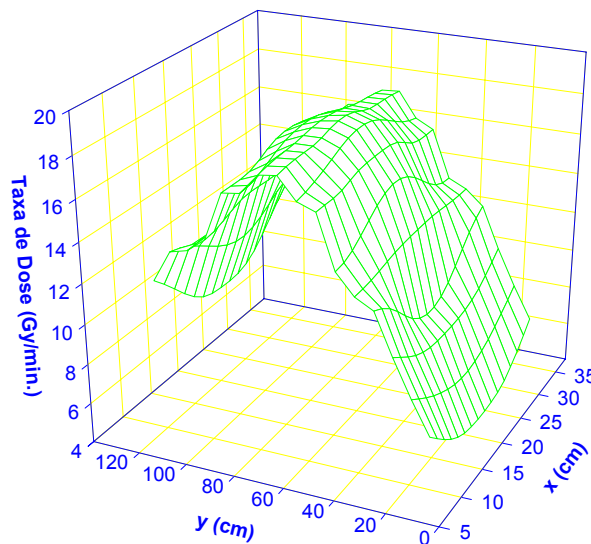
As **Figuras 10, 11 e 12** descritas por VITAL et al. (2000), mostram as distribuições da taxa de dose em 16 de fevereiro de 2000 medidas em diferentes planos horizontais:  $z_s = 1 \text{ cm}$  (câmara superior),  $z_i = 10,0 \text{ cm}$  (câmara inferior) e  $z_i = 18,2 \text{ cm}$  (câmara inferior). Onde  $z_s$  e  $z_i$  referem-se às distâncias em relação à superfície inferior da câmara superior e à superfície superior da câmara inferior respectivamente.



**Figura 10- Distribuição dosimétrica (câmara superior),  $z = 1,0 \text{ cm}$  (VITAL et al., 2000).**

Na **Figura 10**, observa-se um pico duplo no meio da distribuição para  $z_s = 1 \text{ cm}$ , compatível com a geometria da fonte gama a qual é constituída por 2 hastes cilíndricas paralelas entre si e distantes aproximadamente  $36 \pm 10 \text{ cm}$ .

**Figura 11** - Distribuição dosimétrica da câmara inferior, (VITAL et al., 2000).



**Figura 12** - Distribuição dosimétrica câmara inferior, (VITAL et al., 2000).

Com o afastamento da fonte, ocorre uma gradual degradação da resolução espacial apresentado na **Figura 11** a qual acarreta uma transformação do máximo num pico único que pode ser observado na **Figura 12**.

### **3.3 – Determinações químicas**

#### **3.3.1 – Análise da Fibra**

Baseia-se na determinação do resíduo orgânico insolúvel da amostra, após uma digestão ácida e outra alcalina. Conforme metodologia publicada no Diário Oficial da União – 17/09/1991, seção 1, pag.19819. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária - Portaria nº 108, de 04 de setembro de 1991. “MÉTODOS ANALÍTICOS PARA CONTROLE DE ALIMENTOS” – Normas Gerais de Amostragem para Análises de Rotina.

#### **3.3.2 – Proteínas**

A determinação de protídeos baseia-se na quantificação de nitrogênio, feito pelo processo de digestão de Kjeldahl. A matéria orgânica é decomposta e o nitrogênio existente é transformado em amônia (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 1985).

#### **3.3.3 – Glicídios totais**

Foram determinados por hidrólise ácida, pois neste grupo temos os mais variados tipos de substâncias, desde os monossacarídeos, representados pela glicose, aos

dissacarídeos, dos quais são mais frequentes a sacarose e lactose, até os polissacarídeos, como amido e celulose. Determinou-se os glicídios redutores (em glicose) e os glicídios não redutores (em amido). Acidulou-se fortemente com ácido clorídrico. Foram utilizadas as soluções de Fehling, com aquecimento até ebulição (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 1985).

#### 3.3.2.1 – Amido

Determinado conforme descrito para os glicídios totais, em termos de glicídios não redutores (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 1985).

#### 3.3.4 – Fenólicos Totais

Os fenólicos totais foram determinados pelo método colorimétrico de Folin Denis, segundo metodologia do Instituto Adolfo Lutz (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 1985).

#### 3.3.5 – Substâncias minerais: cálcio, ferro, fósforo e metais pesados

As substâncias minerais (cálcio, ferro, fósforo e metais pesados), foram obtidas através da mineralização das amostras, utilizando os métodos descritos para estes minerais, conforme a seguinte metodologia: cerca de 0,2500 g de amostra foi seca e moída sendo adicionada em balão de fundo chato de 100 mL, previamente descontaminado com HNO<sub>3</sub> 5%. As amostras foram umidecidas com aproximadamente 1 a 2 mL de água, para evitar a formação de uma crosta endurecida quando da adição de HCl. Foram então adicionados 9,0 mL de HCl 37 % e 3,0 mL de HNO<sub>3</sub> 65%, ambos de alta pureza (Suprapur ou similar). O tubo foi agitado com movimentos circulares, em capela de exaustão. Com o aquecimento da mistura em placa ou manta de aquecimento, à temperatura de cerca de 140 °C, até próximo à secura (cerca de 1,5 mL remanescentes). Após resfriamento, adicionou-se 10,0 mL de HCl 20% (v/v) e aqueceu-se a mistura por 30 min a 80-90 °C. A mistura foi filtrada em sistema de filtração a vácuo tipo Millipore, utilizando membranas filtrantes de PTFE 0,45 micra, retomando o volume até 25 mL, com água ultrapura. Efetuou-se a determinação em espectrômetro de emissão por plasma acoplado indutivamente, utilizando o equipamento ICP-OES Perkin-Elmer OPTIMA 3000 (EMBRAPA – RJ.), com amostrador automático AS-90.

#### 3.3.6 – Lipídios

O estudo foi realizado através de extração com éter de petróleo, seguida de remoção por destilação do solvente empregado (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 1985).

#### 3.3.7 – Vitamina C

Utilizou-se o método espectrofotométrico, com resultados expressos em mg/100g da parte comestível, foi usado um espectrofotômetro, marca Fento, modelo 600 (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 1985).

### **3.4 – Determinações físicas**

#### **3.4.1 – Umidade**

A perda por dessecação, corresponde à umidade. A perda de peso sofrida pelo produto, quando aquecido em condições nas quais a água é removida. Utilizando uma estufa a 105°C e um dessecador até peso constante (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 1985).

#### **3.4.2 – Resíduo por incineração (cinzas)**

São denominadas cinzas ao resíduo obtido por aquecimento do produto em temperaturas próximas a 550-570°C. As cinzas foram obtidas por ignição de uma quantidade conhecida da amostra (5g) em um cadinho de porcelana resistente ao calor, mantida em uma mufla a altas temperaturas (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 1985).

### **3.5 – Análise sensorial**

As raízes de mandioca, foram lavadas, descascadas, cortadas em pedaços de 10cm de comprimento e acondicionadas em sacos de polietileno com 0,04mm de espessura, num total de 20 amostras, com 55g cada.

#### **3.5.1 – A aparência geral**

A aparência foi verificada por 5 provadores, pelo método de ordenação (MONTEIRO, 1984). Os provadores foram orientados para atribuírem notas de 1 a 5, com valores: 1 = péssima, 2 = ruim, 3 = regular, 4 = boa, 5 = excelente. As avaliações foram realizadas no primeiro, quinto e décimo quarto dia após a colheita.

#### **3.5.2 – Teste de aceitabilidade**

As amostras de mandioca cozidas por 30 minutos em 1 litro de água e 15g de sal foram avaliadas por 10 provadores, pelo método do teste pareado (MODESTA, 1994). O provador foi informado de quais as características ou atributos sensoriais devem ser julgados. Este teste foi aplicado para comparar as amostras processadas por irradiação e as não processadas, sem que o provador soubesse, qual em cada par, sofreu tratamento.

### **3.6 – Determinações físico-químicas**

#### **3.6.1 – Determinações Espectrométricas com Infravermelho (IR) e Ultravioleta (UV).**

As amostras para I.R. foram liofilizadas e preparadas em pastilhas de KBr, em equipamento Perkin Elmer, série 1600, modelo 1605, com transformada de Fourier, obtendo-se seus respectivos espectros, para a avaliação de mudanças em relação a composição química inicial.

No estudo com U.V. foi realizada uma extração utilizando uma mistura 1:1 de metanol (UV) e água. As amostras foram analisadas em um espectrômetro de U.V. – V.I.S. (Varian, DMS-80), para determinar a evolução da deterioração, avaliando a faixa de comprimento de onda, compreendida entre 200 a 400nm.

### 3.7 – Avaliação Microbiológica

As amostras foram armazenadas em condições ambientes e analisadas no tempo zero e a cada dois dias. Utilizando-se fatias de 10g maceradas e diluídas em água, na proporção 10:1. Empregando-se Agar batata glicosado, com plaqueamento em profundidade de alíquotas de 1mL. As placas foram incubadas a 35°C por 48 horas, para a avaliação de bolores e leveduras. No estudo da contagem total de mesófilos (PCA), utilizando-se a mesma técnica no plaqueamento para bolores e leveduras (HARRIGAN, 1998; VANDERZANT & SPLITTSTOESSER, 1992).

### 3.8 – Grau de deterioração fisiológica

Entre as metodologias adotadas em trabalhos anteriores (BOOTH, 1976; WANG *et al.*, 1982) a intensidade da deterioração fisiológica foi avaliada combinando as referidas técnicas. O percentual de escurecimento de cada raiz, cortada em 6 seções transversais, foi determinado através de observação visual em que, cada região afetada recebeu uma nota, que representou o grau de deterioração. Assim, a raiz cortada em 6 partes recebeu seis notas referentes ao percentual da área afetada.

|             |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |
|-------------|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|
| % afetado   | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 |
| Nota (grau) | 0 | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10  |

Então, por exemplo, para uma raiz em que duas partes recebem nota 2, uma parte com nota 3 e três partes com nota 5. Como a nota máxima é 10 e temos 6 partes então o total de pontos máximo é de 60 (100 % de deterioração). Fazendo os cálculos, temos:

$$(2 \times 2) + (1 \times 3) + (3 \times 5) = 22 \text{ (valor calculado).}$$

Assim a percentagem de deterioração será calculada da seguinte forma:

$$\% \text{ de deterioração} = \frac{\text{valor calculado} \times 100}{\text{valor máximo}} = \frac{22 \times 100}{60} = 36,67\%$$

### 3.9 – Tratamento estatístico

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado (DIC), com três repetições, constituído pelos tratamentos (com irradiação e sem irradiação) durante os dias (períodos) de armazenamento. As análises estatísticas foram realizadas usando o software SISVAR. As médias foram comparadas pelo teste de Tukey (5%). Utilizou-se análise de regressão linear para avaliar o comportamento das variáveis em função do tempo de pós-colheita. Em todos os experimentos realizados neste trabalho foram utilizadas amostras originais em triplicatas.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Conforme a metodologia descrita nas normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz para o grupo dos amiláceos e seus derivados, tais como: amidos, féculas, farinhas, pães, massas alimentícias, e toda a série de produtos similares, são utilizados métodos de análise para os componentes deste grupo, que pouco diferem entre si. Variando apenas, em alguns casos, em relação aos componentes e aditivos empregados na sua fabricação. A composição varia de acordo com a origem do amiláceo e os processos tecnológicos de sua elaboração. As análises de rotina, da composição, geralmente incluem umidade, amido, protídios, fibra, lipídios, cinza e pesquisas de enriquecedores e branqueadores. Outras determinações como: glúten e o poder diastásico (enzimas), são de grande importância para a avaliação das farinhas (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 1985).

Neste trabalho os estudos relacionados à composição foram realizados até o período em que atingimos a rejeição visual, acima do qual, o aspecto visual da parte comestível torna o produto inaceitável. Cada um dos valores utilizados nos gráficos (fibra, umidade, cinzas, glicídios totais, proteínas, lipídios, vitamina C e o grau de deterioração fisiológica) e nas tabelas (análise sensorial, teor de cálcio, ferro, fósforo, metais pesados e o teor de fenólicos totais) são médias de análises em triplicatas.

Cada uma das ilustrações utilizadas para representação gráfica dos valores encontrados, é composta de cinco quadros que relacionam o tempo de armazenamento (tempo de pós-colheita) com um determinado componente estudado, correspondendo aos cinco tratamentos aplicados. Em cada um dos gráficos, podem ser observadas informações como a equação da reta ajustada e o coeficiente de correlação ( $R^2$ ).

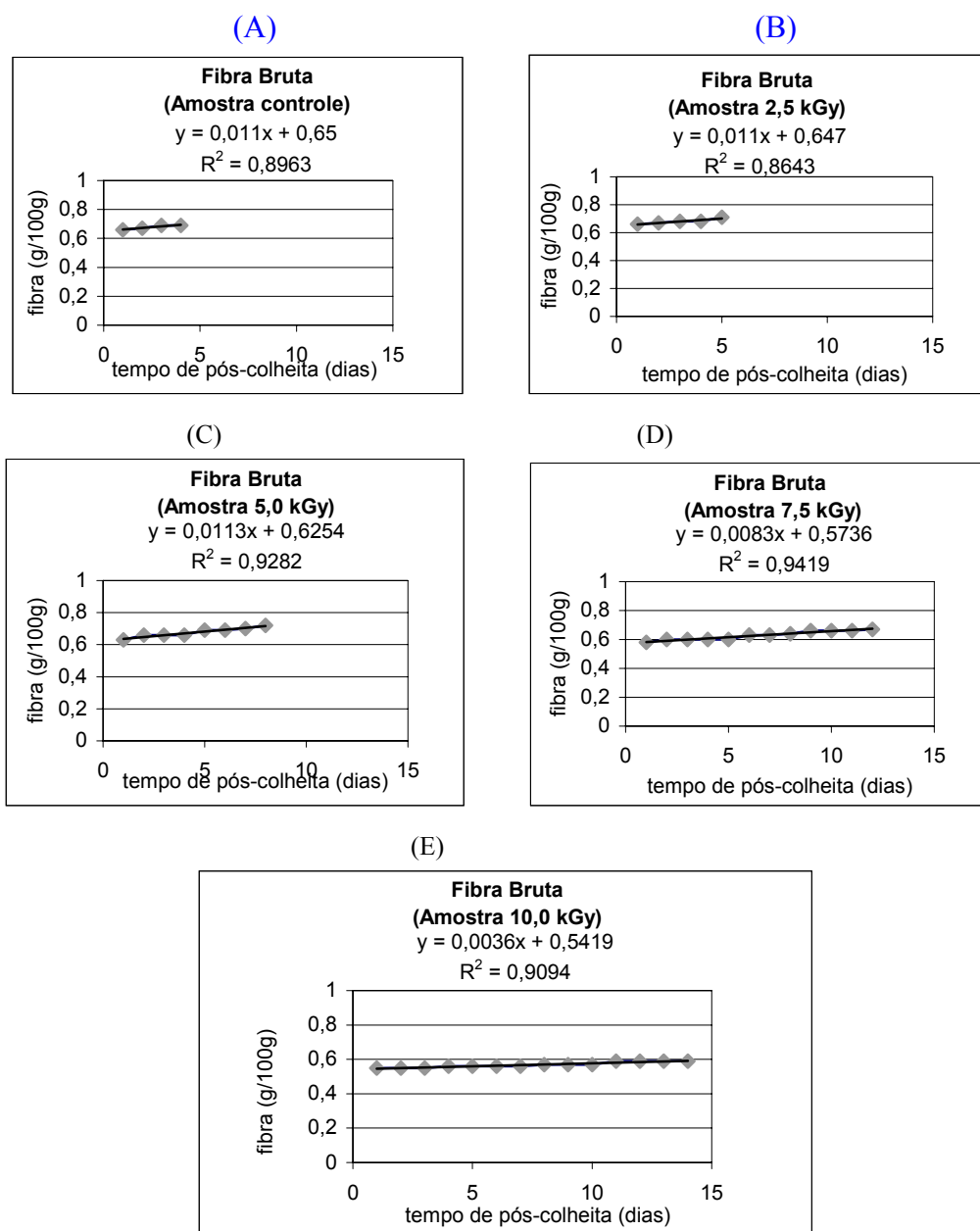
O programa utilizado para preparar os gráficos que estão ilustrados nas figuras deste capítulo foi o Microsoft Excel. A dispersão dos pontos obtidos em todos os experimentos foi ajustada através de uma reta, e o método utilizado para esse ajuste foi o de regressão linear. Sendo utilizado o coeficiente de correlação ( $R^2$ ) como medida estatística de avaliação do ajuste dos pontos levantados em cada experimento.

### 4.1 – Determinações químicas

#### 4.1.1 – Fibra

O resíduo orgânico obtido em extração com éter, depois de tratamento com ácido sulfúrico diluído, hidróxido de sódio diluído e álcool, é constituído em grande parte por celulose, que poder ser acompanhada ou não de lignina. Este resíduo denomina-se fibra. Os resultados obtidos foram expressos em percentagem (g de fibra bruta/100g da parte comestível) e estão na **Figura 13**, onde verifica-se que os mesmos estão compreendidos em uma faixa que varia de 0,58 até 0,70%, semelhantes aos valores

encontrados por LIMA et al. (2004), sendo que o acréscimo na concentração de fibras ao longo do período de análise deve-se principalmente à queda no teor de umidade (**Figura 20**).



**Figura 13** – Variação do teor de fibra bruta durante o período pós-colheita de raízes de mandioca, para os tratamentos: controle (A), 2,5 kGy (B), 5,0 kGy (C), 7,5 kGy (D) e 10,0 kGy (E).

Deste comportamento, decorre o fato de que nas amostras tratadas com 10kGy, onde a retenção de água foi maior, o teor de fibras varia muito pouco.

As fibras, de certo modo, representam o resíduo das substâncias das paredes celulares (celulose e lignina). As outras substâncias minerais, presas a estes tecidos celulares, não são avaliadas, por não se tratar de tecido orgânico. Os seus valores variam

nos diferentes alimentos, desde os cereais em grãos ( na ordem de 3 a 11%) às farinhas (na ordem de 0,06%). Os métodos de tratamento e extração variam de acordo com a amostra (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 1985).

#### 4.1.2 – Proteínas

Observa-se na **Figura 14** que o valor inicial obtido para o teor de proteínas nos diferentes tratamentos é de cerca de 0,8%, o que está de acordo com ENDEF (1977) e LIMA et al. (2004).

Contudo segundo CARVALHO et al. (1985), a avaliação do teor de proteínas, onde se incluem as enzimas, está associada à deterioração fisiológica que por sua vez está relacionada com as mudanças oxidativas.

BEZERRA et al. (2002), avaliaram que nos processos de oxidação das substâncias fenólicas estão principalmente envolvidas as enzimas peroxidase e a polifenoloxidase.

Assim um processo dinâmico em que a deterioração microbiológica e a deterioração enzimática colaboram para a redução do teor de proteínas, enquanto a perda de umidade das raízes de mandioca, contribui para o aumento da concentração global das proteínas. Assim nos tratamentos onde a retenção de umidade foi maior, doses de radiação mais altas, podemos verificar pequenas variações no teor de proteínas, ou seja, uma redução na taxa de aumento do teor das mesmas.

#### 4.1.3 – Glicídios totais

Neste grupo temos os hidratos de carbono, onde ocorrem os mais variados tipos de substâncias, desde os monossacarídeos, representados em termos de glicose, aos dissacarídeos, dos quais os mais freqüentes em alimentos são a sacarose e lactose, até os polissacarídeos, como o amido e celulose. Podendo simplificar esta determinação ao mais simples, seja por hidrólise ácida ou enzimática. Sendo necessário a utilização de soluções clarificadoras, as quais precipitam as substâncias interferentes. Os resultados obtidos neste trabalho são apresentados na **Figura 15**, em g de glicídios totais /100 g da parte comestível.

Os glicídios totais foram determinados e expressos pelo somatório dos glicídios redutores (em glicose) e os glicídios não redutores (em amido). Conforme preconizado nas normas analíticas de análise de alimentos (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 1985).

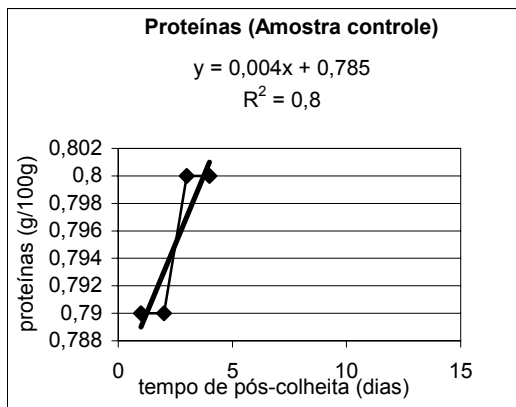
Pode-se observar uma tendência de alta nos valores obtidos ao longo do armazenamento, e em seguida uma redução da taxa de crescimento do teor de glicídios, quando próximo do período em que o grau de deterioração torna-se acentuado, coincidindo com o desenvolvimento dos microrganismos.

Houve um acréscimo no teor de glicídios totais, com a redução da umidade, apesar da deterioração enzimática está intimamente ligada ao teor de açúcares redutores. Tendo ficado evidenciada pela observação visual do escurecimento das raízes, que foi verificada neste trabalho. Assim os valores iniciais encontrados variam entre 39,0 a 40,80% nas primeiras 48 horas após a colheita, semelhantes aos valores encontrados por LIMA et al. (2004).

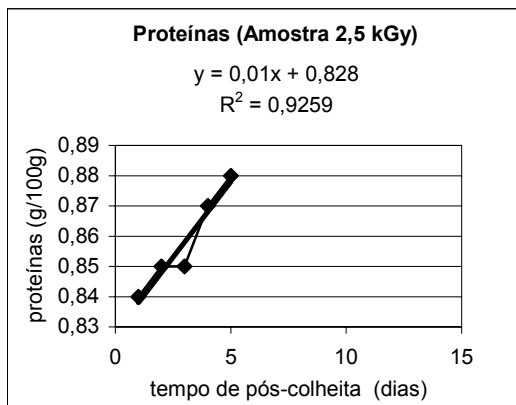
Apesar da deterioração microbiológica e da deterioração enzimática contribuírem para a redução do teor dos glicídios totais, a perda de umidade decorrente da deterioração das raízes de mandioca, influi de forma decisiva para o aumento da concentração global dos glicídios totais. Ocorreu uma redução na taxa de crescimento do teor de glicídios totais, que se acentuou com a elevação da dose aplicada.

Os resultados relativos ao teor de proteínas foram expressos na **Figura 14**, em g/100g da parte comestível.

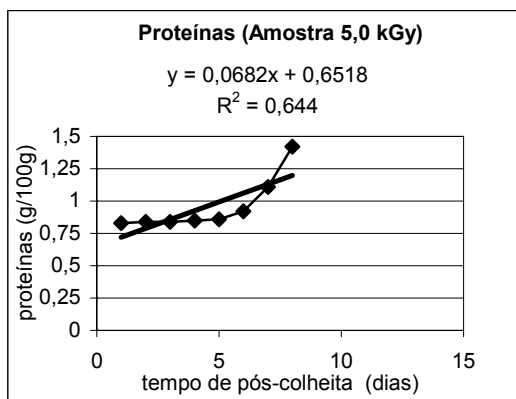
(A)



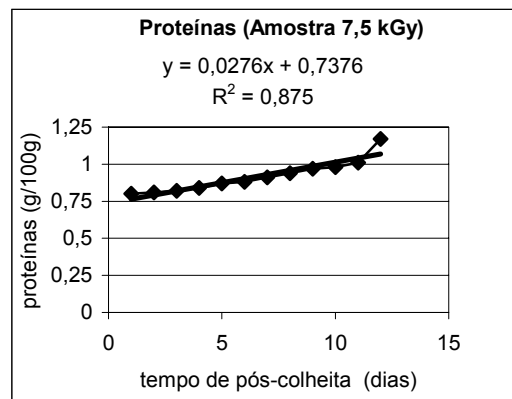
(B)



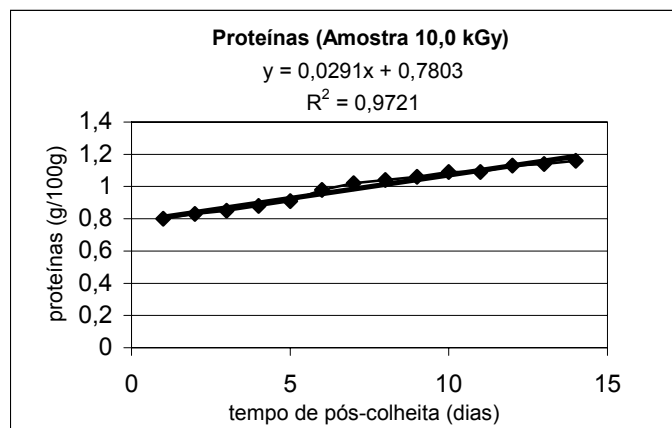
(C)



(D)



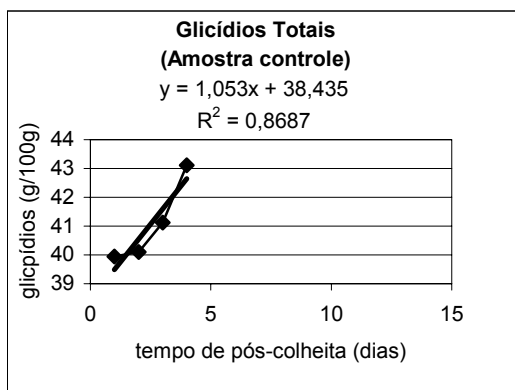
(E)



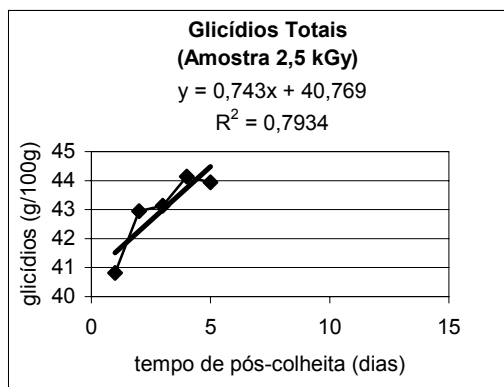
**Figura 14** – Variação do teor de proteínas durante o período pós-colheita de raízes de mandioca, para os tratamentos: controle (A), 2,5 kGy (B), 5,0 kGy (C), 7,5 kGy (D) e 10,0 kGy (E).

Na **Figura 15**, a concentração de glicídios totais foi expressa em mg / 100g da parte comestível.

(A)

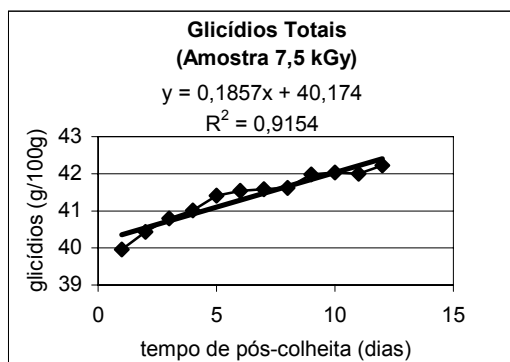
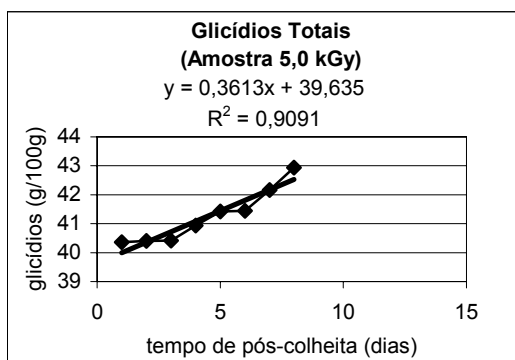


(B)

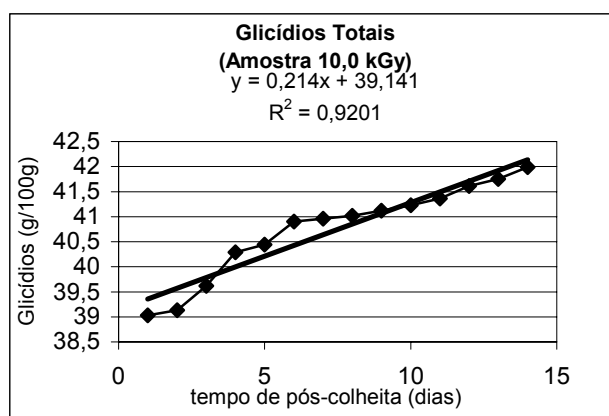


(C)

(D)



(E)



**Figura 15** – Variação do teor de glicídios totais durante o período pós-colheita de raízes de mandioca, para os tratamentos: controle (A), 2,5 kGy (B), 5,0 kGy (C), 7,5 kGy (D) e 10,0 kGy (E).

#### 4.1.4 – Fenólicos Totais

Verifica-se que nas amostras mais resistentes a deterioração fisiológica (DF), o teor de fenólicos totais estudados quando o grau de DF atingiu o valor 5, permaneceu praticamente constante, conforme o **Tabela 2** apresenta.

**Tabela 2** – Teor de fenólicos totais ao atingir o nível de rejeição visual (grau 5).

Nº de dias até

| atingir grau          | 4          | 5         | 8         | 12        | 14         |
|-----------------------|------------|-----------|-----------|-----------|------------|
| 5                     |            |           |           |           |            |
| Amostras              | (controle) | (2,5 kGy) | (5,0 kGy) | (7,5 kGy) | (10,0 kGy) |
| Fenólicos totais (MS) | 198,41a    | 194,22a   | 195,16a   | 194,81a   | 194,62a    |
| mg/100g               |            |           |           |           |            |
| Fenólicos totais (MI) | 77,34a     | 74,15a    | 76,61a    | 75,25a    | 75,96a     |
| mg/100g               |            |           |           |           |            |

(\*1) Valores médios obtidos seguidos da mesma letra minúscula na linha, não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

(\*2) MS – Matéria seca; MI – Matéria integral.

#### 4.1.5 – Substâncias minerais: cálcio, ferro, fósforo e metais pesados.

Os **Tabelas 3, 4 e 5** apresentam os teores de minerais, não havendo diferenças significativas ao longo do período de pós-colheita apesar da perda de umidade (**Figura 20**).

Embora o efeito da perda de umidade resulte na elevação dos teores de outros componentes, os resultados demonstraram uma ligeira queda dos níveis dos minerais estudados, uma vez que, não foram percebidas alterações proporcionais nos teores dos minerais ao longo do período de análise. Os valores encontrados por LIMA et al. (2004), diferem dos encontrados neste trabalho, provavelmente em função da disponibilidade de nutrientes no solo e da cultivar utilizada. Contudo os resultados obtidos nesta pesquisa estão de acordo com os apresentados por ENDEF (1977).

**Tabela 3** – Teor de cálcio expresso em mg/100g da parte comestível, das amostras controle e irradiadas, no primeiro, quinto e décimo quarto dias de armazenamento.

| Doses (kGy)  | 1º dia | 5º dia | 14º dia |
|--------------|--------|--------|---------|
| 0 (controle) | 39,0   | -      | -       |
| 2,5          | 39,2   | 39,3   | -       |
| 5,0          | 39,2   | 39,4   | -       |
| 7,5          | 39,1   | 39,2   | -       |
| 10,0         | 39,2   | 39,3   | 39,6    |

(\*)Valores médios obtidos, não diferiram entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

**Tabela 4** – Teor de fósforo expresso em mg/100g da parte comestível, das amostras controle e irradiadas, no primeiro, quinto e décimo quarto dias de armazenamento.

| Doses (kGy)  | 1º dia | 5º dia | 14º dia |
|--------------|--------|--------|---------|
| 0 (controle) | 44,2   | -      | -       |
| 2,5          | 44,2   | 44,4   | -       |
| 5,0          | 44,3   | 44,5   | -       |
| 7,5          | 44,1   | 44,3   | -       |
| 10,0         | 44,2   | 44,3   | 44,8    |

(\*)Valores médios obtidos, não diferiram entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

**Tabela 5** – Teor de ferro expresso em mg/100g da parte comestível, das amostras controle e irradiadas, no primeiro, quinto e décimo quarto dias de armazenamento

| Doses (kGy)  | 1º dia | 5º dia | 14º dia |
|--------------|--------|--------|---------|
| 0 (controle) | 1,10   | -      | -       |
| 2,5          | 1,11   | 1,13   | -       |
| 5,0          | 1,12   | 1,13   | -       |
| 7,5          | 1,11   | 1,12   | -       |
| 10,0         | 1,11   | 1,12   | 1,04    |

(\*)Valores médios obtidos, não diferiram entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

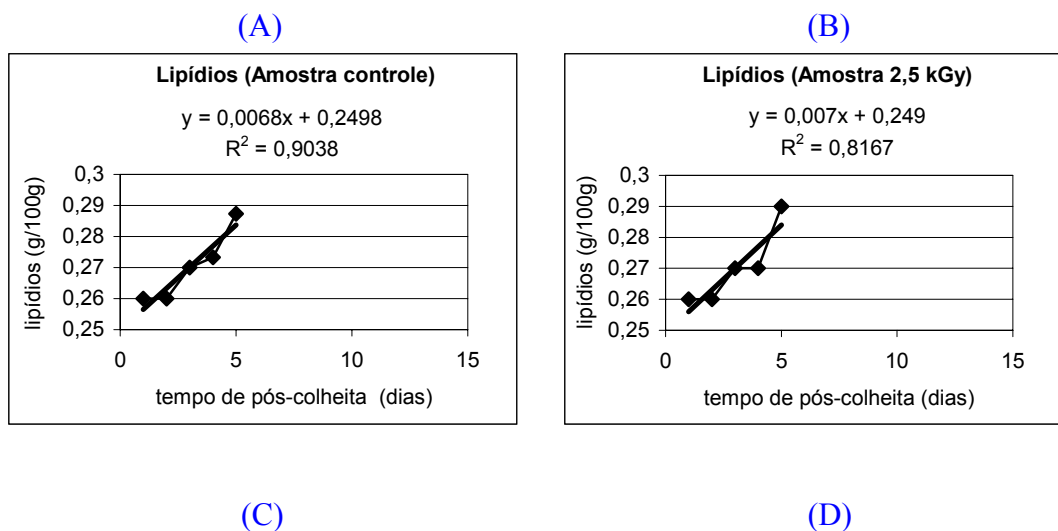
Os resultados obtidos revelaram ausência de metais pesados, que constituem um grave problema devido ao seu elevado poder tóxico, dentre estes podemos destacar o Hg, Pb, Sb, Sn, Zn, Cu, Cd e o Ni, e ainda derivados do arsênio.

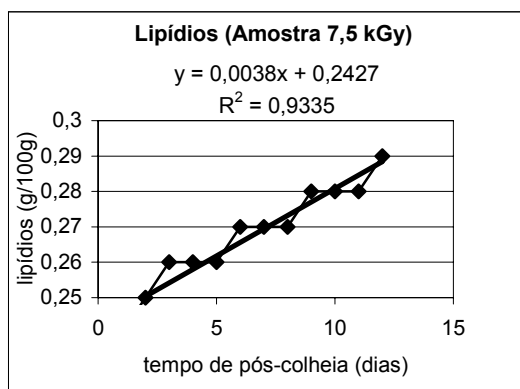
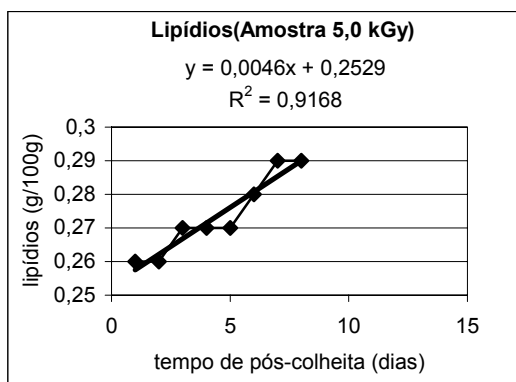
#### 4.1.6 – Lipídios

Os lipídios foram determinados, por extração com éter de petróleo, seguida de remoção por evaporação do solvente empregado. O extrato não é constituído apenas por lipídios, mas por todos os compostos que, nas condições da determinação possam ser extraídos pelo solvente. Geralmente, são esteróis, fosfatídeos, vitaminas A e D, carotenóides, óleos essenciais que estão presentes em quantidades relativamente pequenas, não representando uma diferença significativa nesta análise, conforme verificamos na literatura (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 1985).

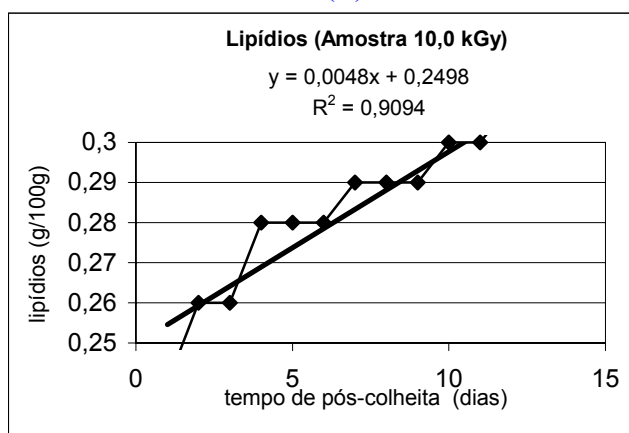
Os resultados obtidos foram expressos em percentagem são encontrados na **Figura 16**, onde verifica-se que os mesmos estão compreendidos em uma faixa que varia de 0,26 até 0,31%, análogos aos valores encontrados por LIMA et al. (2004). Sendo que, o acréscimo no teor de lipídios, ao longo do período de análise, deve-se principalmente a queda no teor de umidade, sendo que este acréscimo torna-se menor para as doses de radiação mais elevadas.

Os lipídios estão relacionados às transformações de caráter oxidativo, pelas quais o substrato pode ter passado durante os processos de deterioração (ZEIGER, 1998).





(E)

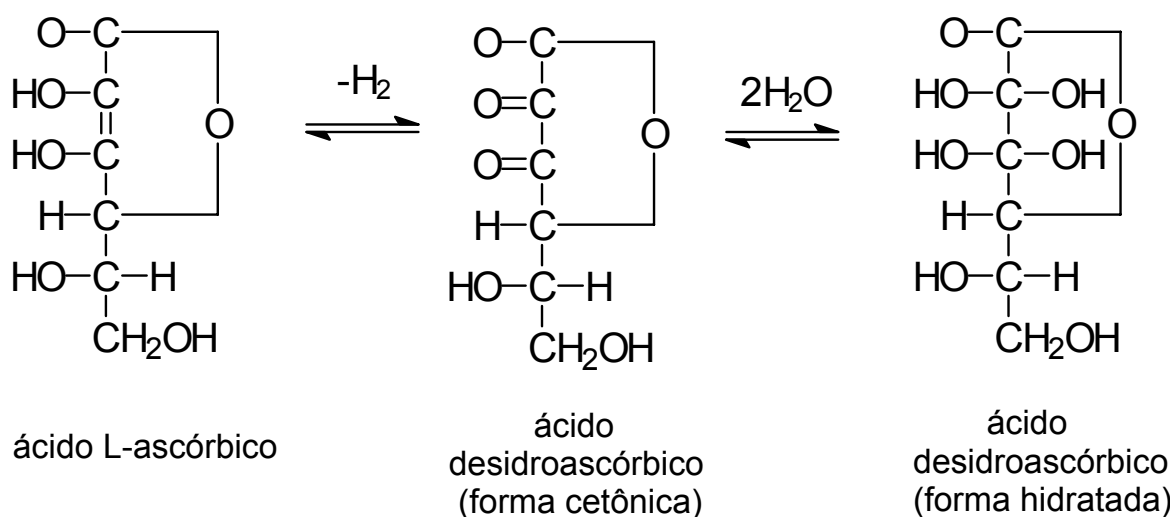


**Figura 16** – Variação do teor de lipídios durante o período pós-colheita de raízes de mandioca, para os tratamentos: controle (A), 2,5 kGy (B), 5,0 kGy (C), 7,5 kGy (D) e 10,0 kGy (E).

#### 4.1.7 – Vitamina C

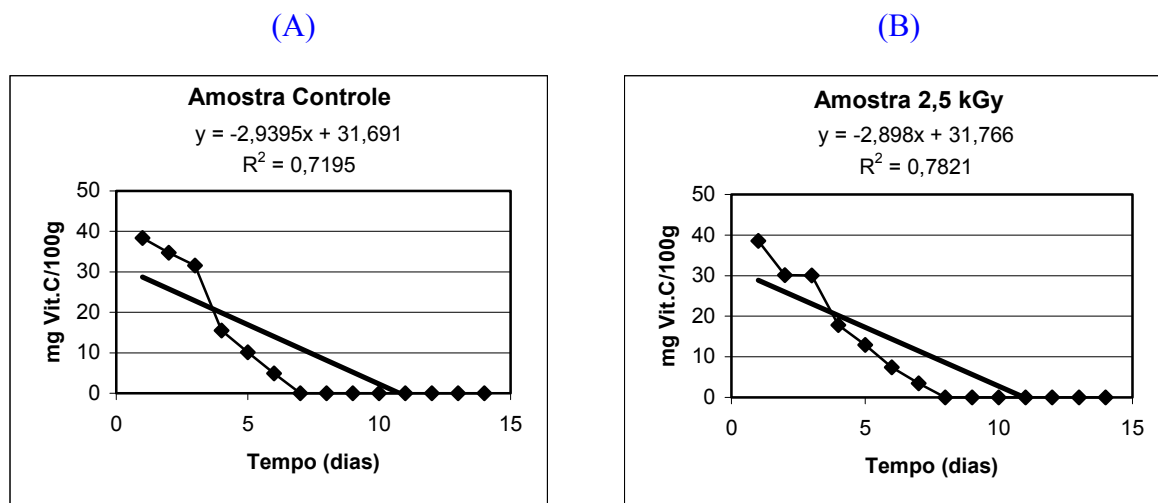
Uma das características da vitamina C é de apresentar elevada sensibilidade ao calor, oxidação, dessecação, armazenamento, alcalinidade e possuir alta solubilidade em água. Sendo reversivelmente oxidada no organismo entre as formas de ácido ascórbico e

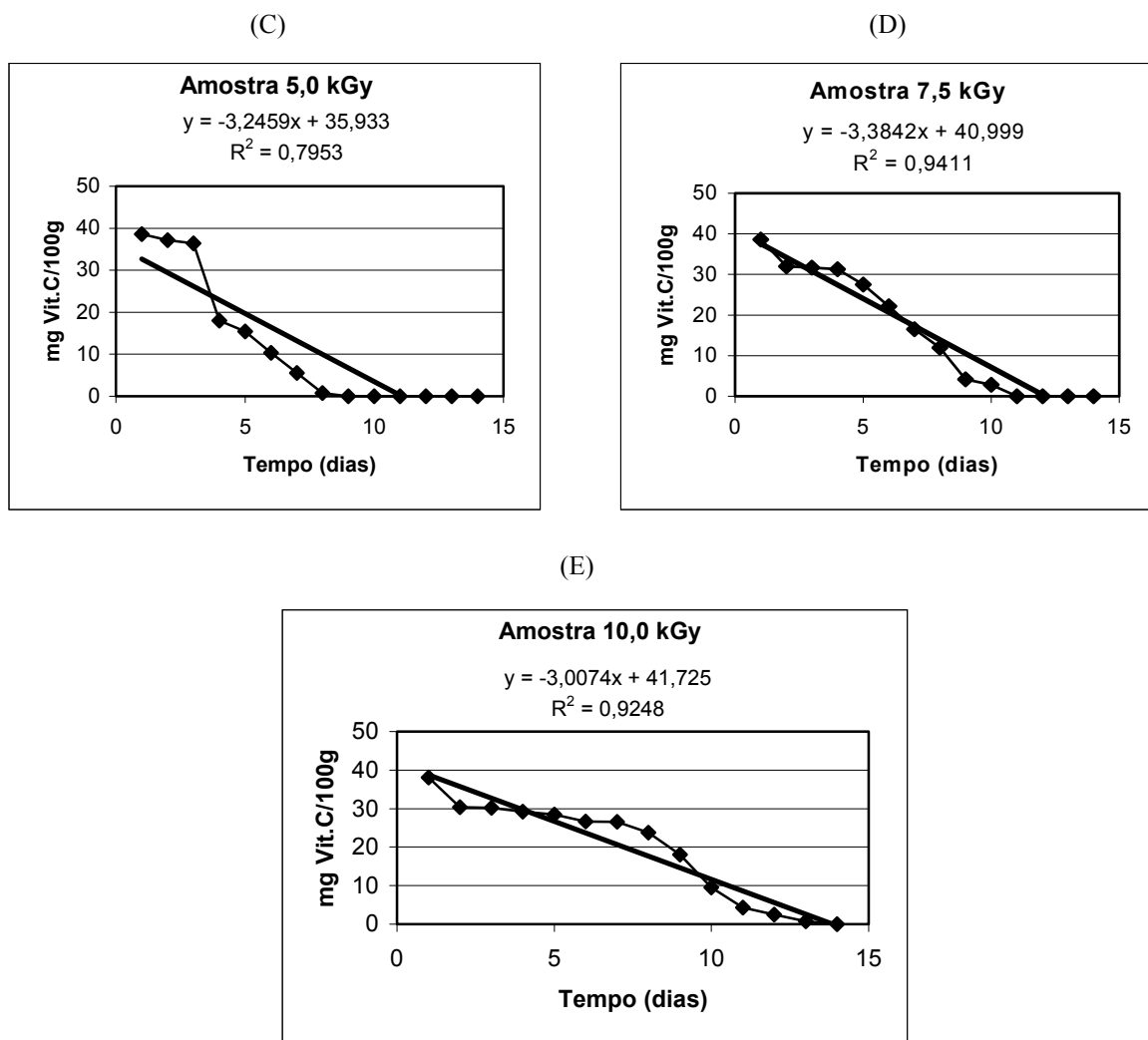
deidroascórbico (**Figura 17**). Outros isômeros, ácido eritórbico (D-ácido ascórbico, D-ácido araboascórbico) têm fraca atividade antiescorbútica, possuindo no entanto similar potencial redox (LAJOLO, 1999).



**Figura 17** – Componentes ativos da vitamina C.

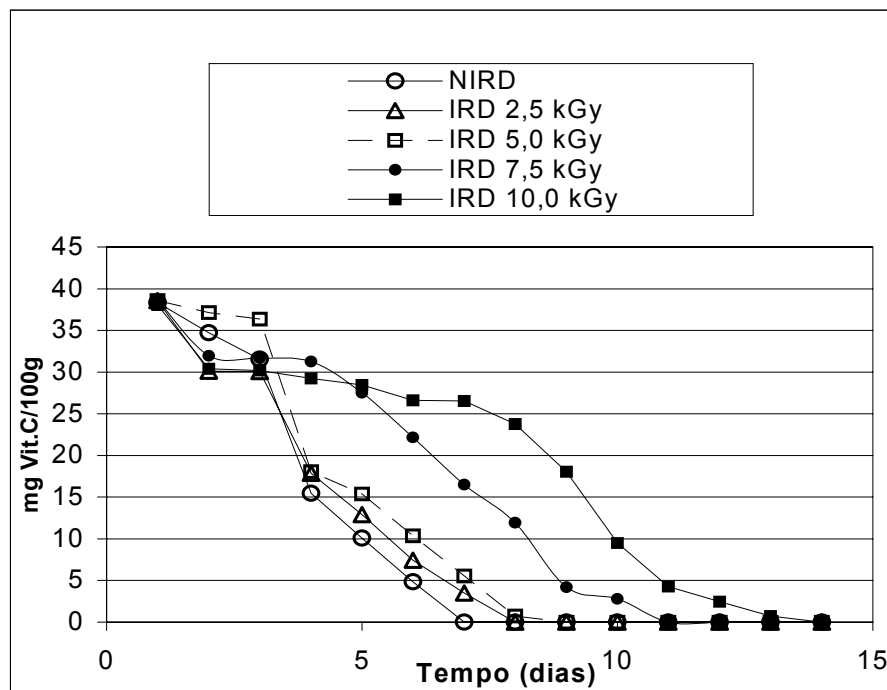
Os valores médios de vitamina C, expressos em mg / 100g da parte comestível, foram de aproximadamente 39mg/100g (na fase inicial de armazenamento), apresentando concentrações semelhantes às citadas por LIMA et al. (2004). A **Figura 18** mostra a redução do teor de vitamina C em função do tempo.





**Figura 18** – Redução do teor de vitamina C durante o período pós-colheita de raízes de mandioca, para os tratamentos: controle (A), 2,5 kGy (B), 5,0 kGy (C), 7,5 kGy (D) e 10,0 kGy (E).

Observando-se a **Figura 18** podemos verificar que a amostra controle apresentou uma concentração inicial de vitamina C próxima das demais amostras, cerca de 39mg/100g, porém a taxa de degradação em função do período de armazenamento foi maior nesta amostra. As variações observadas no teor de vitamina C demonstram uma maior uniformidade no decréscimo da concentração da mesma, na amostra que apresenta o maior coeficiente de correlação, ou seja, a irradiada com dose de 10 kGy. A **Figura 19** apresenta uma visão geral comparativa entre as amostras estudadas.



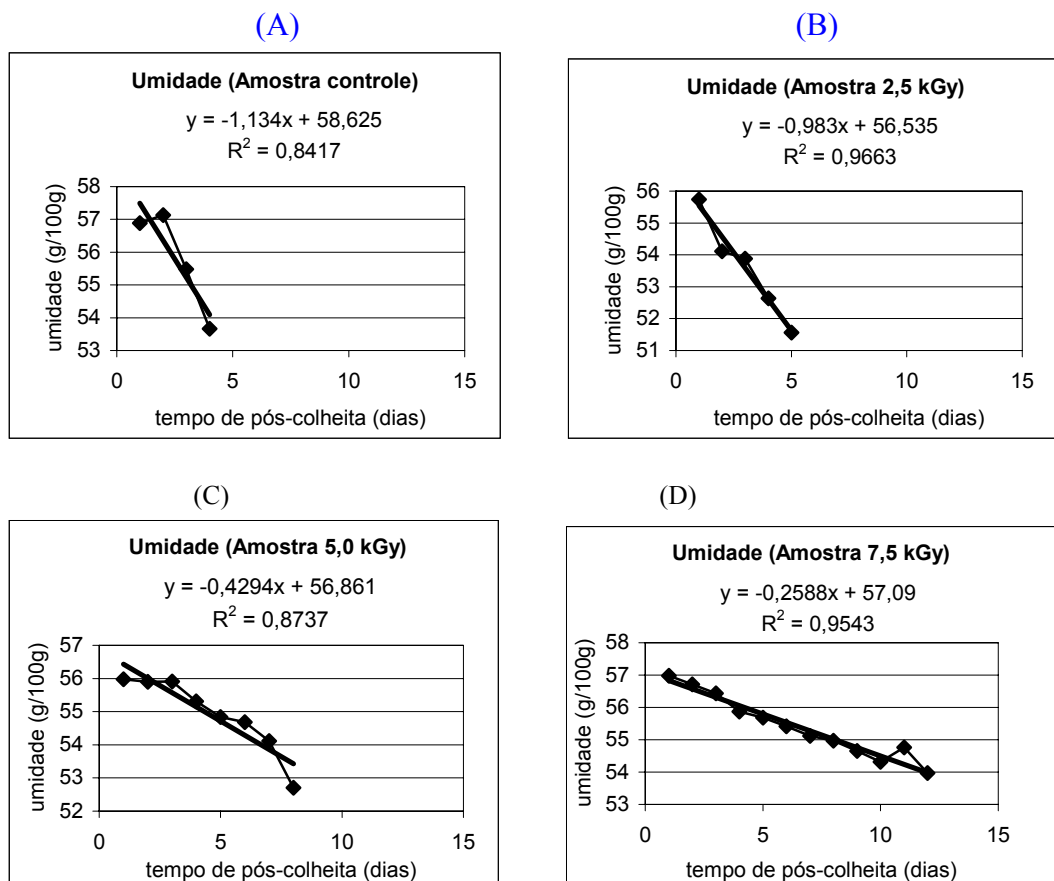
**Figura 19** – Comparação dos níveis de vitamina C durante o período de armazenamento das raízes de mandioca submetidas à radiação gama.

Segundo o CDTN (1999), quando comparada a outros métodos de processamento e preservação de alimentos, o uso da irradiação, que é um “processo frio”, isto é, não aumenta substancialmente a temperatura do alimento processado, promove pequenas perdas de nutrientes e, freqüentemente e de modo significativo, menores do que as perdas associadas com outros métodos de preservação tais como o enlatamento, secagem e pasteurização a quente. Hoje são comuns trabalhos sobre irradiação de alimentos tratados com doses de esterilização. Desta forma o estudo da composição nutricional da mandioca assume grande importância, uma vez que este trabalho utilizou doses de esterilização.

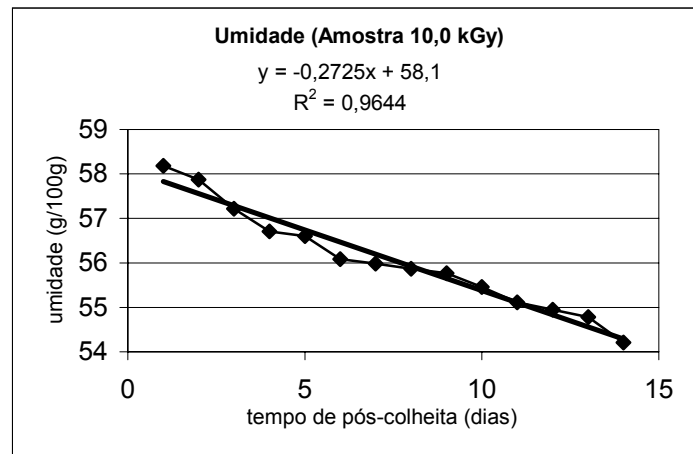
## 4.2 – Determinações físicas

### 4.2.1 – Umidade

A umidade corresponde à perda em peso sofrida pelo produto quando aquecido em condições nas quais a água é removida. O resíduo obtido no aquecimento é chamado resíduo seco. Utilizou-se neste trabalho o processo mais usual, que envolve o aquecimento a 105°C até peso constante (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 1985). Observa-se na **Figura 20** as alterações no teor de umidade, variando de 58,2 a 51,5% nos diversos tratamentos, durante o período de pós-colheita. Os valores encontrados, expressos em percentagem, durante o período de armazenamento são semelhantes aos encontrados por BEZERRA et al. (2002), para as variedades utilizadas preferencialmente para a mesa. Estes valores foram obtidos até a ocorrência da rejeição visual. Verifica-se que a irradiação causou uma menor perda da umidade, sendo tal efeito proporcional à dose.



(E)

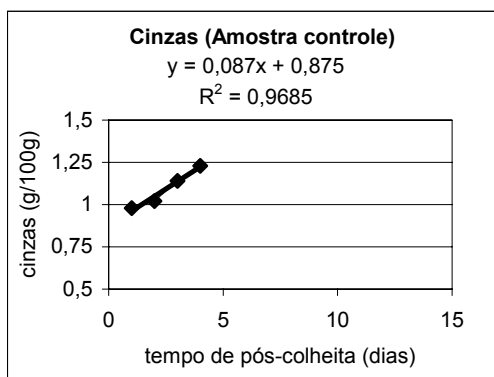


**Figura 20** – Variação do teor de umidade durante o período pós-colheita de raízes de mandioca, nos tratamentos: controle (A), 2,5 kGy (B), 5,0 kGy (C), 7,5 kGy (D) e 10,0 kGy (E).

#### 4.2.2 - Resíduo por incineração (cinzas)

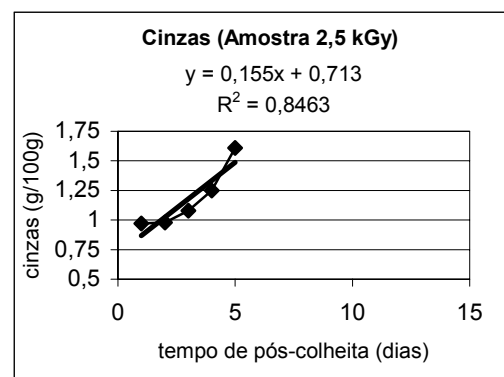
Denominam-se cinzas ao resíduo vegetal obtido por aquecimento de um produto em temperatura próxima a 550-570°C. Nem sempre este resíduo representa toda a substância inorgânica presente na amostra, pois algumas podem sofrer redução ou volatilização nesse aquecimento. Geralmente, as cinzas são obtidas por ignição de quantidade conhecida da amostra, entre 1 e 5g, em cápsulas resistentes ao calor (platina ou porcelana) e devem apresentar aspecto branco ou acinzentado (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 1985). Os resultados foram expressos na **Figura 21**, em g de cinzas/100g da parte comestível.

(A)

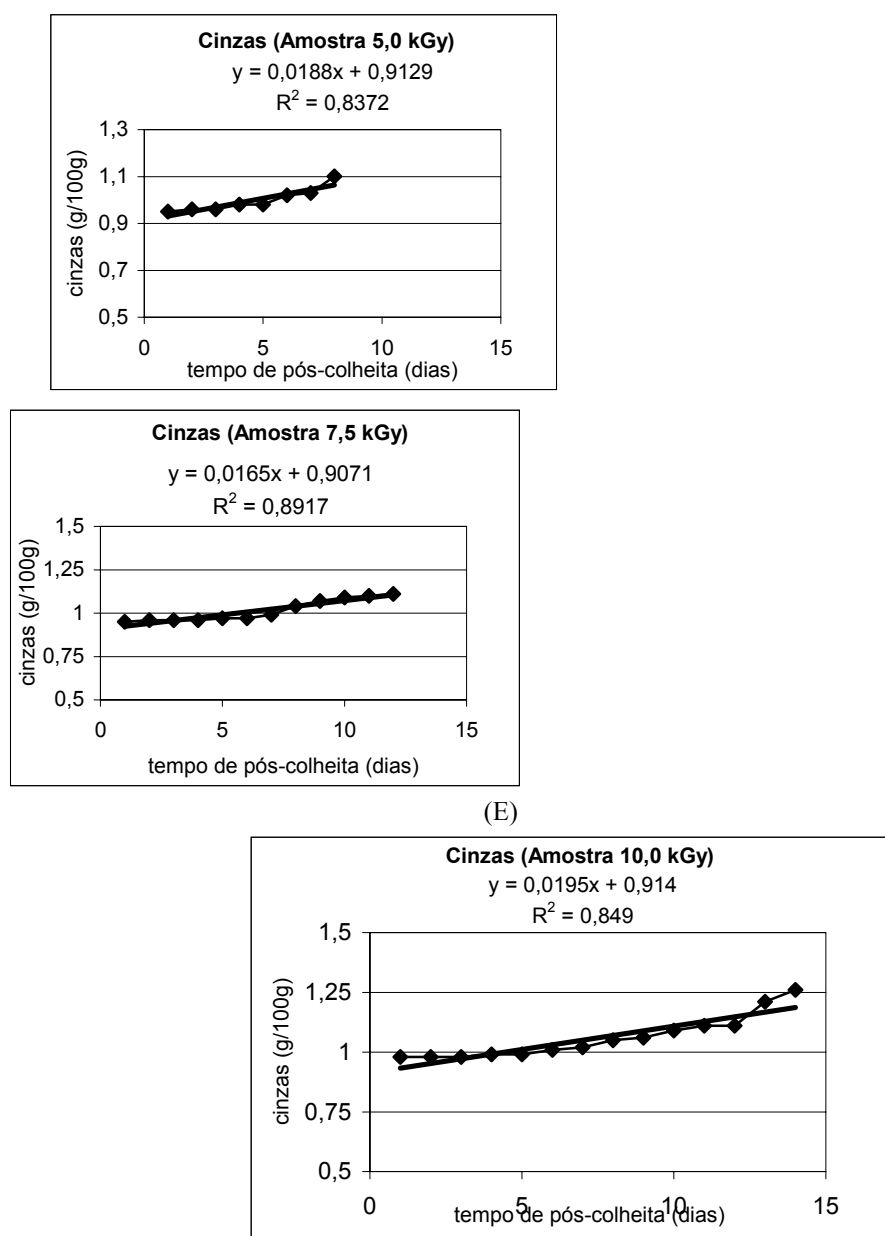


(C)

(B)



(D)



**Figura 21** – Variação do teor de cinzas durante o período pós-colheita, para os tratamentos: controle (A), 2,5 kGy (B), 5,0 kGy (C), 7,5 kGy (D) e 10,0 kGy (E).

Nesta **Figura 21**, observa-se que o valor inicial obtido para o teor de cinzas, nos diferentes tratamentos é de cerca de 1,0%, o que está de acordo com ENDEF (1977) e LIMA et al. (2004). Contudo, parte dos minerais na forma de sais solúveis em meio aquoso, é parcialmente perdida durante o processo de deterioração pela eliminação de água. De maneira geral, com a perda de umidade, ocorre o aumento da percentagem de cinzas, demonstrando que o teor total de minerais aumentou em função da perda de umidade.

Observa-se que o taxa de crescimento do teor de cinzas sofre uma redução, com o aumento da dose (**Figura 21**).

#### 4.3 – Análise sensorial

##### 4.3.1 – A aparência geral

Segundo MODESTA (1994), esta metodologia tem papel relevante, uma vez que permite uma avaliação sensorial mesmo quando as amostras apresentam sinais de deterioração, uma vez que o avaliador (provador) não necessita ingerir as amostras. As notas atribuídas por dez avaliadores obedeceram a seguinte escala: péssimo (0 a 2), regular (2 a 4) e excelente (4 a 5). Assim a nota cinco, refere-se ao ótimo estado de conservação e as notas mais baixas indicam a perda da qualidade das raízes.

Assim, na **Tabela 6**, observa-se que a amostra tratada com dose de 10,0 kGy, apresentou o melhor estado de conservação ao longo do período de estudos, e que, as amostras tratadas com 5,0 e 7,5 kGy praticamente não diferiram em termos de aparência visual.

#### 4.3.2 – Teste de aceitabilidade

De acordo com MODESTA (1994), existem duas variações neste teste, uma delas na qual o provador recebe instruções de que cada par de amostras possui uma certa característica a ser avaliada por uma diferença simples ou por uma diferença direcionada, e numa outra variação, temos uma avaliação em que o avaliador não conhece qual a amostra tem maior tratamento. Sendo esta última adotada neste trabalho, no qual foram realizados 30 testes, ou seja, foram comparados trinta pares de amostras, onde a hipótese inicial foi ( $H_0: A=B$ ) e a outra hipótese ( $H_1: A \neq B$ ), havendo apenas 5 respostas que indicaram diferenças entre A e B. Concluímos que segundo a Tabela de Roesller, citado por MODESTA 1994, não existe diferença significativa ao nível de significância 5% entre as amostras. Desta forma, não houve diferenciação entre amostras irradiadas e não irradiadas, como também não foram detectadas diferenças entre as amostras irradiadas nos diferentes níveis de tratamento. Cabe ressaltar que, no teste de aceitabilidade, foram utilizadas as amostras que apresentavam excelente aparência geral (notas entre 4 e 5) obedecendo os resultados da **Tabela 6**.

**Tabela 6** – Média das notas atribuídas à aparência geral das amostras controle e irradiadas, no primeiro, quinto e décimo quarto dias de armazenamento.

| Doses (kGy)  | 1º dia | 5º dia | 14º dia |
|--------------|--------|--------|---------|
| 0 (controle) | 5,0    | 2,6    | 1,2     |
| 2,5          | 5,0    | 3,8    | 1,2     |
| 5,0          | 4,8    | 4,4    | 1,6     |
| 7,5          | 5,0    | 4,8    | 2,0     |
| 10,0         | 5,0    | 5,0    | 4,8     |

#### 4.4 – Determinações físico-químicas

#### 4.4.1 – Espectrometria no infravermelho

O presente estudo apresenta uma avaliação da composição química, feita por análise via infravermelho com transformada de Fourier (FTIR), empregando a técnica em pastilha com brometo de potássio.

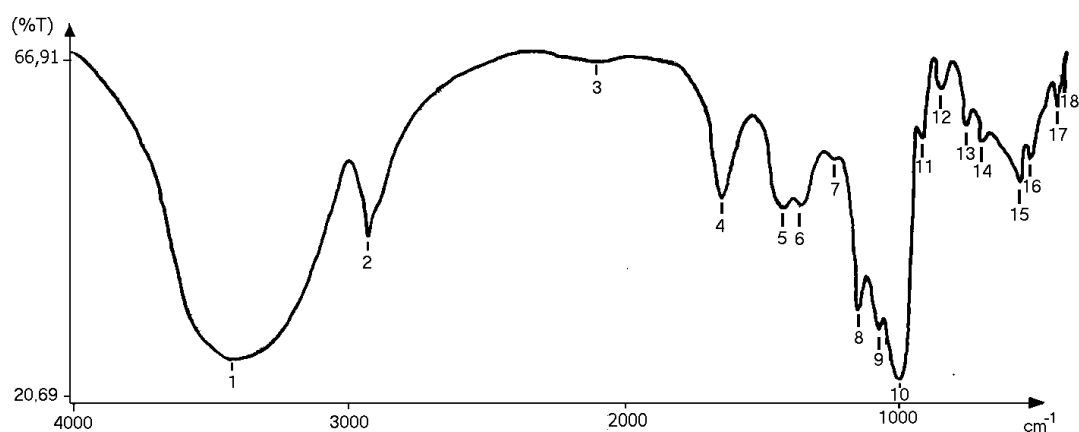
Segundo SILVERSTEIN et al. (1994), na espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier (FTIR), depois de verificada a presença de determinada frequência fundamental de estiramento, o exame mais pormenorizado do aspecto e posição exata de uma banda de absorção fornece, muitas vezes, indicações complementares. A forma da banda de absorção próximo dos  $3000\text{cm}^{-1}$ , indica os grupos **CH** presentes. Assim, os grupos alquílicos têm as frequências de estiramento **C – H** abaixo de  $3000\text{cm}^{-1}$ , ao passo que os alcenos e compostos aromáticos têm frequências ( $\square$ ) ligeiramente superiores a  $3000\text{cm}^{-1}$ . O grupo **CH<sub>3</sub>** origina em um modo de estiramento assimétrico com  $\square$  a  $2960\text{cm}^{-1}$ , e há um modo simétrico a  $2870\text{cm}^{-1}$ . Para o grupo **CH<sub>2</sub>** estas bandas ocorrem a  $2930\text{cm}^{-1}$  e  $2850\text{cm}^{-1}$ .

Para os alcanos, as bandas  $1460$  e  $1380\text{cm}^{-1}$  são indicativos de um grupo metila terminal, ligado ao carbono que mostra as vibrações de deformação planar. Se esta última banda se divide em um dublete a cerca de  $1397$  e  $1370\text{cm}^{-1}$ , indica dois grupos metílicos. A deformação planar simétrica é deslocada para menores frequências, quando o grupo metila se encontra adjacente a **C=O** ( $1360 - 1350\text{cm}^{-1}$ ), **-S-** ( $1325\text{cm}^{-1}$ ) e silício ( $1250\text{cm}^{-1}$ ). A deformação planar “em tesoura” de **-CH<sub>2</sub>-** a  $1470\text{cm}^{-1}$  indica a presença deste grupo. Quatro ou mais grupos em disposição linear originam uma fraca deformação em cerca de  $720\text{cm}^{-1}$  (MELLO et al., 1998).

Pode-se deduzir o tipo de substituição num anel aromático a partir de uma série de bandas fracas mas muito úteis, na região de  $2000 - 1670\text{cm}^{-1}$ , associadas às fortes bandas localizadas entre  $900$  e  $650\text{cm}^{-1}$  e que são devidas a vibrações de deformação não-planares **C – H**. Nos sistemas aromáticos, a ausência de um modo não-simétrico a  $690 - 710\text{cm}^{-1}$  no espectro dos anéis orto e para substituídos fornecem importantes informações. Os modos de alongamento do anel aromático são observados a  $1600$ ,  $1570$  e  $1500\text{cm}^{-1}$ . Estes tipos de absorção são característicos dos compostos aromáticos policíclicos e piridínicos. A presença de uma ligação insaturada **C=C** introduz uma frequência de estiramento a  $1650\text{cm}^{-1}$  e que serão fracas ou ausentes quando essas ligações estão simetricamente localizadas na molécula. Para os éteres, a banda de maior importância ocorre em torno de  $1100\text{cm}^{-1}$ , sendo devida à vibração de estiramento assimétrico das ligações **- C – O – C -** esta banda é forte e domina o espectro de um éter simples (LAMBERT et al., 1987).

De acordo com SILVERSTEIN et al. (1994), no caso dos álcoois, a absorção mais útil é devida ao alongamento da ligação **O-H**. No estado livre ou não dissociado, aparece como uma banda fraca mas nítida a cerca de  $3600\text{cm}^{-1}$ . A **ligação hidrogênio** aumenta substancialmente a intensidade da banda deslocando-a para menores frequências, se esta ligação apresenta caráter forte, a banda torna-se muito larga. A existência de ligações hidrogênio intermoleculares depende da concentração, ao contrário do que acontece com as ligações hidrogênio intramoleculares. Assim são extremamente úteis, uma série de medidas, em soluções com diferentes concentrações. O grupo carbonila pode ser reconhecido pois corresponde inúmeras vezes à banda mais forte do espectro. A sua posição exata, na região que se estende desde cerca de  $1825$  a  $1575\text{cm}^{-1}$  depende do caráter da dupla ligação da carbonila. Os anidridos mostram usualmente uma dupla banda de absorção. Os aldeídos distinguem-se das cetonas pela frequência adicional de alongamento **C – H**, do grupo **CHO**, a cerca de  $2720\text{cm}^{-1}$ . As carbonilas em cetonas de cadeias aromáticas situam-se na faixa de  $1680 - 1645\text{cm}^{-1}$ . O grupo carboxila apresenta bandas que de certo modo, têm origem na sobreposição das vibrações **C = O**, **C – O**, **C – OH** e **O – H**. Das bandas características, três ( $2700$ ,  $1300$  e  $943\text{cm}^{-1}$ ) estão associadas a vibrações do grupo **OH**, e desaparecem quando se forma o íon carboxilato. As nitrilas podem apresentar o estiramento **- C  $\square$  N** na faixa de  $2260 - 2240\text{cm}^{-1}$  (em cadeias alifáticas) e de  $2240 - 2220\text{cm}^{-1}$  (em cadeias aromáticas). Sendo que nos grupos **C – C  $\square$  C  $\square$  N** apresentam bandas entre  $580 - 530\text{cm}^{-1}$ .

Devemos ressaltar que as semelhanças entre os espectros que se seguem, não refletem informações quantitativas exatas, porém refletem as alterações, do ponto de vista qualitativo, durante o período de armazenamento, em termos de escurecimento das amostras, de uma forma geral. Os números de onda relativos às frequências e a respectiva numeração apontada nas **Figuras 22 e 23** estão relacionados no **Quadro 5**.



**Figura 22** – Aspecto geral do espectro infravermelho proposto da parte comestível das raízes de mandioca.

**Quadro 5** – Pontos atribuídos (PA) relativos aos números de onda do espectro FTIR.

| PA | $\square(\text{cm}^{-1})$ | PA | $\square(\text{cm}^{-1})$ | PA | $\square(\text{cm}^{-1})$ | PA | $\square(\text{cm}^{-1})$ | PA | $\square(\text{cm}^{-1})$ | PA | $\square(\text{cm}^{-1})$ |
|----|---------------------------|----|---------------------------|----|---------------------------|----|---------------------------|----|---------------------------|----|---------------------------|
| 1  | 3409,4                    | 4  | 1646,8                    | 7  | 1244,3                    | 10 | 1017,9                    | 13 | 764,7                     | 16 | 536,0                     |
| 2  | 2930,4                    | 5  | 1422,2                    | 8  | 1157,3                    | 11 | 928,7                     | 14 | 710,6                     | 17 | 446,4                     |
| 3  | 2075,1                    | 6  | 1371,7                    | 9  | 1082,3                    | 12 | 858,8                     | 15 | 576,4                     | 18 | 416,6                     |

Fonte: SILVERSTEIN et al. (1994).



**Figura 23** – Aparência do espectro infravermelho, proposto da parte comestível das raízes de mandioca, com sinal ampliado entre 2000 – 400 $\text{cm}^{-1}$ .

O **Quadro 6** apresenta uma proposta da composição dos principais grupamentos funcionais que constituem as diversas substâncias que compõem a parte comestível das raízes de mandioca. Sendo que as figuras seguintes demonstram a influência da irradiação na composição química das mesmas.

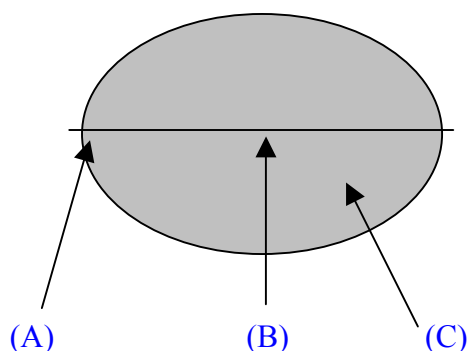
**Quadro 6** – Grupos funcionais (GP) propostos aos pontos atribuídos (PA).

| PA | $\square(\text{cm}^{-1})$ | PA | $\square(\text{cm}^{-1})$ | PA | $\square(\text{cm}^{-1})$ | PA | $\square(\text{cm}^{-1})$ | PA | $\square(\text{cm}^{-1})$ | PA | $\square(\text{cm}^{-1})$ |
|----|---------------------------|----|---------------------------|----|---------------------------|----|---------------------------|----|---------------------------|----|---------------------------|
|    |                           |    | R – sistema conjugado     |    |                           |    |                           |    |                           |    |                           |

|   |            |   |                                                    |   |                |    |        |    |       |    |       |
|---|------------|---|----------------------------------------------------|---|----------------|----|--------|----|-------|----|-------|
| 1 | <b>O-H</b> | 4 | $\begin{array}{c} R_2 \\   \\ R_1-C=O \end{array}$ | 7 | 1244,3         | 10 | 1017,9 | 13 | 764,7 | 16 | 536,0 |
| 2 | <b>C-H</b> | 5 | 1422,2                                             | 8 | 1157,3         | 11 | 928,7  | 14 | 710,6 | 17 | 446,4 |
| 3 | 2075,1     | 6 | 1371,7                                             | 9 | <b>-C-O-C-</b> | 12 | 858,8  | 15 | 576,4 | 18 | 416,6 |

Fonte: SILVERSTEIN et al. (1994).

Os espectros relacionados a seguir, foram obtidos para as amostras não irradiadas e as irradiadas (liofilizadas) nos diferentes níveis de tratamento, durante o período de armazenamento. Alguns espectros foram selecionados para ilustrar o comportamento da composição química nos diversos tratamentos. Inclusive utilizando regiões diferentes da parte comestível, conforme representado na **Figura 24**.

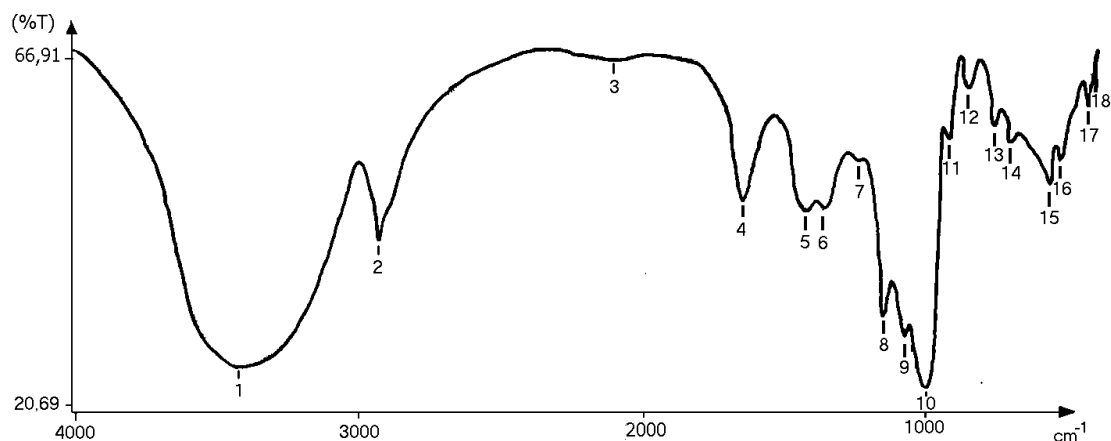


**Figura 24** - Representação da seção transversal de uma raiz, onde (A) região interna próxima da casca, (B) parte central e (C) área intermediária (entre a parte central e a região anterior à casca) da parte comestível.

A discussão detalhada dos resultados observados das figuras 26 a 42, está situada após a sequência dos espectros relativos às referidas figuras.

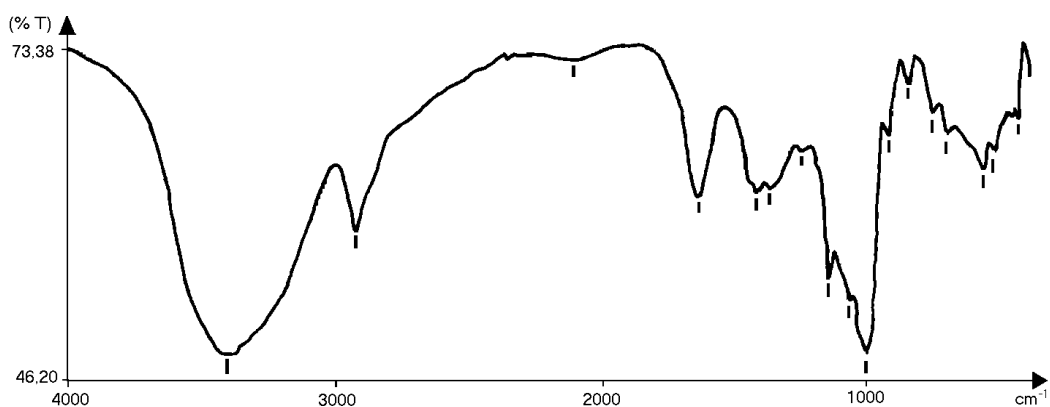
Vale ressaltar que o tempo  $t = 0$  corresponde as primeiras 24h de armazenamento (no mesmo dia da colheita), assim  $t = 1$  equivale ao período de 24h (primeiro dia) posterior ao dia da colheita,  $t = 2$  corresponde ao segundo dia após a colheita e assim por diante.

A **Figura 25** refere-se ao espectro de IV, sendo utilizada neste caso uma amostra homogeneizada com partes das diferentes regiões internas da raiz, sendo necessária uma transmitância de até 66,91%. Este espectro foi obtido no tempo zero ( $t=0$ ), sem haver sinais visuais de escurecimento das raízes.



**Figura 25** – Espectro FTIR de amostra não irradiada das regiões (A),(B) e (C) homogeneizadas, descritas na **Figura 24**, no tempo igual a zero ( $t = 0$ ).

A **Figura 26** refere-se ao espectro de IV, sendo usada uma amostra homogeneizada com partes das diferentes regiões internas da raiz próximas da casca, sendo necessária uma transmitância de até 73,38%. Este espectro foi obtido no tempo zero ( $t=0$ ). Esta amostra apresentou sinais visuais de escurecimento mais acentuados do que a do espectro da **Figura 25**, que podem ser comprovados pela transmitância utilizada.



**Figura 26** – Espectro FTIR de amostra não irradiada apenas da região (A) apresentada na figura 25. No tempo igual a zero ( $t = 0$ ).

A **Figura 27** refere-se ao espectro de IV, sendo utilizada uma amostra homogeneizada com partes das diferentes regiões internas da raiz, sendo necessária uma transmitância de até 69,76%. Este espectro foi obtido no tempo ( $t=1$ ).

Esta amostra apresentou pequenos sinais de escurecimento comparando-a com a do espectro da **Figura 25**.



**Figura 27** – Espectro FTIR de amostra não irradiada das regiões (A),(B) e (C) homogeneizadas. No primeiro dia, posterior ao dia da colheita ( $t = 1$ ).

A **Figura 28** refere-se ao espectro de IV, sendo utilizada uma amostra homogeneizada com partes das diferentes regiões internas da raiz próximas da casca, sendo necessária uma transmitância de até 48,99%. Este espectro foi obtido após 1 dia, ou seja, ( $t=1$ ). Esta amostra não apresentou sinais de escurecimento.



**Figura 28** – Espectro FTIR de amostra irradiada com 2,5 kGy apenas da região (A). No primeiro dia ( $t = 1$ ).

A **Figura 29** apresenta o espectro da amostra não irradiada no tempo  $t = 2$ , ou seja dois dias após o dia da colheita.



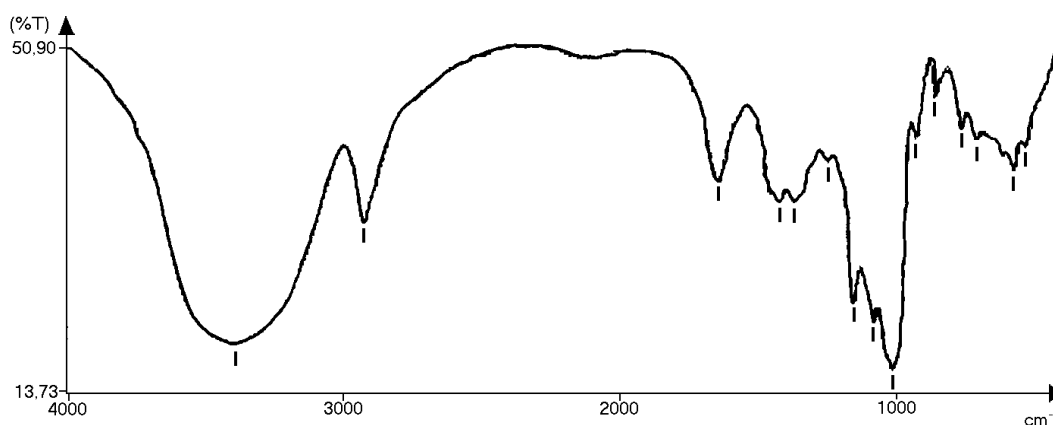
**Figura 29** – Espectro FTIR de amostra não irradiada das regiões (A),(B) e (C). No segundo dia, posterior ao dia da colheita (t = 2).

A **Figura 29** refere-se ao espectro de IV, sendo usada uma amostra homogeneizada com partes das diferentes regiões internas da raiz, sendo necessária uma transmitância de até 74,69%. Este espectro foi obtido no tempo (t = 2).

Esta amostra apresentou sinais de escurecimento mais acentuados, semelhantes aos da amostra usada no espectro das **Figura 26**, ou seja, a deterioração representada na **Figura 26** provavelmente deve-se a proximidade da amostra em relação à luz e ao oxigênio o que facilita a ação enzimática, mesmo no tempo t = 0.

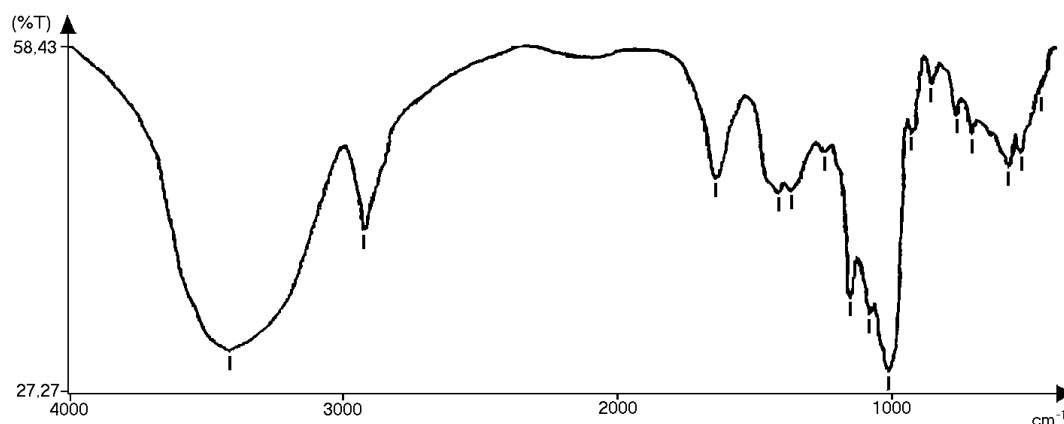
Esta conjugação de fatores utilizando uma amostra mais protegida da luz e do oxigênio, no caso da **Figura 29** no tempo t = 2, deve promover uma deterioração equivalente a aquela representada na **Figura 26**, este fato pode ser comprovado nos valores de transmitância utilizados nos dois casos 73,38 e 74,69%, figuras 27 e 30 respectivamente.

A **Figura 30** refere-se ao espectro de IV, sendo utilizada uma amostra homogeneizada com partes das diferentes regiões internas da raiz, sendo necessária uma transmitância de até 50,90%. Este espectro foi obtido no tempo (t = 2). Esta amostra não apresentou sinais de escurecimento.



**Figura 30** – Espectro FTIR de amostra irradiada com 2,5 kGy, em  $t = 2$ .

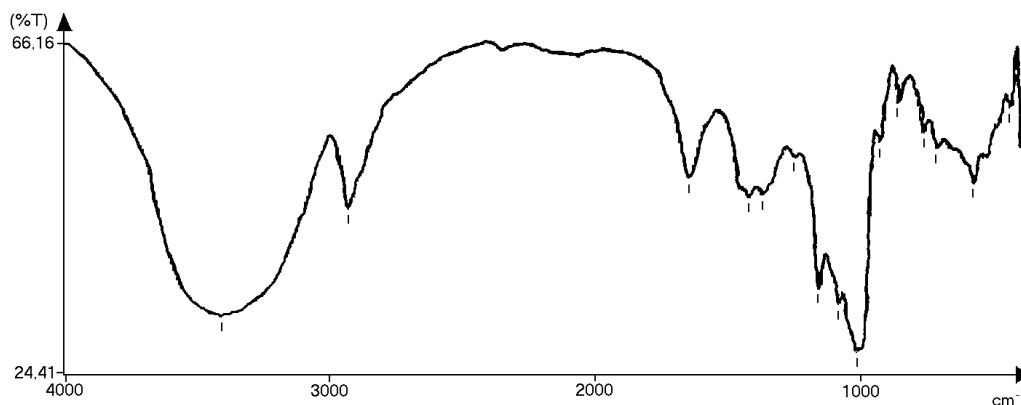
Foi usada, no espectro de IV da **Figura 31**, uma amostra homogeneizada com partes das diferentes regiões internas da raiz, sendo necessária uma transmitância de até 58,43%.



**Figura 31** – Espectro FTIR de amostra irradiada com 10,0 kGy, para  $t = 2$ .

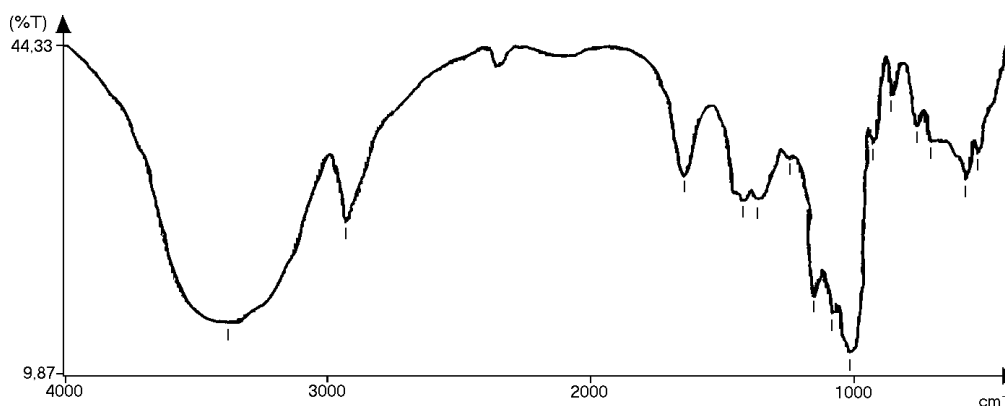
O espectro (**Figura 31**) foi obtido no tempo ( $t = 2$ ). Esta amostra não apresentou sinais de escurecimento.

No espectro de IV da **Figura 32** foi utilizada neste caso uma amostra homogeneizada com partes das diferentes regiões internas da raiz, sendo necessária uma transmitância de até 66,16%. Este espectro foi obtido no tempo ( $t = 4$ ). Esta amostra não apresentou sinais de escurecimento, contudo foi utilizada uma transmitância maior quando comparada à **Figura 30**, provavelmente indicando a proximidade do surgimento da deterioração.



**Figura 32** – Espectro FTIR de amostra irradiada com 2,5kGy para  $t = 4$ .

A **Figura 33** representa o espectro de IV, foi usada uma amostra homogeneizada com partes das diferentes regiões internas da raiz, sendo necessária uma transmitância de até 44,33%.



**Figura 33** – Espectro FTIR de amostra irradiada com 5,0 kGy para  $t = 5$ .

No espectro da **Figura 33** o período de armazenamento foi de cinco dias, ( $t = 5$ ). Não havendo sinais de escurecimento na referida amostra.

Na **Figura 34** tem-se espectro de IV, onde utilizou-se uma amostra homogeneizada com partes das diferentes regiões internas da raiz, sendo necessária uma transmitância de até 66,32%. Este espectro foi obtido no tempo ( $t = 7$ ), sem haver apresentado sinais de escurecimento na referida amostra.



**Figura 34** – Espectro FTIR de amostra irradiada com 7,5 kGy para  $t = 7$ .

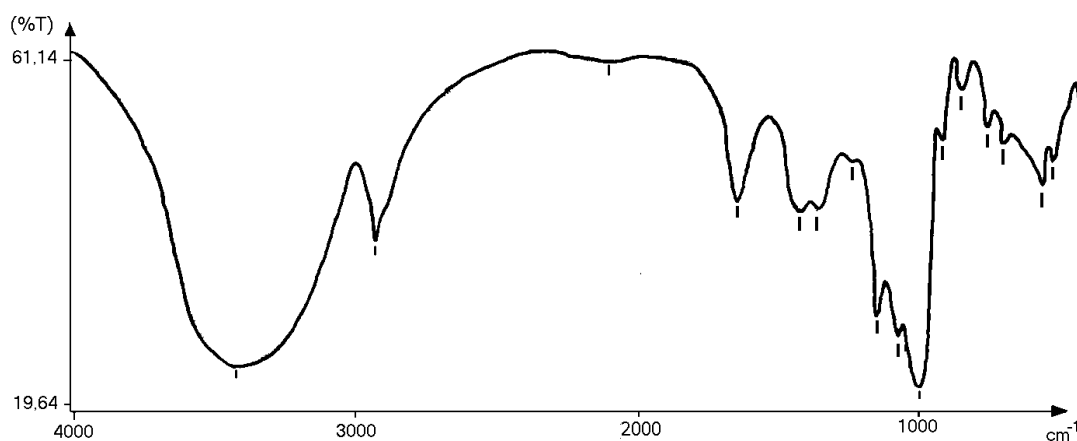
A **Figura 35** apresenta o espectro de IV, sendo usada uma amostra homogeneizada com partes das diferentes regiões internas da raiz, tratada com 10 kGy, sendo necessária uma transmitância de até 53,15%.



**Figura 35** – Espectro FTIR de amostra irradiada a 10,0 kGy para  $t = 7$ .

Este espectro foi obtido no tempo ( $t = 7$ ). Esta amostra não apresentou sinais de escurecimento neste período de armazenamento.

A **Figura 36** refere-se ao espectro de IV, de uma amostra homogeneizada com partes das diferentes regiões internas da raiz (A, B e C), sendo necessária uma transmitância de até 61,14%. Este espectro foi obtido no tempo ( $t = 7$ ). Esta amostra não apresentou sinais de escurecimento neste período de armazenamento.



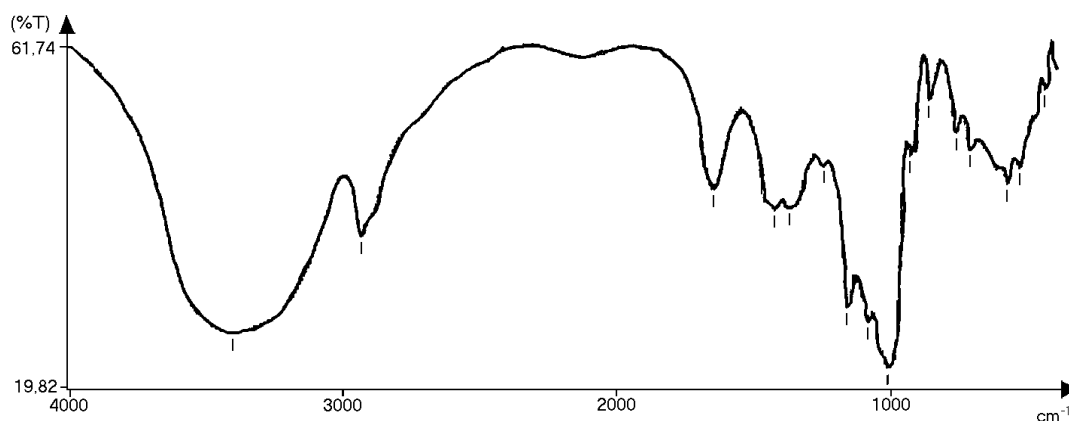
**Figura 36** – Espectro FTIR de amostra irradiada a 5,0 kGy para  $t = 7$ .

Na **Figura 37** tem-se o mesmo espectro de IV, sendo utilizada neste caso uma amostra homogeneizada com partes das diferentes regiões internas da raiz, tratada com dose de 5,0 kGy, sendo necessária uma transmitância de até 79,15%. Este espectro foi obtido no tempo ( $t = 9$ ). Esta amostra apresentou sinais de escurecimento após o oitavo dia do período de armazenamento.



**Figura 37** – Espectro FTIR de amostra irradiada a 5,0 kGy para t = 9.

A **Figura 38** apresenta o espectro de IV, foi usada neste caso uma amostra homogeneizada com partes das diferentes regiões internas da raiz, com a utilização de uma dose de 10 kGy, sendo necessária uma transmitância de até 61,74%. Este espectro foi obtido no tempo (t = 9). Esta amostra não apresentou sinais de escurecimento neste período de armazenamento.



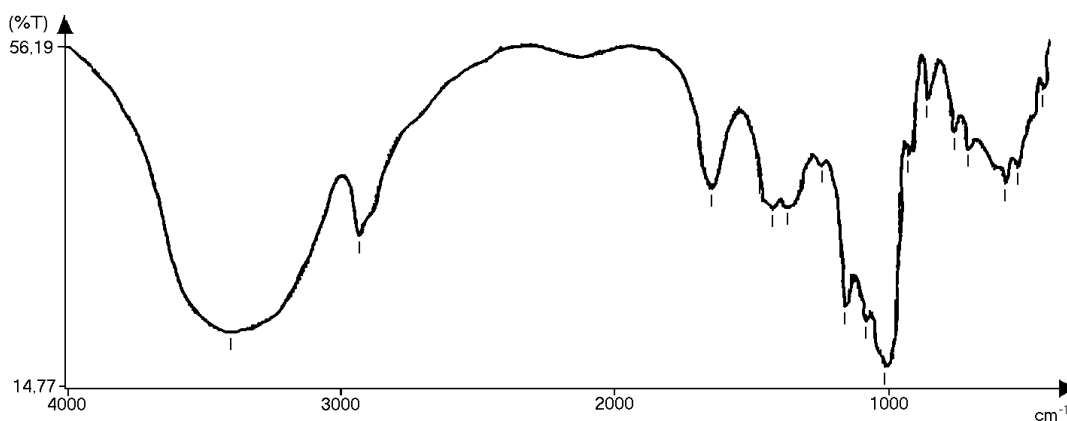
**Figura 38** – Espectro FTIR de amostra irradiada a 7,5 kGy das regiões (A),(B) e (C).

A **Figura 39** refere-se ao espectro de IV, utilizou-se neste caso uma amostra homogeneizada com partes das diferentes regiões internas da raiz, irradiada com dose de 7,5 kGy, sendo necessária uma transmitância de até 75,41%. Este espectro foi obtido no tempo (t = 12), sem haver apresentado sinais visuais de escurecimento na referida amostra. Sendo observado, 24 horas após este período (t = 13), o surgimento de ambos os tipos de deterioração.



**Figura 39** – Espectro FTIR de amostra irradiada com 7,5 kGy para  $t = 13$ .

A **Figura 40** apresenta o espectro de IV, sendo utilizada neste caso uma amostra homogeneizada com partes das diferentes regiões internas da raiz, tratadas com 10 kGy, foi necessária uma transmitância de até 56,19%. Este espectro foi obtido no tempo ( $t = 12$ ). Não havendo nesta ocasião sinais de escurecimento durante o armazenamento.



**Figura 40** – Espectro FTIR de amostra irradiada a 10,0 kGy, para  $t = 12$ .

Na **Figura 41** tem-se o espectro de IV, sendo utilizada neste caso uma amostra homogeneizada com partes das diferentes regiões internas da raiz, irradiadas com dose de 10 kGy, sendo necessária uma transmitância de até 75,18%. Este espectro foi obtido no tempo ( $t = 15$ ). Após um período de 14 dias, a amostra apresentou o surgimento de ambos os tipos de deterioração no décimo quinto dia de armazenamento.



**Figura 41** – Espectro FTIR de amostra irradiada a 10,0 kGy, para  $t = 15$ .

SILVERSTEIN et al. (1994) avaliaram que a comparação dos espectros de infravermelho (I.V.) com a respectiva correlação dos sucessivos picos constituem prova de identidade, visto que dificilmente substâncias diferentes possuem o mesmo espectro de infravermelho.

Segundo WILLARD et al. (1974) embora o espectro (I.V.) seja característico da molécula como um todo, certos grupos dão origem a bandas que ocorrem em frequências muito próximas, independente da estrutura da molécula. De acordo com MELLO et al. (1998), a presença destas bandas características de certos grupos funcionais permite a obtenção de informações sobre a composição estrutural, a utilização destes espectros aliada a outras técnicas e dados espectrais serão úteis para a identificação estrutural.

Com base nos estudos apresentados, verificamos que, do ponto de vista qualitativo, os espectros obtidos apresentaram faixas de valores de transmitância mais elevados a medida em que se aproximavam do limite de tempo para atingirem a rejeição visual, certamente em função das alterações físicas e químicas que cada amostra sofreu em decorrência das deteriorações fisiológicas e microbiológicas.

Devemos ressaltar que cada repetição, das referidas análises, refere-se a uma nova raiz do mesmo lote, assim podemos verificar que as raízes tratadas com doses de 10,0 kGy sofreram mudanças mais graduais de suas propriedades, sendo que ao atingir o chamado ponto de rejeição visual, estas alterações tornam-se mais acentuadas do ponto de vista cinético.

As figuras referentes aos espectros cujas amostras eram mais superficiais (região A), apresentaram uma cinética de escurecimento mais acentuada e serviram para demonstrar que a influência do contato com oxigênio é tão significativa quanto à própria retenção de umidade.

#### 4.4.2 – Espectrometria no ultravioleta

O procedimento experimental que foi usado resultou nos gráficos de absorbância em função dos comprimentos de onda. Como o trajeto ótico é fixado experimentalmente, e como a absorvidade molar é função do comprimento de onda, a absorbância torna-se diretamente proporcional à concentração, para um certo comprimento de onda, ressaltando-se o fato de que foram utilizadas concentrações iguais (1,0000mg/mL), nas diferentes soluções das amostras estudadas. Segundo SILVERSTEIN et al. (1994), a intensidade de uma absorção pode ser expressa em

transmitância (T) definida como  $T = I / I_0$ , onde  $I_0$  é a intensidade de energia radiante que incide sobre a amostra e  $I$  é a intensidade de radiação que emerge da amostra. A relação entre a transmitância, a espessura da amostra e a concentração das espécies que absorvem é obtida pela lei de Lambert-Beer:

$$\log(I_0/I) = k.c.b = A$$

onde **k** = constante característica do soluto,  
**c** = concentração do soluto,  
**b** = comprimento do caminho ótico através da amostra,  
**A** = absorbância

Quando **c** é expresso em moles/L e o caminho ótico em centímetros, a expressão torna-se:  $A = \epsilon.c.b$ , o termo  $\epsilon$  é conhecido como absorvidade molar ou coeficiente de extinção molar. Pode-se ainda considerar, no caso da concentração **c** ser definida em g/L, a seguinte equação:

$$A = a.b.c$$

onde **a** é a absorvidade, sendo  $\epsilon = a . M$   
 onde **M** representa o peso molecular do soluto.

De acordo com LAMBERT et al. (1987), a seletividade da absorção no ultravioleta é uma vantagem, uma vez que se pode reconhecer grupos característicos em moléculas de complexidade bastante variável. As características de absorção das moléculas na região do ultravioleta dependem das transições eletrônicas que podem ocorrer e os efeitos do ambiente em que estão os átomos sobre as transições. A **Tabela 2** apresenta um sumário de algumas estruturas e suas respectivas transições eletrônicas.

**Tabela 7** – Sumário das estruturas e transições eletrônicas de algumas substâncias.

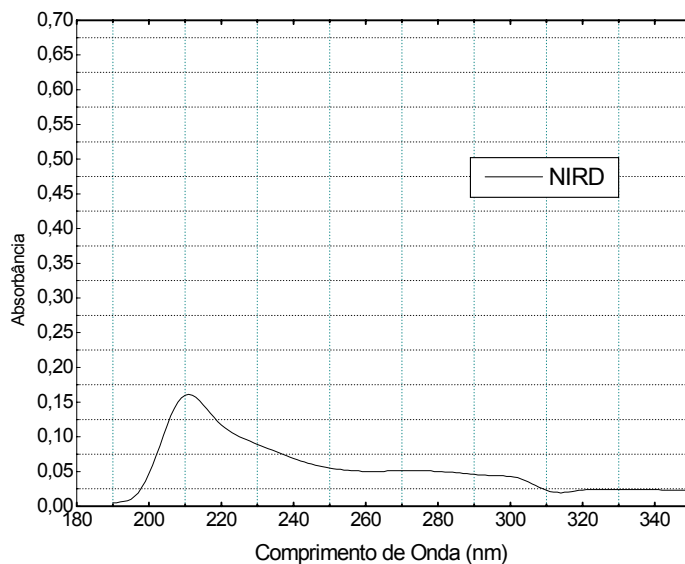
| Substância                  | Transição eletrônica                            |
|-----------------------------|-------------------------------------------------|
| $\lambda_{\max}(\text{nm})$ |                                                 |
| Etano                       | $\sigma \rightarrow \sigma^*$                   |
| 135                         |                                                 |
| Água                        | $\sigma \rightarrow \sigma^*$                   |
| 167                         |                                                 |
| Metanol                     | $\sigma \rightarrow \sigma^*$                   |
| 183                         |                                                 |
| Iodeto de n-butila          | $\sigma \rightarrow \sigma^*$                   |
| 257                         |                                                 |
| Etileno                     | $\sigma \rightarrow \sigma^*$                   |
| 165                         |                                                 |
| Acetileno                   | $\sigma \rightarrow \sigma^*$                   |
| 173                         |                                                 |
| Acetona                     | $\sigma \rightarrow \sigma^*$                   |
| 150                         |                                                 |
|                             | $\sigma \rightarrow \sigma^*$                   |
| 188                         |                                                 |
|                             | $\sigma \rightarrow \sigma^*$                   |
| 279 (R*)                    |                                                 |
| 1,3-Butadieno               | $\sigma \rightarrow \sigma^*$                   |
| 217 (K*)                    |                                                 |
| 1,3,5-Hexatrieno            | $\sigma \rightarrow \sigma^*$                   |
| 258 (K*)                    |                                                 |
| Benzeno                     | $\sigma \rightarrow \sigma^*(\text{aromática})$ |
| (B*)                        |                                                 |

|                  |                   |     |
|------------------|-------------------|-----|
| Estireno<br>(K*) | □ – □*(aromática) | 244 |
| Fenol<br>(E*)    | □ – □*(aromática) | 210 |

(\*) – Banda R, do alemão Radikalartig; banda K, do alemão Konjugierte; banda B, benzenóide; banda E, etilênica; (SILVERSTEIN et al., 1994).

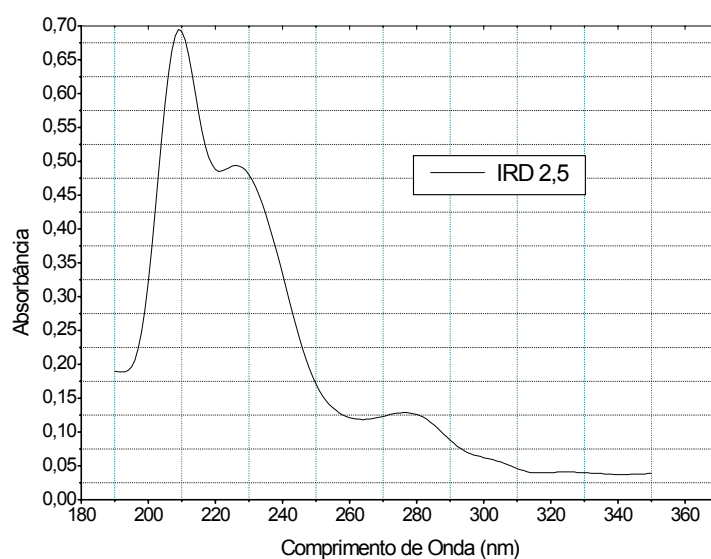
Os espectros apresentados a seguir, foram selecionados, a fim de demonstrar, com maior clareza a simultaneidade de alterações físicas e químicas ocorridas. Atribuindo-se a notação (**A**) para amostras estocadas nas mesmas condições da raiz (protegidas pela casca) e (**B**) para aquelas expostas ao ar e a luz. As amostras são apresentadas nos espectros U.V. com as seguintes denominações: não irradiadas foram denominadas NIRD, irradiadas com 2,5 kGy (IRD 2,5), irradiadas com 5,0 kGy (IRD 5), irradiadas com 7,5 kGy (IRD 7,5) e as amostras tratadas com 10,0 kGy (IRD 10). Foram ainda expressos os seguintes aspectos, no caso da amostra ser não irradiada e estocada em condições semelhantes as da raiz (NIRD-A) e se a mesma foi armazenada exposta à luz e ao ar (NIRD-B). De maneira análoga, amostras irradiadas com 2,5 kGy foram estudadas nas duas condições de estocagem IRD 2,5A (protegidas) e IRD 2,5B (expostas ao ar e a luz), assim foram também subdivididas as demais amostras. Assim como foi adotado para os resultados no infravermelho, a discussão geral foi também realizada, após análise conjunta dos dados.

Na **Figura 42**, NIRD (amostra não irradiada) representa o comportamento da amostra (parte comestível) nas mesmas condições da raiz, ou seja, ausência de luz e de ar, no tempo  $t = 2$  dias. Sendo que a faixa de comprimento de onda que corresponde aos fenólicos, fica em torno de 210nm.



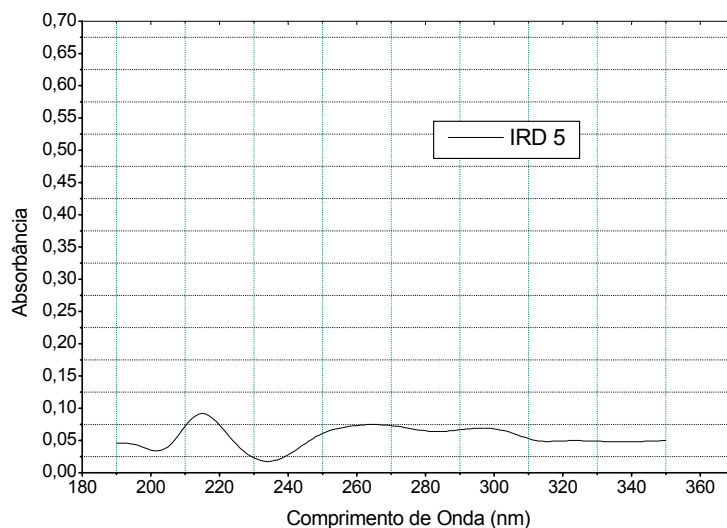
**Figura 42** – Amostras não irradiadas (NIRD), espectro U.V., no tempo  $t = 2$  dias.

Observando a **Figura 43**, podemos notar um teor de fenólicos maior, nas amostras irradiadas com 2,5kGy, comparativamente a amostra natural (**fig. 42**), indicando uma menor retenção de água, neste período de armazenamento, ainda não representando um grau de deterioração avançado.



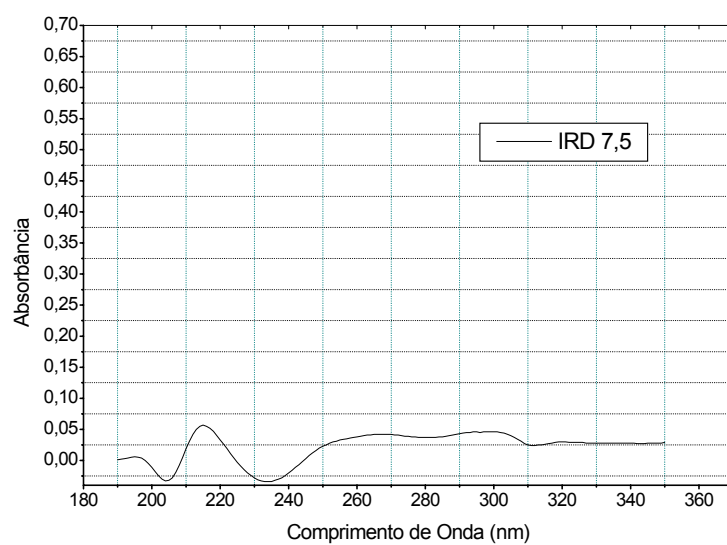
**Figura 43** – Amostras irradiadas com 2,5kGy, espectro U.V., no tempo  $t = 2$  dias.

A **Figura 44**, apresenta as amostras irradiadas com 5,0kGy, no tempo  $t = 2$  dias, onde podemos observar uma absorbância menor em relação as amostras IRD2,5 (**figura 46**).



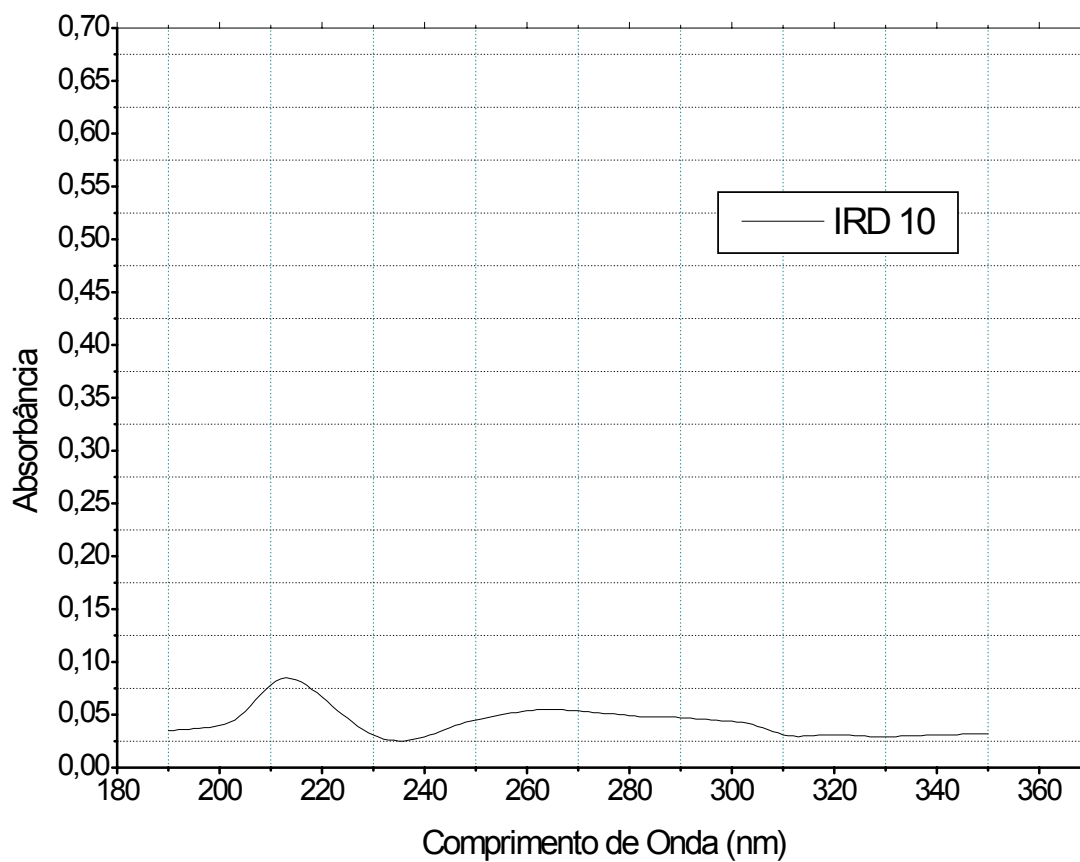
**Figura 44** – Amostras irradiadas com 5,0kGy, espectro U.V., no tempo  $t = 2$  dias.

A **Figura 45** apresenta as amostras irradiadas com 7,50kGy, onde pode-se observar uma absorbância mínima da amostra IRD7,5.



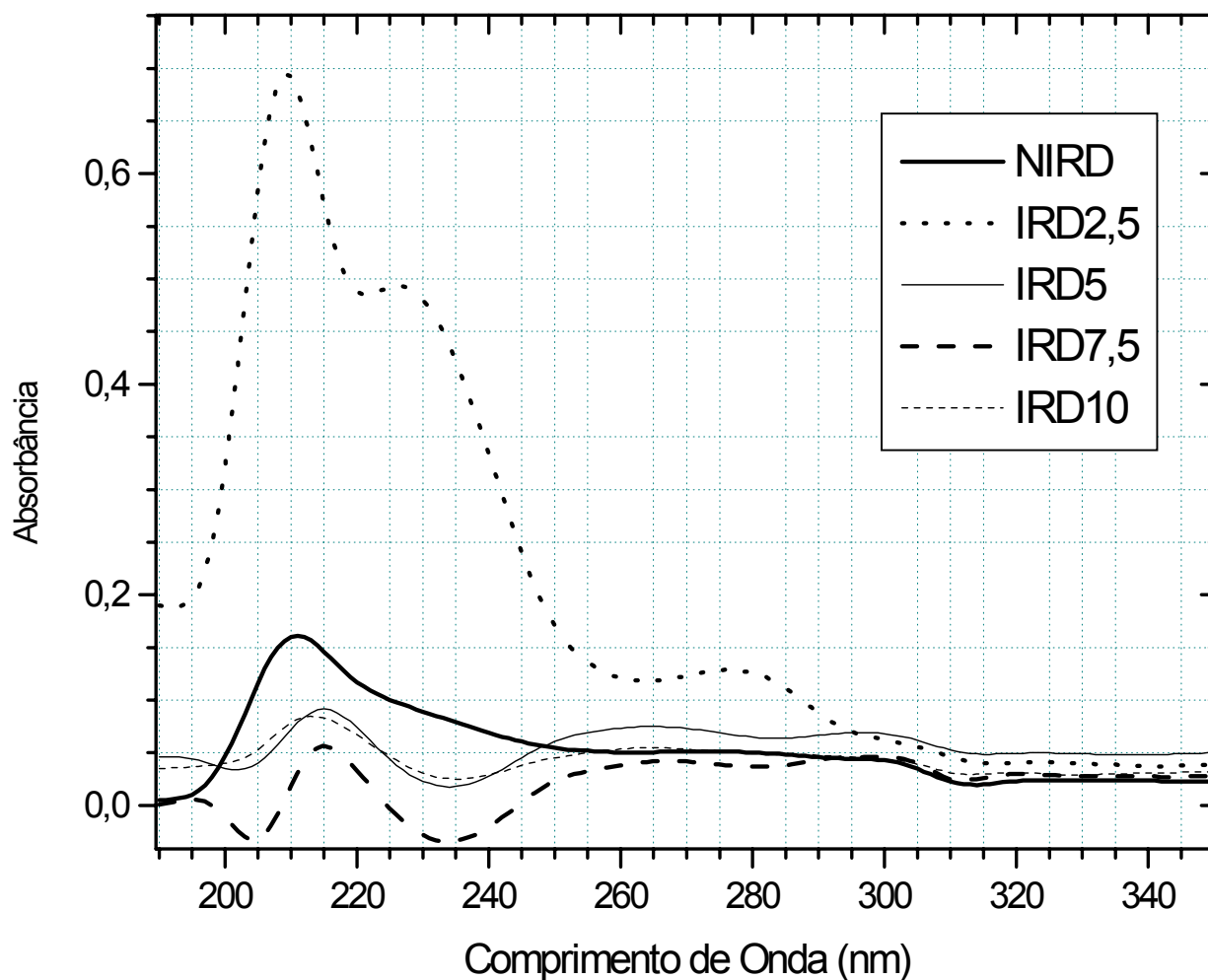
**Figura 45** – Amostras irradiadas com 7,5kGy, espectro U.V., no tempo  $t = 2$  dias.

A **Figura 46**, apresenta as amostras irradiadas com 10,0kGy, no tempo  $t = 2$  dias, onde podemos observar uma absorbância igualmente mais baixa em relação a amostra IRD2,5 (**Figura 43**).



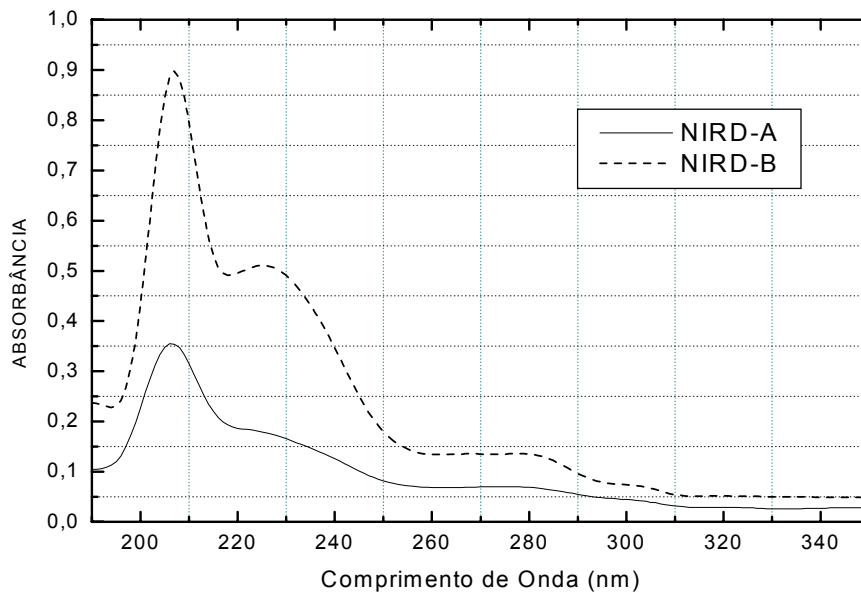
**Figura 46** – Amostras irradiadas com 10,0kGy, espectro U.V., no tempo  $t = 2$  dias.

A **Figura 47**, mostra o comportamento geral das amostras, no tempo  $t = 2$  dias. No gráfico a amostra irradiada com 2,5 kGy (IRD2,5) o teor de fenólicos mais alto está relacionado com a perda de umidade.



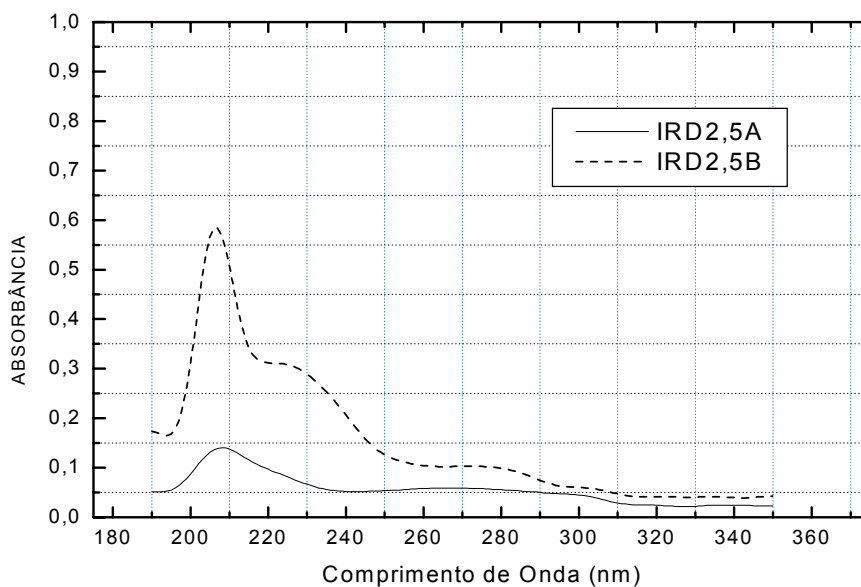
**Figura 47** – Comportamento geral das amostras , espectro U.V., no tempo  $t = 2$  dias.

Na **Figura 48**, NIRD-A representa o comportamento da amostra (parte comestível) não irradiada nas mesmas condições da raiz, ou seja, ausência de luz e de ar. Na amostra NIRD-B o material que ficou exposto à luz natural e ao ar, no tempo  $t = 4$  dias, nesta ocasião as amostras NIRD (controle) já apresentavam sinais de rejeição visual.



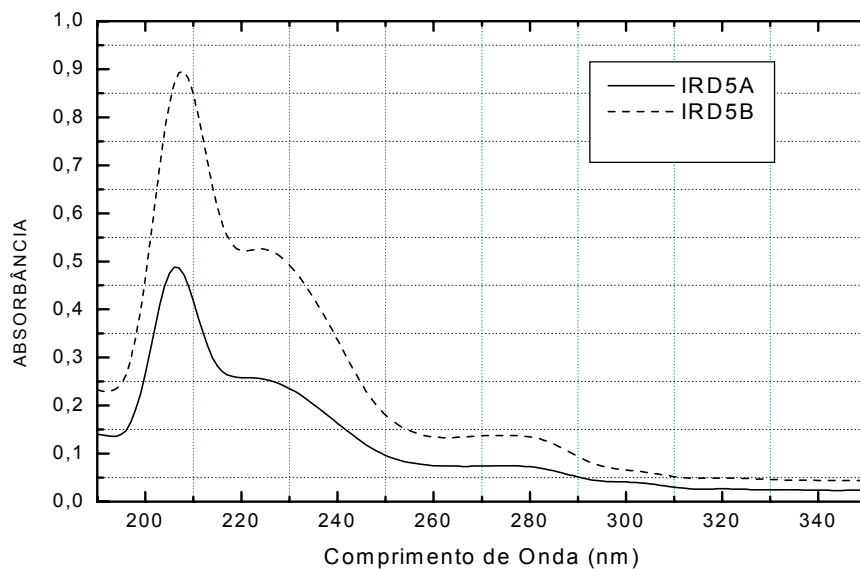
**Figura 48** – Amostras não irradiadas (NIRD), espectro U.V., no tempo  $t = 4$  dias.

Observando a **Figura 49**, podemos notar o teor de fenólicos menor, nas amostras irradiadas com 2,5kGy, onde IRD2,5A protegida e IRD2,5B exposta a luz e ao ar, comparativamente a amostra natural (**Figura 48**), o que indica um melhor estado de conservação, com maior retenção de água.



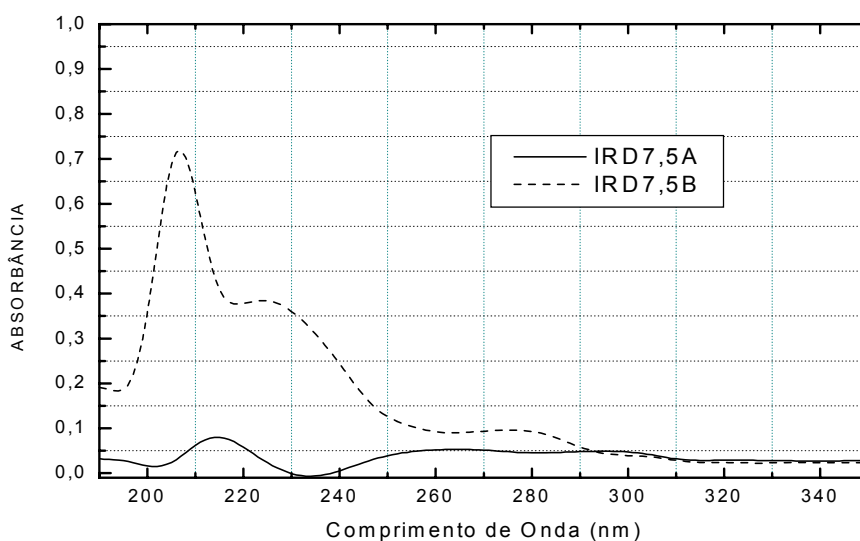
**Figura 49** – Amostras irradiadas com 2,5kGy, espectro U.V., no tempo  $t = 4$  dias.

A **Figura 50**, apresenta as amostras irradiadas com 5,0kGy, no tempo  $t = 4$  dias, onde podemos observar uma absorvância mais elevada da amostra IRD5B em relação as amostras IRD2,5B (**Figura 49**). O que reforça a idéia do predomínio da ação catecolase das enzimas polifenol-oxidases, levando a formação de quinonas. A amostra IRD5A estava mais preservada.



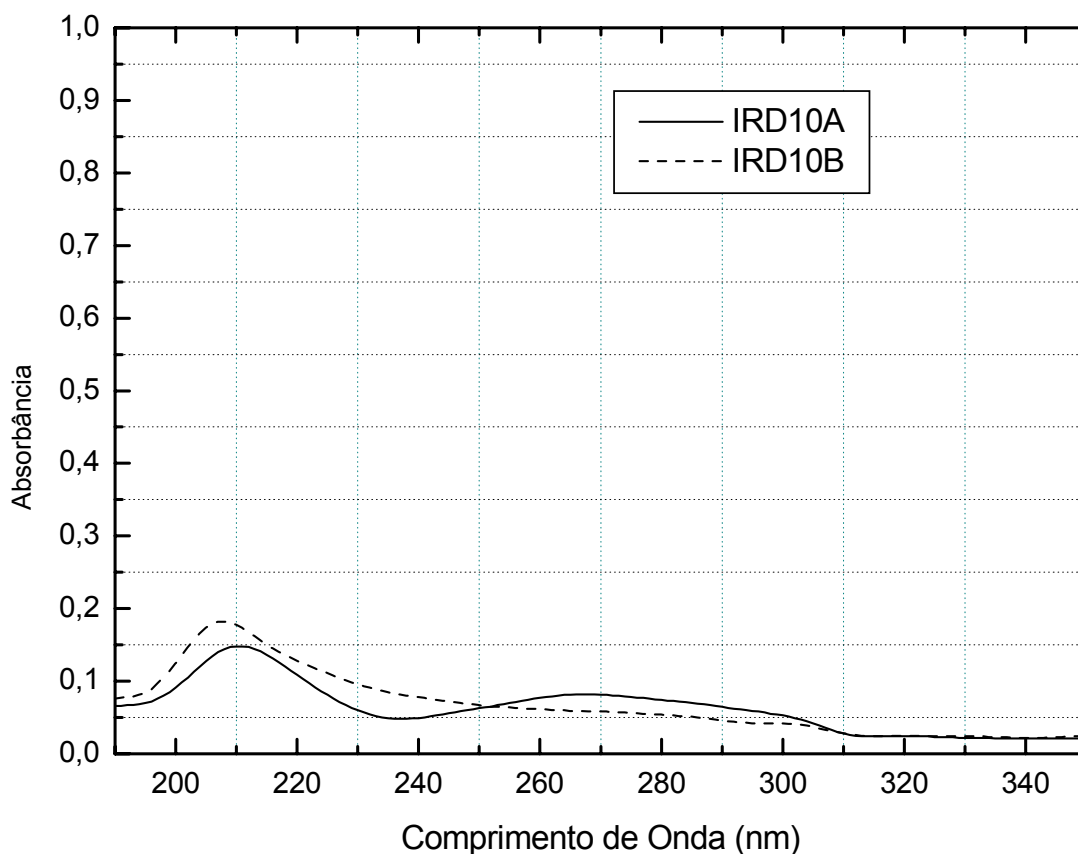
**Figura 50** – Amostras irradiadas com 5,0kGy, espectro U.V., no tempo  $t = 4$  dias.

A **Figura 51**, apresenta as amostras irradiadas com 7,5kGy, onde podemos observar uma absorvância mínima da amostra IRD7,5A e mais elevada da amostra IRD7,5B em relação a amostra IRD2,5B.



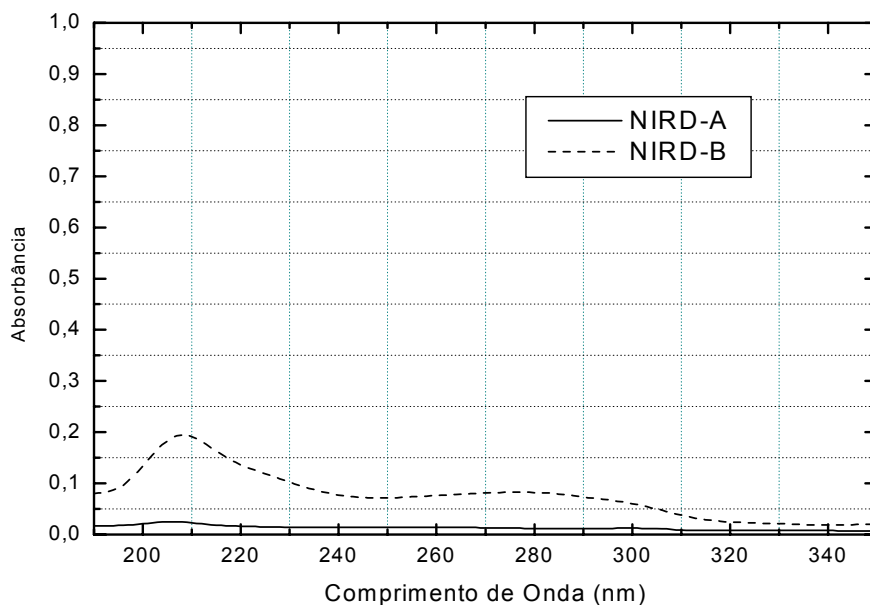
**Figura 51** – Amostras irradiadas com 7,5kGy, espectro U.V., no tempo  $t = 4$  dias.

A **Figura 52**, apresenta as amostras irradiadas com 10,0kGy, no tempo  $t = 4$  dias, onde podemos observar uma absorvância mais baixa em relação a amostra IRD2,5A.



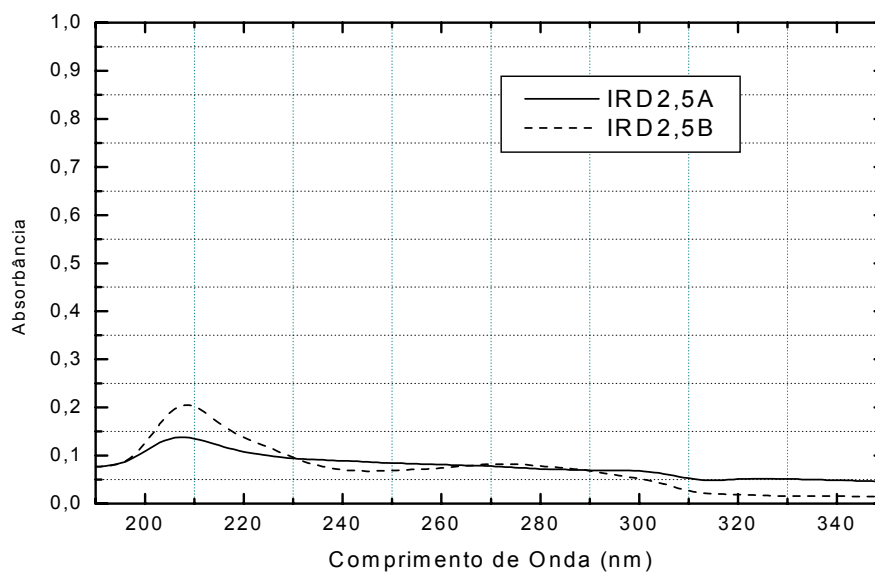
**Figura 52** – Amostras irradiadas com 10,0kGy, espectro U.V., no tempo  $t = 4$  dias.

As amostras irradiadas (A) em todos os gráficos apresentaram menor teor de fenólicos em função da maior retenção de umidade e da menor exposição à luz e ao oxigênio do ar, do que as amostras irradiadas (B). As raízes irradiadas com dose de 10,0kGy apresentaram teores de fenólicos semelhantes ao compararmos IRD10A com IRD10B. Fica assim demonstrado que a ação de enzimas, tais como as polifenol-oxidases, foram inibidas, apesar das amostras B estarem mais expostas aos agentes que facilitam a ação enzimática e microbiológica. Na **Figura 53**, NIRD-A representa o comportamento da amostra (parte comestível) não irradiada nas mesmas condições da raiz, ou seja, ausência de luz e de ar. Sendo a amostra NIRD-B o material que ficou exposto a luz natural e ao ar, no tempo  $t = 7$  dias. Sendo que a faixa de comprimento de onda que corresponde aos fenólicos, fica em torno de 210nm. Devemos ressaltar que neste período de armazenamento, as amostras NIRD apresentavam elevado grau de deterioração.



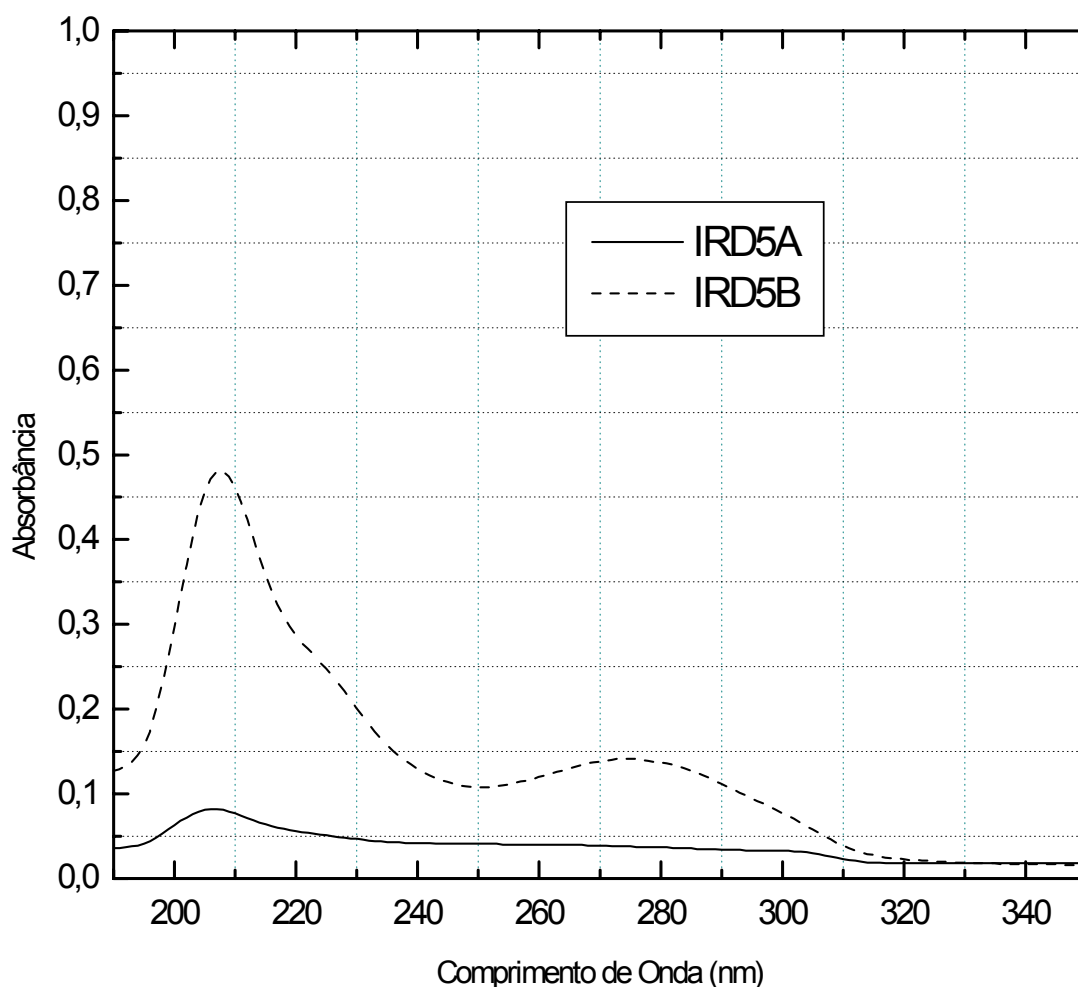
**Figura 53** – Amostras não irradiadas (NIRD), espectro U.V., no tempo  $t = 7$  dias.

Observando a **Figura 54**, podemos notar teores de fenólicos maiores nas amostras irradiadas com 2,5kGy, comparativamente a amostra não irradiada (**Figura 53**), as amostras IRD2,5 já haviam atingido o grau de rejeição visual, nesta ocasião. Havendo o surgimento de um sinal em torno de 280nm.



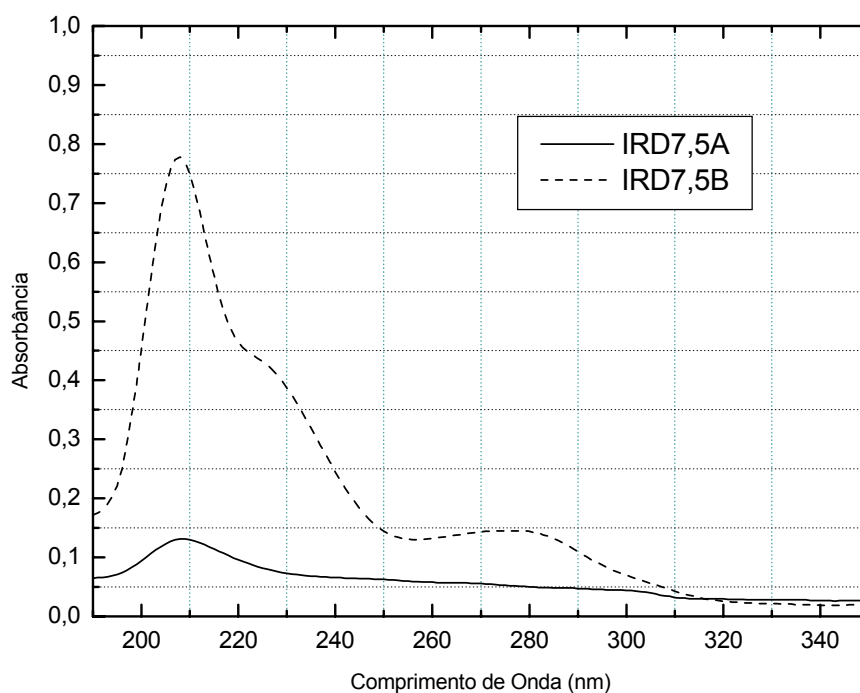
**Figura 54** – Amostras irradiadas com 2,5kGy, espectro U.V., no tempo  $t = 7$  dias.

A **Figura 55**, apresenta as amostras irradiadas com 5,0kGy, no tempo  $t = 7$  dias, onde podemos observar uma absorvância mais elevada em relação as amostras IRD2,5B (**Figura 54**).



**Figura 55** – Amostras irradiadas com 5,0kGy, espectro U.V., no tempo  $t = 7$  dias.

A **Figura 56** apresenta as amostras irradiadas com 7,50kGy, no tempo  $t = 7$  dias, onde podemos observar uma absorbância mais elevada na amostra IRD7,5B quando comparada com a amostra IRD7,5A. Sendo que IRD7,5A apresenta absorbância semelhante (na faixa de 210 – 220nm) a da amostra IRD2,5A (**Figura 54**), sem apresentar sinal em 280nm. O que indica uma possível absorção em outra faixa de comprimento de onda das substâncias responsáveis pela rejeição visual da amostra IRD2,5A.

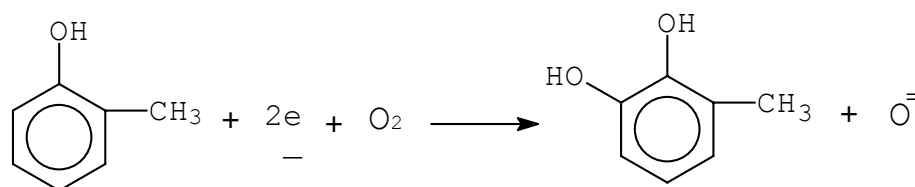


**Figura 56** – Amostras irradiadas com 7,5kGy, espectro U.V., no tempo t = 7 dias.

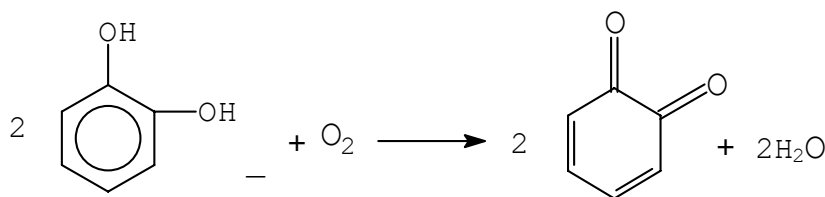
Na comparação feita anteriormente, observamos que a redução do sinal em 210nm, evidencia com maior clareza que o grau atingido pela deterioração de ordem enzimática, ao contrário da expectativa de se obter uma absorbância cada vez maior (em torno de 210nm), pode decorrer da formação de outros grupamentos, não necessariamente fenólicos.

BEZERRA et al.(2002) avaliaram que, devido ao fato de que as enzimas polifenol-oxidases apresentam duas diferentes atividades catalíticas, ambas envolvendo oxigênio, denominadas de atividades cresolase e catecolase, devem ocorrer a formação de outros grupos absorvendo em uma faixa próxima a dos fenólicos.

A cresolase está relacionada com a oxidação de fenóis monohidroxilados, como a tirosina, fenol, ortocresol, etc., para formar outro grupo hidroxílico. Enquanto a catecolase envolve a remoção de dois hidrogênios de fenóis dihidroxilados, como o catecol ou dihidrofenilalanina, para dar uma ortoquinona correspondente.



(Atividade cresolase)

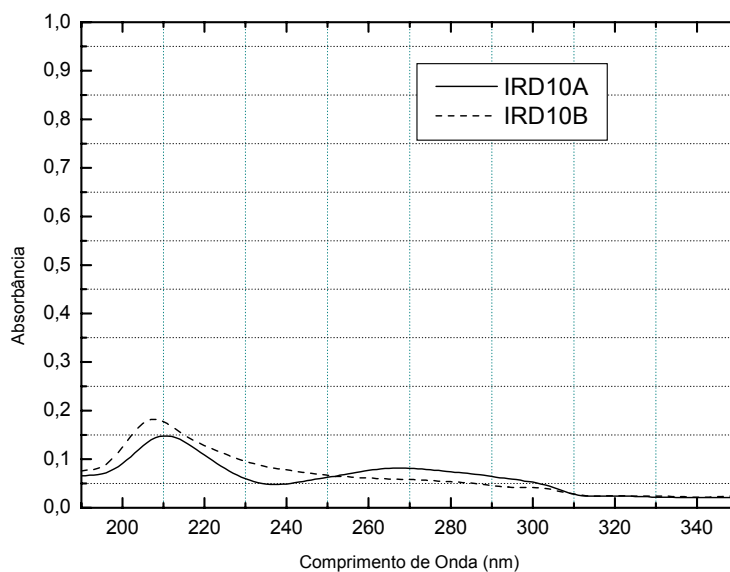


(Atividade catecolase)

Segundo GAVA (1984), as quinonas, por polimerização, produzem melanoidinas. Assim os produtos finais do processo de deterioração podem não absorver bem na faixa de 210nm.

Segundo SILVERSTEIN et al. (1994), o espectro de uma benzoquinona é semelhante ao de uma cetona  $\alpha,\beta$ -insaturada típica, mostrando uma banda K intensa em 245nm e uma banda R fraca próxima de 435nm. Existem casos em que o C=O e o C=C não são conjugados no sentido clássico do termo, porém ocorre interação com produção de uma banda. Nas estruturas em que isso acontece, os grupos C=O e C=C devem orientar-se de forma tal que ocorra a superposição efetiva entre os orbitais  $\pi$ . Assim, algumas estruturas do tipo  $\text{H}_2\text{C} = (\text{R}) = \text{O}$ , como a das quinonas, apresentam bandas moderadamente intensas em 214nm e uma banda R normal fraca, a 284nm.

WANG et al. (1982), admitiram que a correlação significativa entre resistência e o alto teor de açúcares indicam que outro mecanismo bioquímico além daquele envolvendo compostos fenólicos talvez possa parcialmente ser responsável por este tipo de deterioração. A **Figura 57** apresenta as amostras irradiadas com 10,0kGy, no tempo  $t = 7$  dias, onde podemos observar uma absorbância mais próxima em relação as amostras IRD10A e IRD10B, ambas em excelente estado de conservação.

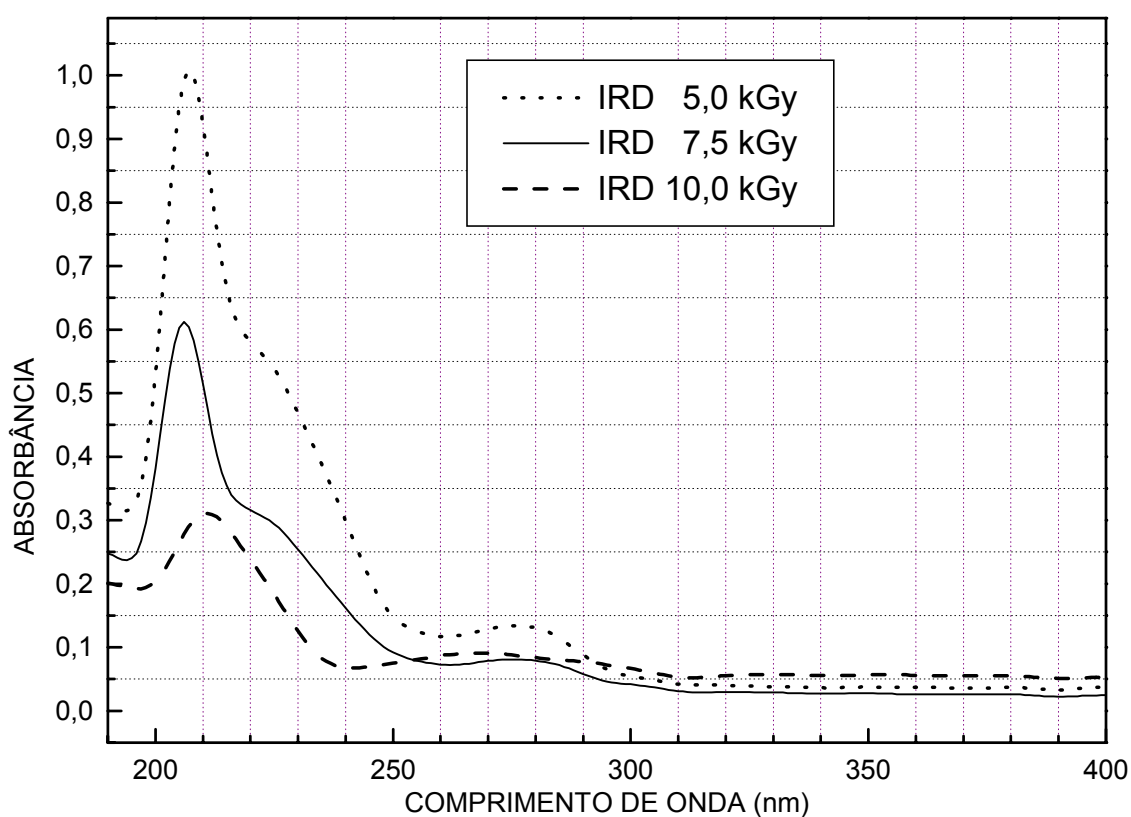


**Figura 57** – Amostras irradiadas com 10,0kGy, espectro U.V., no tempo  $t = 7$  dias.

Embora as amostras irradiadas (A) em todos os gráficos apresentaram menor teor de fenólicos em função da maior retenção de umidade, do que as amostras irradiadas (B). As raízes irradiadas com 10,0kGy apresentaram teores de fenólicos semelhantes ao compararmos IRD10A com IRD10B. Confirma-se assim que a deterioração de ordem enzimática foi inibida.

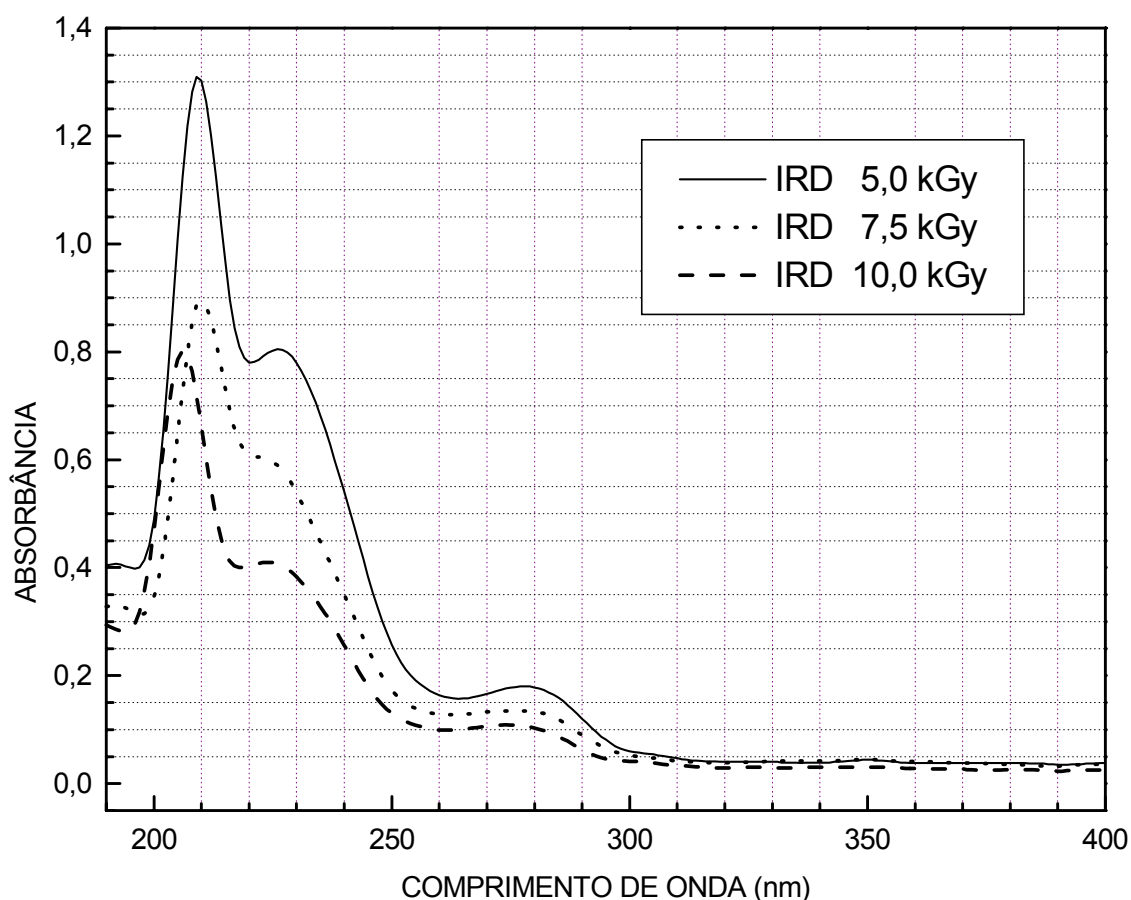
Devido ao estado de deterioração avançado que algumas amostras foram evidenciando a partir do sétimo dia, foram analisadas apenas as raízes que ainda apresentavam condições de manuseio, utilizando a região interna da parte comestível (A), ou seja, nas mesmas condições da região protegida pela casca da raiz. Para isto foram considerados por base os resultados das análises da deterioração microbiológica a fim de obter resultados mais esclarecedores.

A **Figura 58** apresenta o aspecto geral das amostras IRD5,0 , IRD7,5 e IRD10 após 12 dias de armazenamento, em que pode-se observar a mesma tendência revelada nos demais espectros anteriores, em relação ao aparecimento de “ombros” de conformações relacionadas a outros grupamentos. Sendo que a absorbância em relação aos fenólicos parece atingir um limite máximo a medida em que o grau de deterioração se torna mais avançado.



**Figura 58** – Aspecto das amostras IRD5,0, IRD7,5 e IRD10 espectro U.V., no tempo  $t = 12$  dias.

Finalmente ao se atingir 14 dias de armazenamento das raízes, foi obtido o seguinte aspecto geral do espectro ultravioleta (**Figura 59**) das amostras tratadas com as diferentes doses de radiação gama.



**Figura 59** – Aspecto das amostras IRD5,0, IRD7,5 e IRD10 espectro U.V., no tempo  $t = 14$  dias.

As amostras com elevado grau de deterioração, foram submetidas a um teste qualitativo, no qual uma pequena porção do material deteriorado foi agitado em uma solução etérea onde foi adicionada uma solução de hidróxido de amônio ( $\text{NH}_4\text{OH}$ ), que após agitação resultou em uma coloração avermelhada mais intensa na fase aquosa, o que indica a presença de quinonas (MATOS, 1988).

#### 4.5 - Avaliação Microbiológica

A Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) estabelece que conforme a resolução CNNPA nº 12, de 1978 a Comissão Nacional de Normas e Padrões para Alimentos, em conformidade com o artigo nº 64, do Decreto-lei nº 986, de 21 de outubro de 1969 e de acordo com o que foi estabelecido na 410ª. Sessão Plenária, realizada em 30/03/78, para raízes, tubérculos e rizomas. De acordo com o

Regulamento Técnico sobre Padrões Microbiológicos para alimentos (Resolução RDC nº 12, de 02/01/2001). As raízes, tubérculos e rizomas próprios para o consumo devem proceder de espécimens vegetais genuínos e sãos, devem apresentar as características gerais, e satisfazer as seguintes condições mínimas:

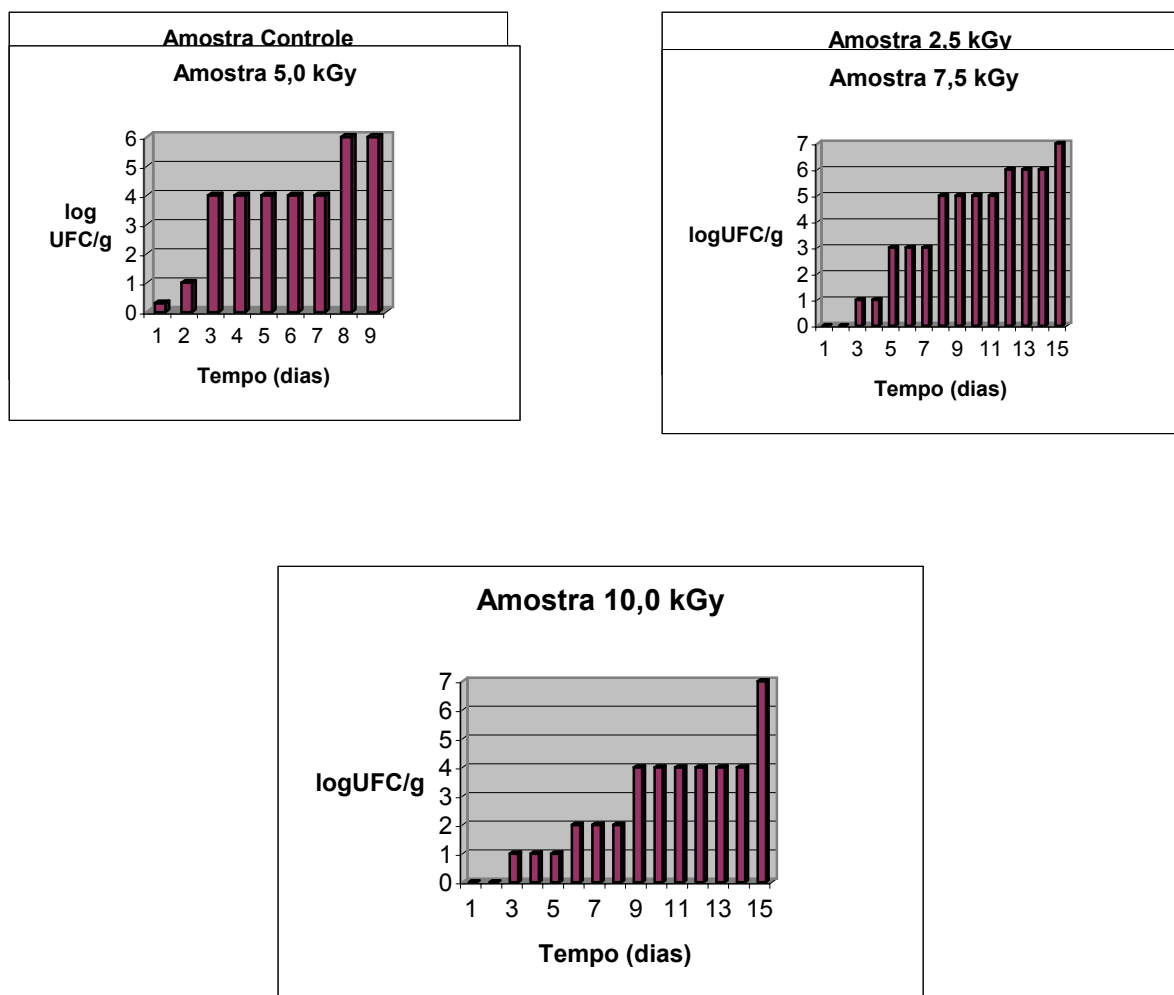
- a) serem de colheita recente, feita pela manhã. A secagem será ao sol ou protegida dos raios solares, conforme o caso, em lugares secos, ventilados e limpos;
- b) serem suficientemente desenvolvidos, com o tamanho, aroma, sabor e cor próprios da espécie;
- c) não estarem danificados por quaisquer lesões de origem física ou mecânica que afetem a sua aparência;
- d) estarem livres de enfermidades;
- e) estarem livres da maior parte possível de terra aderente à casca;
- f) isentos de umidade externa anormal, odor e sabor estranhos;
- g) livres de resíduos de fertilizantes;
- h) não apresentarem rachaduras ou cortes na casca; a polpa deverá estar intacta e limpa;
- i) não poderem ser dados ao consumo ou exposto à venda, as raízes, tubérculos e rizomas capazes de produzir ácido clorídrico, salvo quando para fins industriais e depois de desnaturados, de acordo com o fim a que se destina.

#### **4.5.1 – Características Microbiológicas**

As raízes, tubérculos e rizomas, devem obedecer ao seguinte padrão:

- a) Bactérias do grupo coliforme de origem fecal: máximo,  $2 \times 10^2$ /g
- b) Salmonelas: ausência em 25 g.
- c) Deverão ser efetuadas determinações de outros microrganismos e/ou de substâncias tóxicas de origem microbiana, sempre que as tornar necessária a obtenção de dados sobre o estado higiênico-sanitário dessa classe de alimento, ou quando tóxi-infecções alimentares ocorrerem.

A **Figura 60** apresenta as determinações de bolores e leveduras, sendo verificado experimentalmente um limite na faixa de  $10^6$  a  $10^7$  UFC como indicador de rejeição visual (RV), acima do qual o aspecto visual da parte comestível torna o produto inaceitável. Abaixo desta faixa considera-se que a carga microbiana existente é natural do produto. Não foram detectadas, durante o período de armazenamento, as presenças de *Salmonellas* sp. e de Coliformes Totais, sendo que a contagem total de mesófilos, indicadora das condições higiênicas, apresentou valores abaixo de 300 UFC/g, provavelmente em função de um processo de competição com o desenvolvimento de bolores e leveduras, que possuem uma capacidade de crescimento dentro de uma escala de valores de pH mais ampla do que maioria das bactérias.



**Figura 60** – Avaliação microbiológica (contagem de bolores e leveduras) durante o período pós-colheita, para os tratamentos: controle (A), 2,5 kGy (B), 5,0 kGy (C), 7,5 kGy (D) e 10,0 kGy (E).

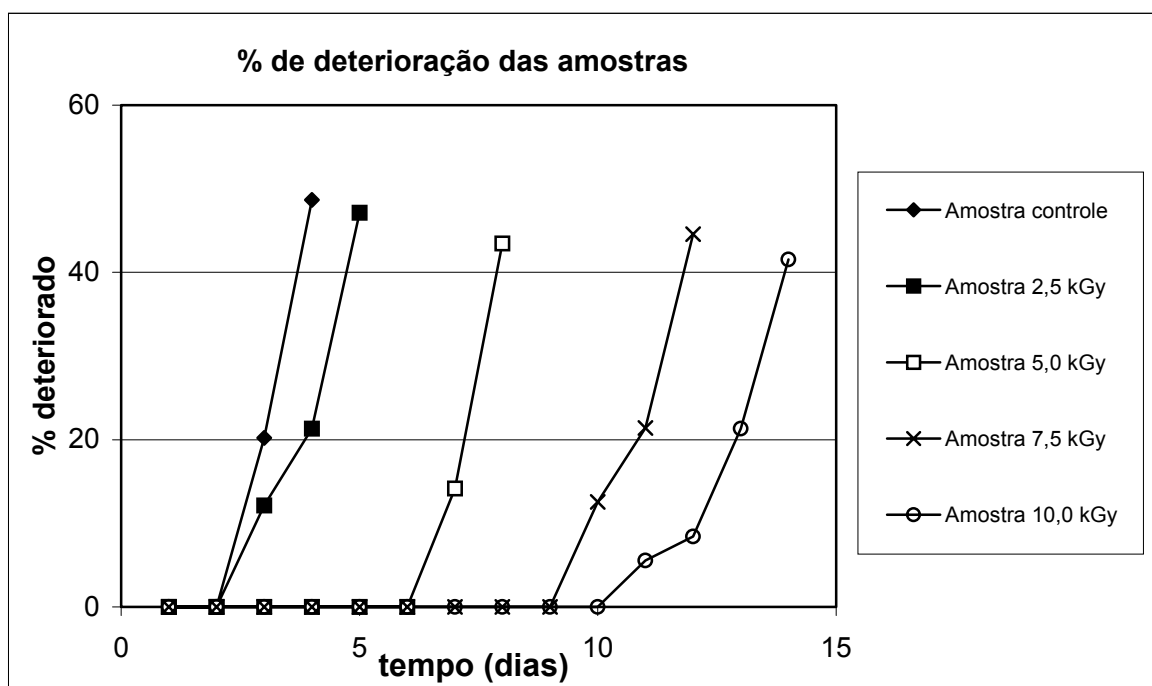
**Desta forma a contagem total de mesófilos (PCA) efetuada neste trabalho aliada a avaliação de Bolores e Leveduras (VANDERZANT, 1992; HARRIGAN, 1998), demonstram indicações de qualidade higiênica inicial dos produtos como também forneceram estimativas do prazo de armazenamento.**

Embora as raízes tenham sofrido apenas um processo de retirada das sujidades, por meio de escovação, os grupos irradiados apresentaram uma redução da carga microbiana inicial de dois a três ciclos logarítmicos, tendo em vista, as doses de irradiação aplicadas. Para as doses de 7 a 10 kGy temos uma faixa considerada de esterilização (FELLOWS, 1994).

#### 4.6 – Grau de deterioração fisiológica

Os valores encontrados abaixo ou próximos de 10%, por exemplo, mostram algumas secções ainda não afetadas enquanto outras já apresentavam pequenas manchas (escurecimento).

Sendo assim, as partes da amostra estudada ainda não apresentavam rejeição visual. Podemos afirmar que se trata de DF, pois as áreas transversais, foram seccionadas no momento da análise. Não havendo assim, qualquer possibilidade de contaminação microbiológica nestas áreas. A **Figura 61** apresenta o comportamento das amostras em relação ao aparecimento da deterioração fisiológica.



**Figura 61** – Comportamento das amostras de raízes de mandioca, em relação ao surgimento do escurecimento de origem enzimática.

Na escala proposta por MONTALDO (1973), o grau 5 irá representar a passagem das raízes de mandioca do nível resistente para a condição de susceptível, o que justifica a escolha do número de dias para atingir este grau (WANG, 1982).

Segundo CARVALHO (1982a), os teores de fenólicos das formas monoméricas aumentaram com o aumento do grau de deterioração fisiológica das raízes de certos cultivares. Não havendo uma correlação significativa entre os teores de fenólicos e suas frações mono, di, oligoméricas, poliméricas e totais e a incidência da deterioração microbiológica.

Apesar de não ter sido comparada neste trabalho, com outros métodos de conservação. A irradiação das raízes aumentou o tempo de prateleira de 2 para 14 dias.

O estudo das raízes in natura, como realizado neste trabalho, contribuiu para que as variações na composição química demonstrassem os efeitos em todos os componentes em conjunto (não isoladamente).

Assim podemos verificar que a ação das enzimas do grupo das oxiredutases está relacionada aos grupos funcionais detectados nas análises de infravermelho, e a correlação verificada entre a presença das enzimas (na deterioração primária) e o concomitante surgimento da atividade microbiana (deterioração secundária), sugere que ambas estejam interligadas.

O presente trabalho demonstrou que de uma forma geral, não houve excitações eletrônicas (transições eletrônicas) capazes de desencadear mecanismos de aparecimento de radicais livres que colaborassem com o surgimento de grupos funcionais estranhos em relação à composição química inicial.

Contudo os espectros de ultravioleta apresentaram evidências das duas diferentes atividades catalíticas, a ação de atividades cresolase e catecolase das enzimas polifenol-oxidases.

A perda inicial de umidade deve-se principalmente a liberação de água intercelular, sendo que após o início da deterioração microbiológica, libera-se provavelmente o material intracelular.

Desta forma, foi possível justificar o fato de haver verificado, nas amostras de 7,5 e 10,0 kGy (doses consideradas de esterilização), a ocorrência praticamente simultânea das deteriorações fisiológica e microbiológica, pois a água intercelular parece exercer um efeito de proteção sobre as células, na forma de camadas, por ligações hidrogênio, impedindo assim o contato do oxigênio do ar com o material celular, dificultando a ação das enzimas do grupo das oxi-redutases.

Na **Figura 62** é apresentado o aspecto das raízes de mandioca irradiadas com dose de 10,0 kGy após o processo de deterioração.



**Figura 62** – Aparência das raízes irradiadas com 10 kGy, após o processo de deterioração.

O processamento através da irradiação, em cultivares mais resistentes às deteriorações, poderá intervir de forma significativa na formação de preços em função da sazonalidade.

No caso da mandioca, a propagação é feita na forma de manivas afastando a possibilidade de eventuais alterações genéticas nos indivíduos resultantes do plantio. Assim as raízes de mandioca irradiadas, serão utilizadas apenas para fins alimentícios. Estudos posteriores podem ser realizados para evitar o superbrotamento das manivas-sementes, pelo uso de doses controladas de radiação gama.

## 5. CONCLUSÕES

1 – O tratamento por irradiação acarretou um aumento no tempo de conservação de cerca de 250%, o que credencia este processo como um importante aliado que juntamente a outros métodos poderá representar um significativo avanço na preservação da mandioca “in natura”.

2 – A ausência de escurecimento nas amostras irradiadas, a partir do segundo dia, mesmo aquelas tratadas com baixas doses, indicam que a atividade enzimática foi retardada.

3 – Nas amostras tratadas com 7,5 e 10,0 kGy foram verificadas ao final do período de armazenamento 12 e 14 dias respectivamente, a ocorrência simultânea de ambos os tipos de deterioração, demonstrando que as chamadas deteriorações primárias (de ordem fisiológica) e secundárias (microbiológicas) podem ocorrer em ordens diferenciadas, não só em função da retenção de umidade, como também do grau de esterilização a que foram submetidas as amostras.

4 – Na amostra irradiada, foi detectado a presença de quinonas, sugerindo um mecanismo de aumento na eficácia da conservação das raízes.

5 – O aspecto geral dos espectros de infravermelho, obtidos neste trabalho, demonstram similaridade, comprovando que não surgiram grupamentos funcionais estranhos em relação a composição inicial (amostra não irradiada, no tempo  $t = 0$ ).

6 – O início do processo de deterioração microbiológica ocorreu aos 4, 5, 8, 12 e 14 dias de armazenamento para as raízes de mandioca submetidas às doses de zero (controle), 2,5 kGy, 5,0 kGy, 7,5 kGy e 10,0 kGy, respectivamente.

- 7 – A irradiação das raízes com a dose de 10 kGy, aumentou o tempo de prateleira de 2 para 14 dias, ocorrendo uma gradual redução no teor de vitamina C e preservando outros componentes tais como: fibras, minerais, glicídios, lipídios, proteínas e aumentando a retenção de umidade.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABAM. – Associação Brasileira dos Produtores de Amido de Mandioca. (Paranavaí, PR). **Dossiê sobre mandioca e seus derivados**. Paranavaí, PR: 1998. 34p.

ALCANTARA, E.N. de; CARVALHO, J.E.B. de; LIMA, P.C. Determinação do período crítico de competição das plantas daninhas com a cultura da mandioca (*Manihot esculenta* Crantz). In: EPAMIG (Belo Horizonte, MG). **Projeto Mandioca**; relatório 76/79. Belo Horizonte, MG: 1982a. p.127-129.

ALCANTARA, E.N. de; SOUZA, I.F.D. Herbicidas na cultura da mandioca (*Manihot esculenta*) In: EPAMIG (Belo Horizonte, MG). **Projeto Mandioca**; relatório 76/79. Belo Horizonte, MG: 1982b. p.136-141.

ANDRADE, A. de S.; ROCHA, B. V. da; CORREA, H. Armazenamento de raízes de mandioca. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 5, n. 59/60, p. 94-96, nov./dez. 1979.

ARAÚJO, J. M. A. **Química de alimentos**: teoria e prática. 2. ed. Viçosa: UFV, 1999. 416 p.

BALAGOPALAN, C.; PADMAJA, G. Storage of tuber crops. **Indian Farming**, New Delhi, v. 33, n. 12, p. 51-53;71, 1984.

BALOTA, E.L. COLOZZI FILHO, A.; SQUILLACE, V.R.; LOPES, E.S.; HUNGRIA, M.; DOBEREINER, J. Efeito da inoculação de bactérias diazotróficas e de fungos MVA na cultura da mandioca (*Manihot esculenta* Crantz). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 24., Goiânia, GO, 1993. **Resumos**. Goiânia, GO: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1993. v.1, p.319-320.

BEZERRA, V. S.; PEREIRA, R.G.F.A.; CARVALHO, V.D.; VILELA, E.R. Raízes de Mandioca Minimamente Processadas: Efeito do Branqueamento na Qualidade e na Conservação; **Ciência Agrotecnica**, Lavras, v.26, n.3, p.564-575, mai./jul., 2002.

BOOTH, R. H. Storage of fresh cassava (*Manihot esculenta*). I. Post-harvest deterioration and its control. **Experimental Agriculture**, Cambridge, 12 (2):103-11, Apr 1976.

BRADFORD, R. & LOAHARANV, P. A. Approach to Regulating Food Irradiation Based on Groups of Foods. WHO/IAEA/FAO. **Seminar on harmonization of regulations on food irradiation in Asia and the Pacific**. IAEA – TECDOC – 696, Kuala Lumpur (Malaysia), p. 155-160, jan/mar. 1993.

BRASIL, MS (Ministério da Saúde) – Agência Nacional de Vigilância Sanitária, Resolução - RDC nº 21, de 26 de janeiro de 2001, publicada no **Diário Oficial da União**, de 29 de janeiro de 2001. Aprova o Regulamento Técnico para Irradiação de Alimentos, revogando a Portaria nº 09 DINAL/MS de 1985 e Portaria nº 30 de 1989. Disponível em:<[http://www.anvisa.gov.br/legis/resol/21\\_01rdc.htm](http://www.anvisa.gov.br/legis/resol/21_01rdc.htm)>. Acesso em: 06 mar. 2001.

BRUHN, C. M. Consumer attitudes and market response to irradiated food. **Journal Food Protein**. Ames, 1995. v. 58, n. 2, p. 175-181.

BRYNJOLFSON, A. **Energy and food irradiation. In: Food preservation by irradiation**. Vienna: V.2 (Proceedings of a Symposium held in Wageningen, 1977). IAEA, 1978.

CAMPOS, A. D. & CARVALHO, V. D. Deterioração pós-colheita de mandioca I - Modificações no grau de deterioração fisiológica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, 25 ( 5 ), 773-81 , maio 1990.

CARDOSO, E. M. R.; AGUIAR, O. R.; SAMPAIO, E. J. Utilização da mandioca como “farinha de cola” na indústria de compensados de madeira. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MANDIOCA, vol. 8, Salvador – BA. **SBM**, p.81, 1994.

CARDOSO, E. M. **Comissão Nacional de Energia Nuclear** <<http://www.cnen.gov.br> > (acesso 13/01/2004).

CARDOSO, C. E. L. Efeitos de políticas públicas sobre a produção de mandioca no Brasil. Piracicaba, SP. **USP – ESALQ**, 1995, 180p.

CARDOSO, C.E.L.; SOUZA, J. da S. Aspectos econômicos da cultura da mandioca. **Conjuntura & Planejamento**, Salvador, n.50, p.15-16, 1998.

CARVALHO, V. D.; CARVALHO, J. G., **Princípios Tóxicos da Mandioca. Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 05, n.59/60, 1979, p. 82 – 84.

CARVALHO, J.E.B. de. Controle químico de plantas daninhas em mandioca. In: EMBRAPA-DDT (Brasília, DF). **Práticas culturais da mandioca**. Brasília, DF: 1984. p.167-172. (EMBRAPA-DDT. Documentos, 14). Anais do seminário realizado em Salvador, Bahia, Brasil, 18-21mar., 1980.

CARVALHO,V. D. de; CHALFOUN, S. M.; HUEI-WANG, S. Armazenamento pós-colheita de mandioca. II. Efeito das alterações no grau de deterioração fisiológica e na composição físico-química e química de seis cultivares de mandioca. **Revista Brasileira de Mandioca**, Cruz das Almas, v. 1, n. 1, p. 25-34, 1982.

CARVALHO, V. D. ; CHALFOUN, S. M. & HUEI-WANG, S. Armazenamento pós- colheita de mandioca: I. Influencia da composição química de raízes de cultivares de mandioca sobre a resistência a deterioração pós-colheita ( fisiológica e microbiana ). **Revista Brasileira de Mandioca**, Cruz das almas, 1 ( 1 ): 15- 16, 1982a.

CARVALHO,V. D.; CHALFOUN, S. M.; CLEMENTE, E.; LEITE, I. P. Relação entre compostos fenólicos, atividade da peroxidase e polifenoloxidase e deterioração fisiológica em raízes de mandioca. **Revista Brasileira de Mandioca**, Cruz das Almas, v. 4, n. 2, p. 89-96, 1985.

CARVALHO, J. L. H. Uso da parte aérea da mandioca na alimentação animal. In: Congresso Brasileiro de Mandioca, vol. 3, Brasília, DF. , **Sociedade Brasileira de Mandioca**, 1983, p.13 – 38.

CARVALHO, J.E.B. de. **Controle de plantas daninhas em mandioca**. Cruz das Almas, BA: EMBRAPA-CNPMPF, 1990. 38p. Trabalho apresentado nº 7. Curso Intensivo Nacional de Mandioca, Cruz das Almas, BA, EMBRAPA - CNPMPF, 1990.

CARVALHO, J.E.B. de; REZENDE, G. de O.; SOUZA, J. da S. Competição e seletividade de herbicidas pré-emergentes no controle das plantas daninhas na cultura da mandioca. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MANDIOCA, 6., 1990, Londrina, Paraná. **Resumos**. Londrina, PR: SBM, 1990. p.78.

CARVALHO, G. C.; SOUZA, C. L. **Química**. 1ª ed. São Paulo. Ed. Scipione, p. 305-315, 2003.

CAVALCANTE, M.L.S.; LIMA, H.A.; FUKUDA, C.; LOZANO, J.C.; FUKUDA, W.M.G. Avaliação de resistência de genótipos de mandioca ao superbrotamento da mandioca causado por micoplasma na Microrregião da Ibiapaba, CE. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MANDIOCA, 7., 1992, Recife, PE. **Resumos**. Recife, PE: SBM, 1992. p.61.

CDTN, Fatos sobre Irradiação de Alimentos, **Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear**, Belo Horizonte – M.G., 1999.

CEREDA, M. P.; LIMA, V. de A. Aspectos sobre a fermentação da fécula de mandioca. III. Determinação dos ácidos orgânicos. **Revista Turrialba**, San Jose, v. 35, n. 1, p. 19-24, ene./mar. 1985.

CEREDA, M. P. Alternativas de uso industrial para a fécula de mandioca. **Revista Brasileira de Mandioca**, Cruz das Almas, vol. 08, nº 1, p. 63 – 71, 1989.

CEREDA, M. P. Película de fécula de mandioca na conservação de frutas e hortaliças. **Faxjornal**, Botucatu, nº 33, p.2, 1996.

CHEFTEL, J. C.; CHEFTEL, H. & BESANÇON, P. **Metodos de Conservacion, Tratamiento por las Radiaciones ionizantes**. In: Introducción a la Bioquímica y Tecnología de los Alimentos. V.2, Zaragoza, Ed. Acribia, p. 277-284, 1992.

CHITARRA, M. I. F. & CHITARRA, A. B. **Pós-colheita de frutos e hortaliças**. Lavras, FAEPE, 1990. 293p.

CIACCO, C. F.; CRUZ, R. **Fabricação de amido e sua utilização**. São Paulo: Secretaria da Indústria, Comércio, Ciência e Tecnologia, [1988]. 152 p.

COCK, J. H. **Cassava: new potencial for a neglected crop**. Boulder: Westview Press, 1985. 191 p.

COCK, J. H. **La yuca, nuevo potencial para un cultivo tradicional**. Calli: CIAT, 1990. 240 p.

COSTA, E.O. Uso de antimicrobianos na mastite, In: **SPINOSA, H.S., GÓRNIK., S.L., BERNARDI, M.M. ,Farmacologia aplicada à Medicina Veterinária**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1997. p.387-397.

DAMASCENO, M. N.; BISERRA, J. V. Demanda potencial de raspa de mandioca na produção de rações animais e de farinha de mandioca panificável na alimentação humana. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ECONOMIA E SOCIOLOGIA RURAL, vol. 34, Brasília, DF. , **SOBER**, 1996, p.1545 – 1556.

DIEHL, J. F. **Safety of Irradiated Foods**, Marcel Dekker Inc, New York, 1990, ISBN: 0-8247-8137-6. 345 p.

DIEHL, J. F.; HASSELMANN, C. & KILCAST, D. Regulation of food irradiation in the European Community: Is nutrition a issue? **Food Control**, n. 10, p. 212-219, 1991.

DINIZ, M. de S.; GOMES, J. de C.; CALDAS, R.C. Sistemas de adubação na cultura da mandioca. **Revista Brasileira de Mandioca**, Cruz das Almas, v.13, n.2, p.157-160, 1994.

DION, P., CHARBONNEAU, R., THIBAUT, C. Effect of ionizing dose rate on the radioresistance of some food pathogenic bacteria. **Journal Clinic Microbiological**, Ottawa, Canada, 1994. v.40, p. 369-374.

EL-DASH, A. Utilização da mandioca na alimentação humana e em outros produtos industrializados. **Informe agropecuário**. Belo Horizonte, MG. 13 (145 ), p.74-82, jan. 1987.

EMBRAPA. **Atlas do meio ambiente do Brasil**. 2.ed., rev. aum. Brasília: [EMBRAPA-SPI](#);Terra Viva, 1996. 160p.

EMBRAPA MANDIOCA E FRUTICULTURA. Disponível em:[http://www.cnpmf.embrapa.br/&http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Mandioca/mandioca\\_para/colheita.htm&http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Mandioca/mandioca\\_semiarido/colheita.htm](http://www.cnpmf.embrapa.br/&http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Mandioca/mandioca_para/colheita.htm&http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Mandioca/mandioca_semiarido/colheita.htm). Acesso em: 19 Dez., 2003.

ENDEF. Tabelas de composição dos alimentos, **Estudo Nacional de Despesa Familiar Rio de Janeiro** – 1977.

FAJARDO, P.W., REGO, F. C. **Radioesterilização** Rio de Janeiro: CNEN/IEN, 1993.

FAO – FAOSTAT. **Data base results (2001)**. Disponível em <http://apps.fao.org/servlet/XteServlet.jr...tion.Crops.Primary&OutputLabel>. Acesso em 02/04/2004.

FARIAS, A.R.N. **Espécies de "mosca branca"; situação atual e perspectivas de controle**. Cruz das Almas, BA: EMBRAPA-CNPMPF, 1990. 9p. Trabalho apresentado no 7. Curso Intensivo Nacional de Mandioca, Cruz das Almas, BA, 1990.

FARIAS, A.R.N. **Controle biológico do mandarová da mandioca com *Baculovirus erinnyis***. Cruz das Almas, BA: EMBRAPA-CNPMPF, 1991. ([EMBRAPA-CNPMPF](#). Mandioca em Foco, 7).

FARIAS, A.R.N. **Controle dos ácaros da mandioca**. Cruz das Almas, BA: EMBRAPA-CNPMPF, 1991. (EMBRAPA-CNPMPF. Mandioca em Foco, 25).

FARIAS, A.R.N. **Insetos e ácaros pragas associados à cultura da mandioca no Brasil e meios de controle**. Cruz das Almas, BA: EMBRAPA-CNPMPF, 1991. 47p. (EMBRAPA-CNPMPF. Circular Técnica, 14).

FARIAS, A.R.N. **Pragas da cultura da mandioca**. Cruz das Almas, BA: EMBRAPA-CNPMPF, 1991. 26p. Trabalho apresentado na Semana Especial sobre a Cultura da Mandioca, Estância, SE, 1991.

FELLOWS, P. **Tecnologia del Procesado de los Alimentos: Principios y prácticas**. Zaragoza, Acribia, 1994, 549p.

FERREIRA, M. E. **Efeito do armazenamento na composição, cocção e características do amido das raízes de algumas cultivares de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz).** 1986. 101 p. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) – Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras.

FONSECA, M. R. M. **Química Integral**, Escola Superior de Química Oswaldo Cruz – S.P., 1993, 565p.

FONSECA, F. L. M. Transformação da mandioca em álcool. **Faxjornal**, Botucatu, nº 29, p.2, 1996.

FUKUDA, C.; FUKUDA, W.M.G.; SOUZA, A. da S. Seleção de cultivares e clones de mandioca resistentes a antracnose. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MANDIOCA, 1., 1979, Salvador, BA. **Anais...** Brasília, DF: EMBRAPA-DID/SBM, 1981. p.503-512.

FUKUDA, C. **Bacteriose da mandioca (*Xanthomonas campestris* pv. *manihotis*): Resistência varietal e alguns possíveis pré-infeccionais de resistência do hospedeiro.**, 1982. 58p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais.

FUKUDA, C. Doenças da mandioca. In: Centro Nacional de Pesquisa de Mandioca e Fruticultura Tropical (Cruz das Almas, BA). **Instruções práticas para o cultivo da mandioca.** Cruz das Almas, BA: [Embrapa-CNPMPF](#), 1993. p.53-56.

FUKUDA, C.; MONTENEGRO, E.E.; FUKUDA, W.M.G. **Primeiros híbridos resistentes ao superbrotamento são gerados no CNPMPF.** Cruz das Almas, BA: Embrapa-CNPMPF, 1995. 2p. (Mandioca em Foco, 6).

FUKUDA, W.M.G.; BORGES, M. de F. **Cultivares de mandioca de mesa.** Cruz das Almas, BA: EMBRAPA-CNPMPF, 1989. 4p. (EMBRAPA-CNPMPF. Comunicado Técnico, 15).

FUKUDA, W.M.G. Melhoramento de mandioca no Brasil. In: REUNIÓN PANAMERICANA DE FITOMEJORADORES DE YUCA, 2., 1992, Cali, Colômbia. **Memórias...** Cali, Colômbia: CIAT, 1991. p.15-31. 1992. (CIAT. Documento de Trabajo. 112).

FUKUDA, W. M. G.; IGLESIAS, C.; PINA, P. R.; MONTENEGRO, E. E. Pesquisa participativa em melhoramento de mandioca: uma experiência no semi-árido do Nordeste do Brasil. Cruz das Almas, BA. **EMBRAPA-CNPMPF**, 1997, 46p.

GAVA, A. J. Princípios de Tecnologia de Alimentos. 7ª Ed. São Paulo: Nobel, 1984, 103p.

GJORUP, H. L. Countermeasures and Socio-Economic Considerations. **Radiat. Prot. Dosim.**, 21 (13): 145-150, 1987.

GOMES, J. de C.; CARVALHO, P.C.L. de; CARVALHO, F.L.C.; RODRIGUES, E.M. Adubação orgânica na recuperação de solos de baixa fertilidade com o cultivo da mandioca. **Revista Brasileira de Mandioca**, Cruz das Almas, v.2, n.2, p.63-76, 1983.

GOMES, J. de C.; SOUZA, L. da S.; CALDAS, R.C. Doses, modos e épocas de aplicação de potássio. In: EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Mandioca e Fruticultura (Cruz das Almas, BA). **Relatório técnico anual do Centro Nacional de Pesquisa de Mandioca e Fruticultura - 1982.** Cruz das Almas, BA: 1983a. p.120-123.

GOMES, J. de C. Adubação da mandioca. In: CURSO INTERNACIONAL DE MANDIOCA PARA PAÍSES AFRICANOS DE LÍNGUA PORTUGUESA, 1., Cruz

das Almas, BA, 1998. Cruz das Almas, BA: EMBRAPA MANDIOCA E FRUTICULTURA, 1998. 73p.

GREGORIO, S. R. **Otimização de técnicas de manuseio em pós-colheita para conservação de raízes de mandioca ( *Manihot esculenta* Crantz )** - Dissertação (mestrado) , UFRRJ, Rio de Janeiro, 71 p. , 1993.

HANSON, G. P. ; KOMAROV, E. **Health Effects in Residents of High Background Radiation Regions**. Proceedings of a Symposium – Biological Effects of Low Level Radiation: 211-230, Vienna, IAEA, 1983.

HARRIGAN, W.F. **Laboratory Methods in Food Microbiology**. 3rd. ed. , 532 p. London: Academic Press, 1998.

HERNANDES, N.K; VITAL, H.C; SABAA-SRUR,A.U.O. Irradiação de alimentos: Vantagens e Limitações - **Bol. SBCTA, Campinas**, 37(2): 154-159, jul.-dez. 2003.

HERNANDEZ, E. S. M.; GUILLEN, J. C. Composición química de seis variedades de yuca *Manihot esculenta* Crantz en distintas etapas de desarrollo. **Agricultura Técnica en México**, Mexico, v. 10, n. 1, p. 3-15, jun.1984.

HODGE, J. E. Dehydrated foods.Chemistry of browning reactions in model systems. **Agriculture and Food Chemistry**, 1(15), p.228-243, 1953.

HOPKINS, W. G. **Introduction to plant physiology**. New York, John Wiley & Sons, 1995. 464 p.

HOWELER, R. **Nutrición mineral y fertilización de la yuca ( *Manihot esculenta* Crantz)**. Cali, Colombia: Centro Internacional de Agricultura Tropical, 1981. 55p.

**HYPERPHYSICS** - <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/hframe.html>. Acesso em 13/01/2004.

IBGE - Sidra - **Sistema de bancos de dados agregados**. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE)<sup>1</sup>. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br> & <http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/agric/default.asp?z=t&o=11>. Acesso em 02/04/2004.

ICGFI, Enhancing Food Safety Through Irradiation, **International Consultative Group on Food Irradiation**, Facts About Food Irradiation, Vienna, 1999.

ICGFI (International Consultative Group on Food Irradiation). Disponível em: <<http://www.iaea.org/icgfi.htm>>. Acesso em: 05 set. 2000.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ (IAL). Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz, 3ª Ed., São Paulo, 1985. 533p.

IEA (INSTITUTO DE ECONOMIA AGRÍCOLA). **Banco de textos**. Disponível em: <http://www.iea.sp.gov.br/out/ibcoiea.htm>. Acesso em 02/04/2004.

KANASHIRO, M.; BALOTA, E.L.; DOBEREINER, J. Ocorrência de bactérias diazotróficas e de fungos MVA na cultura da mandioca (*Manihot esculenta* Crantz). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 24., Goiânia, GO, 1993. **Resumos**. Goiânia, GO: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1993. v.1, p.361-362.

KATO, M. do S. A.; SOUZA, S. M. C. Conservação de raízes após colheita. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 13, n. 145, p. 9-14, jan. 1987.

KATO, M. S.A; CARVALHO, V. D. & CORREA, H. Efeitos da poda na deterioração fisiológica, Atividade enzimática, e nos teores de compostos fenólicos em raízes de mandioca. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, 26 ( 2 ), p. 237-45, fev. 1991.

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

KOTZ, J. C.; TREICHEL, P. **Nuclear Chemistry**, State University of New York – Oneonta, 1998, 708p.

LAGUNAS-SOLAR, M. C. Radiation Processing of Foods: An Overview of Scientific principles and Current Status. **Journal of Food Protection**, v. 58 (2), p. 186-192, Feb.1995.

LAJOLO, F.M. Efeito do processamento sobre o valor nutricional dos alimentos. Situação na América Latina e Caribe e importância para a elaboração de tabelas de composição. **Arch. Latinoamer. Nutr.**, 37 (4): 666-672, 1999.

LAMBERT, J. B.; SHURVELL, H. F.; LIGHTNER, D.; COOKS, R. G., [Introduction to Organic Spectroscopy, Macmillan Publishing Company, New York, 1987, 169 – 182p.](#)

LAZZARINI, S. G.; MACHADO FILHO, C. A. P.; NEVES, M.F.; STACCHINI, P. F. A Indústria de Nutrição Animal: tendências e estratégias empresariais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ECONOMIA E SOCIOLOGIA RURAL, vol. 34, Brasília, DF. , SOBER, 1996, p.586 – 599.

LIMA, K. S. C.; GROSSI, J. L. S.; LIMA, A. L. S.; ALVES, P. F. M. P.; CONEGLIAN, R. C.C.; GODOY, R. L. O. & SABAA-SRUR, A.U. Efeito da Irradiação Ionizante  $\gamma$  na qualidade pós-colheita de cenouras (*Daucus carota L.*) cv. Nantes. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, 21(2): 202-208, maio/ago. 2001.

LIMA, D. M.; COLUGNATI, F. A. B.; PADOVANI, R. M.; AMAYA, D. B. R.; GALEAZZI, M. A. M.; PETENATE, A. J. TABELA BRASILEIRA DE COMPOSIÇÃO DE ALIMENTOS – TACO. **NEPA**, Campinas, SP., 2004, v. 1, 42p.

LINDENFELD, P.; UNIVERSITY, R. Radioactive Radiations and their Biological Effects. USA, **American Association of Physics Teachers**, 1986.

LOPES, C. A. **Efeito do Consórcio entre Mandioca e Leguminosas na População de Plantas Espontâneas** – Tese de Doutorado, UFRRJ, Rio de Janeiro, 2003.

LOZANO, J. C.; COCK, J. H. & CASTANO, J. , New development in cassava storage. **In proceedings cassava protection workshop**. CIAT, Cali, Colombia, p.135-41, serie E-14, 1978.

LOZANO, J.C.; BELLOTI, A.; REYES, J.A.; HOWELER, R.; LEIHNER, D.; DOLL, J. **Problemas no cultivo da mandioca**. 2.ed. Brasília, DF: EMBRATER, 1985. 207p.

MACEDO, M.C.M.; MATTOS, P.L.P. de. **Normaniva**; um implemento simples e eficiente para o preparo de "manivas-semente" de mandioca a baixo custo. Cruz das Almas, BA: EMBRAPA-CNPMPF, 1980. 10p. ([EMBRAPA-CNPMPF](#). Comunicado Técnico, 6).

MACHADO, L. C. P. Uso de raízes de mandioca na alimentação de não-ruminantes. In: Congresso Brasileiro de Mandioca, vol. 3, Brasília, DF. , SBM, 1983, p.39 – 87.

MARGOLIS, E.; CAMPOS FILHO, O.R. Determinação dos fatores da equação universal de perdas de **solo** num Podzólico Vermelho-Amarelo de Glória do Goitá. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA SOBRE CONSERVAÇÃO DO SOLO, 3., Recife, PE, 1980. **Anais**. Recife, PE: UFRPE, 1981. p.239-250.

MARGOLIS, E.; MELLO NETTO, A.V. de. **Perdas por erosão em diferentes sistemas de plantio de mandioca**. Recife, PE: UFRPE, s.d.. 14p. (Trabalho apresentado no IV Encontro Nacional de Pesquisa sobre Conservação do Solo, Campinas, SP, 1982).

MARQUES, J.Q.A.; BERTONI, J.; BARRETO, G.B. Perdas por erosão no Estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v.20, n.47, p.1143-1182, 1961.

MATIN, M. A.; BHUIYA, A. D.; AMIN, M. R.; MALEK, M. A. *et al.* Irradiation of onions, pulses and dried: process control, storage, test marketing and economic analysis of the process. **IAEA – TECDOC 871**, Vienna, Áustria, p.19-49, 1996.

MATSUURA, F.C.A.U. Amido de mandioca (Fécula). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MANDIOCA, 10., 1999, Manaus, AM: EMBRAPA-CPAA/ **SBM**, 1999. p.33-55p.

MATSUURA, F.C.A.U. Mandioca como matéria-prima industrial. In: CURSO SOBRE TECNOLOGIAS PARA O PROCESSAMENTO AGROINDUSTRIAL DA MANDIOCA, 1998, Cruz das Almas, BA.: EMBRAPA-CNPMPF/**SBM**, 1998. p.31-32.

[MATOS, F. J. A. Introdução à Fitoquímica Experimental. Ed. Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 1988, 51p.](#)

MATTOS, P.L.P. de; SOUZA, L. da S.; CALDAS, R.C. Sistemas de plantio de mandioca em fileira dupla no Brasil. In: PRÁTICAS CULTURAIS DA MANDIOCA, Salvador, BA, 1980. **Anais**. Brasília, DF: EMBRAPA-DDT, 1980. p.87-94.

MATTOS, P.L.P. de; SOUZA, A. da S. **Mandioca em consorciação no Brasil**; problemas, situação atual e resultado de pesquisa. Cruz das Almas, BA: EMBRAPA-CNPMPF, 1981. 51p. (EMBRAPA-CNPMPF. Documento, 1).

MATTOS, P.L.P. de; SOUZA, A. da S.; DANTAS, J.L.L.; CALDAS, R.C. Influência da rotação de culturas sobre a produtividade da mandioca. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA MANDIOCA, 2., Vitória, ES, 1981. **Anais**.Cruz das Almas, BA: EMBRAPA-CNPMPF/**SBM**, 1982. v.1, p.175-180.

MATTOS, P.L.P. de; SOUZA, A. da S.; CALDAS, R.C. Consorciação de mandioca com amendoim. **Revista Brasileira de Mandioca**, Cruz das Almas, v.5, n.1, p.71-76, 1982a.

MATTOS, P.L.P. de; SOUZA, A. da S.; CALDAS, R.C. Consorciação de mandioca em fileiras duplas com *Vigna*. **Revista Brasileira de Mandioca**, Cruz das Almas, v.1, n.1, p.61-65, 1982b.

MATTOS, P.L.P. de; CALDAS, R.C.; SOUZA, A. da S. Mandioca plantada em fileiras duplas consorciada com milho. **Revista Brasileira de Mandioca**, Cruz das Almas, v.2, n.1, p.55-58, 1983.

MATTOS, P.L.P. de; SOUZA, A. da S.; CALDAS, R.C. Adaptação de espaçamentos em fileiras duplas para a cultura da mandioca (*Manihot esculenta* Crantz). **Revista Brasileira de Mandioca**, Cruz das Almas, v.2, n.2, p.13-22, 1983.

MATTOS, P.L.P. de; SOUZA, A. da S.; CALDAS, R.C. Mandioca consorciada com milho. **Revista Brasileira de Mandioca**, Cruz das Almas, v.4, n.2, p.61-67, 1985.

MATTOS, P.L.P. de; SOUZA, A. da S. Mandioca plantada em fileiras duplas consorciada com feijão. **Revista Brasileira de Mandioca**, Cruz das Almas, v.4, n.2, p.69-74, 1985.

MATTOS, P.L.P. de; SOUZA, A. da S.; CALDAS, R.C. Cultivo consorciado de mandioca com caupi. **Revista Brasileira de Mandioca**, Cruz das Almas, v.5, n.2, p.7-11, 1986.

MATTOS, P.L.P. de; SOUZA, A. da S. Mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) consorciada com milho (*Zea mays*) no sistema de fileiras duplas. **Revista Brasileira de Mandioca**, Cruz das Almas, v.6, n.1, p.49-53, 1987.

MATTOS, P.L.P. de; SOUZA, A. da S. Consórcio de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) plantada em fileiras duplas com milho (*Zea mays*). **Revista Brasileira de Mandioca**, Cruz das Almas, v.7, n.1, p.23-35, 1988.

MATTOS, P.L.P. de; SOUZA, A. da S.; CALDAS, R.C. Adaptação de espaçamentos na consorciação de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) plantada em fileiras duplas com caupi [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.]. **Revista Brasileira de Mandioca**, Cruz das Almas, v.8, n.1, p.47-53, 1989.

MATTOS, P.L.P. de; SOUZA, A. da S.; CALDAS, R.C. Cultivo da mandioca e caupi em sistemas consorciado e monocultivo. **Revista Brasileira de Mandioca**. Cruz das Almas, v.8, n.2, p.47-59. 1989.

MATTOS, P.L.P. de; SOUZA, A. da S.; CALDAS, R.C. Consorciação de mandioca plantada em fileiras duplas com feijão. **Revista Brasileira de Mandioca**, Cruz das Almas, v.9, n.1/2, p.83-90, 1990.

MATTOS, P.L.P. de; SOUZA, A. da S.; CALDAS, R.C. Mandioca e feijão em consorciação e em monocultivo. **Revista Brasileira de Mandioca**, Cruz das Almas, v.11, n.1, p.41-53, 1992.

MATTOS, P.L.P. de; SOUZA, A. da S.; CALDAS, R.C. Avaliação do cultivo da mandioca em fileiras duplas e simples consorciada com soja. **Revista Brasileira de Mandioca**, Cruz das Almas, v.13, n.1, p.47-59, 1994.

MATTOS, P.L.P. de; SOUZA, A. da S.; CALDAS, R.C. Cultivo da mandioca e amendoim em sistemas consorciado e monocultivo. **Revista Brasileira de Mandioca**, Cruz das Almas, v.13, n.1, p.29-45, 1994.,

MATTOS, P.L.P. de; SOUZA, L. da S.; SOUZA, J. da S.; CALDAS, R.C.; CRUZ, J.L. Mandioca consorciada com feijão e milho. **Revista Brasileira de Mandioca**, Cruz das Almas, v.15, n.1/2, p.81-88, 1996.

MATTOS, P.L.P. de; SOUZA, A. da S.; CALDAS, R.C. **Mandioca consorciada com feijão e milho**. Cruz das Almas, BA: EMBRAPA-CNPMPF, 1998. 2p. (EMBRAPA-CNPMPF. Mandioca em Foco, 12).

MAYER-KUCKUK, T. Física Nuclear, 4ª Ed., Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, 1993.

MDS NORDION. Disponível em: <<http://www.mds.nordion.com>> Acesso em: 11 dez. 2000.

MELLO, C. A.; POPPI, R. J.; ANDRADE, J. C. **Redes Neurais e Técnicas de Processamento de Sinais em Espectroscopia de Reflectância Difusa no Infravermelho próximo (NIRR)**, Tese (doutorado), UNICAMP, Campinas, 134p, 1998.

MODESTA, R. C. D. Manual de Análise Sensorial de Alimentos e Bebidas. Centro Nacional de Pesquisa de Tecnologia Agroindustrial de Alimentos (CTAA). Rio de Janeiro: Embrapa, 1994. 33p.

MONTALDO, A. Vascular streaking of cassava root tubers. **Tropical Science**, London, v. 15, n. 1, p. 39-46, 1973.

MONTEIRO, C. L. B. **Técnicas de Avaliação Sensorial**. 2ª Ed. Curitiba - CEPPA, 1984.101p.

MORETTI, R. H. **Cost-Benefit of poultry irradiation in Brazil. In: Cost-benefit aspects of food irradiation processing**. Vienna: IAEA, 1993. [Proceedings of a symposium in Provence, 1993 (IAEA-SM-328;68)].

OKUNO, E. “Física para Ciências Biológicas e Biomédicas ”. Ed. Harbra Ltda. São Paulo – SP, p. 116 – 125, 1982.

OKUNO, E. “Radiação: Efeitos, Riscos e Benefícios”. Ed. Harbra Ltda. São Paulo – SP, p. 42 – 45, 1988.

OLIVEIRA, S.L.; MACEDO, M.M.C.; PORTO, M.C.M. Efeito do déficit hídrico da água na produção de raízes de mandioca. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.17, n.1, p.121-124, 1982.

OLIVEIRA, E. P. **Irradiação gama das rações do Exército Brasileiro**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Nuclear), Rio de Janeiro, Instituto Militar de Engenharia, 1998. 46 p.

OLIVEIRA, S. E. M. **Determinação do Valor D<sub>10</sub> para *Escherichia coli* O157:H7 em diferentes meios de cultura**. Instituto Militar de Engenharia, Dissertação (mestrado), Rio de Janeiro, 2002.

OMS – Organização Mundial de Saúde. Inocuidad e idoneidad nutricional de los alimentos irradiados. **World Health Organization**, Genebra, 1995. 172p.

PAIVA, F. F. A. & MAIA, G. A. Estudo da acidez titulável em farinha de mandioca ( *Manihot esculenta* Crantz ) . **Rev. Bras. de Mandioca**, Cruz das Almas, BA, v.13, n. 2, p. 111-18, dez. 1994a.

PAIVA, F. F. A.. Conservação e Armazenamento de Raízes de Mandioca ( *Manihot esculenta* Crantz ) . **Informe Agropecuário**, EPACE (Empresa de Pesquisa Agropecuária do Ceará, v. 08, n.08, p. 17 – 21, 1994b.

PAULI, G. H; TARANTINO, L. M. FDA Regulatory Aspects of Food Irradiation. **Journal of Food Protection**, v. 58 (2), p. 209-212, Feb. 1995.

PEDROSO, A.; CEREDA, M. P. Analisando o mercado potencial das farinhas mistas. **Faxjornal**, Botucatu, nº 20, p. 2, 1996.

PORFIRIO, A. P.; VILPOUX, O. Uso de amido na indústria madeireira. **Faxjornal**, Botucatu, nº 21, p.2, 1996.

POTTER, N.N. & HOTCHKISS, J. H. **Food science**. CHAPMAN & HAU, Avi, 5ª ed., New York, p. 608, 1996.

PRUDENCIO, Y. C.; AL-HASSAN R. The food security stabilization roles of cassava in Africa. Oxford, **Food Policy**, vol. 19, nº 1, p.89 – 98, 1994.

RIBEIRO, M.R. O desenvolvimento sustentável e a agricultura. **Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.23, n.2, p.16-17, 1998.

RICHARDSON, T. Enzymes. In: FENNEMA, D.R. **Principles of food science: food chemistry**. New York: Marcel Dekker, 1976. v.4, cap. 6, p. 285-345.

ROTLAT, J. **A Tale of Two Cities**, New Sci., 1594: 48 – 50, 1988.

RUSSEL, J. B. General Chemistry, 2ª Ed. McGraw-Hill Inc., Humboldt University of Canada, 1994, 1237 – 1243p.

SAMPAIO, A. O.; FERREIRA FILHO, J.; ALMEIDA, P. A. Cultivo consorciado de mandioca para alimentação animal. **Revista Brasileira de Mandioca**, Cruz das Almas, vol.13, p.89 – 98, 1994.

SANCHEZ, P. A. El ambiente tropical. In: **Suelos del tropico; características e manejo**. San Jose, Porto Rico, IICA, cap. 1, p. 1-53, 1981.

SANTANA, D.P.; BAHIA FILHO, A.F.C. A ciência do solo e o desafio da sustentabilidade agrícola. **Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.23, n.2, p.19-23, 1998.

SANTOS, J.A.G.; TRIVELIN, P.C.; GOMES, J.C.; SANTOS, D.B. dos. Utilização do N da uréia pela mandioca *Manihot esculenta* Crantz como revelado pela técnica do  $^{15}\text{N}$ . In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 25. Viçosa, MG, 1995. **Resumos**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 1995. v.2, p.690-691.

SARMENTO, S.B.S. Produtos atuais e potenciais da mandioca. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MANDIOCA, 10., 1999, Manaus, AM. **Curso....** Manaus, AM: EMBRAPA-CPAA / SBM, 1999. p.1-27p.

SATIN, M. La irradiación de los alimentos. Ed. Acribia S.A. España, 1997, 175p.

SAXENA, R. N.; OTOMO, M. E.; IPEN (**Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Publ.**);Disponível em: < <http://www.ipen.br/>. Acesso em: 29 out. 2003.

SEAGRI, Secretaria da Agricultura, Irrigação e Reforma Agrária, Centro Administrativo da Bahia. Disponível em: <http://www.seagri.ba.gov.br/contatos.asp>. Acesso em 02/04/2004.

SILVA, A. S.; KHAN, A.S. Benefícios sociais da substituição de milho por raspa de mandioca em ração suína no estado do Ceará. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, vol. 32, nº 1, p.87 – 98, 1994.

SILVA, J. A. **Tópicos da Tecnologia de Alimentos**, Ed. Varela, São Paulo – S.P. p. 191 – 192, 2000.

SILVERSTEIN, R.M., BASSLER, G. C., MORRIL, T. C. **Spectrometric Identification of Organic Compounds**. 5ª Ed. John Wiley & Sons, Inc., 1994, 203 – 213p.

SILVESTRE, E. Z., NOVENBRE, A. D. L. C., SPAROVEK, G. Energia Nuclear na Agricultura. **Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA), USP – Piracicaba - São Paulo**, p. 01 – 03, 1999.

SOUZA, A. da S.; DANTAS, J.L.L.; GOMES, J. de C.; CALDAS, R.C.; SOUZA, J. da S.; SOUZA, L. da S. Adubação verde na cultura da mandioca. In: EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Mandioca e Fruticultura (Cruz das Almas, BA). **Relatório técnico anual do Centro Nacional de Pesquisa de Mandioca e Fruticultura - 1982**. Cruz das Almas, BA: 1983. p.140-142.

SOUZA, A. da S.; MATTOS, P.L.P. de; ALMEIDA, P.A. de. **Material de plantio: poda, conservação, preparo e utilização**. Cruz das Almas, BA: EMBRAPA-CNPMPF, 1990. 42p. nº 7. **SBM**, Cruz das Almas, BA, 1990.

SRIROTH, K.; PIYACHOMKWAN, K.; CHOTINEERANAT, S.; CHOLLAKUP, R.; SANTISOPASRI, V.; OATES, C. G. Impact of drought during early growth on cassava starch quality. In: CARVALHO, L.

J. C. B.; THRO, A. M.; VILARINHOS, A. D. **Cassava: biotechnology**. Brasília: EMBRAPA. Recursos Genéticos e Biotecnologia, 2000. p. 367-376.

TAKATSU, A.; FUKUDA, C.; PERIN, S. Epidemiological aspects of bacterial blight of cassava in Brazil. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON DISEASES OF TROPICAL FOOD CROPS HELD, 1979, **Louvain-la-Neuve**, Belgium. p.141-150.

TANAKA, R.T.; ROCHA, B.V. da; CORREA, H.; GUEDES, G.A.A.; ANDRADE, A.M.S. Estudo sobre aplicação de diferentes níveis de fósforo, potássio e calagem na produção de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) em solo sob vegetação de cerrado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MANDIOCA, 1., Salvador, Ba, 1979. **Anais**. Brasília, DF: EMBRAPA-DID/SBM, 1981. v.1, p.307-315.

TAVARES, I.Q. Farinhas de mandioca. In: TECNOLOGIAS PARA O PROCESSAMENTO AGROINDUSTRIAL DA MANDIOCA, 1998, Cruz das Almas, BA. Cruz das Almas, BA: EMBRAPA-CNPMF/**SBM**, 1998. p. 56-77.

TELES, F. F. F.; Toxicidade Crônica da Mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) na África e América Latina. **Revista Brasileira de Mandioca**, Cruz das Almas (BA), v.14, n.1/2, 1995, p. 107 – 116.

THOMAS, M. H., ATWOOD, B.M., WIERBICKI, E., TAUB, I.A. Effect of radiation and conventional processing on thiamin content of pork. **J. Food Sci.** Chicago, 1981. v.46, p.824-828.

URBAIN, W. M. Food Irradiation – **Food Science and Technology A Series of Monographs**, Academic Press, New York, 1986. ISBN 0-12-709370-2. 349 p., 22 cm.

VANDERZANT, C.; SPLITTSTOESSER, D.F. Compendium of Methods for the Microbiological Examination of Foods. 3th ed. Washington, D.C.: American Public Health Association (APHA), 1992.

VAN LELYVELD, L. J.; DE BRUYN, J. A. Polyphenols, ascorbic acid and related enzyme activities associated with black heart in Cayenne pineapple fruit. **Agrochemophysica**, Pretoria, v. 9, n. 1, p. 1-6, Mar. 1977.

VENTURINI FILHO W. G.; CEREDA, M. P. Utilização de produtos de mandioca em cervejaria. **Faxjornal**, Botucatu, nº 2, p. 2, 1995.

VILELA, E.R.; FERREIRA, M.E. Tecnologia de produção e utilização do amido de mandioca. **Informe agropecuário**, Belo Horizonte, v.13, n.145, p.69-73, 1987.

VILPOUX, O. A Mandioca uma cultura com grande potencial, ainda mal explorado. **Faxjornal**. Botucatu, nº 27, 1996, 2p.

VITAL, H.C.; PIRES, L., F., G.; LIMA, R., Q.e VELLOZO, S.;O. Experimentos dosimétricos no irradiador gama do IPE. Trabalho **ENAN**, Rio de Janeiro, 2000.

VITAL, H. C. **Programa computacional para cálculo do tempo de exposição.** Comunicação pessoal, Instituto de Projetos Especiais / Centro Tecnológico do Exército, Rio de Janeiro, 2001.

WANG, S. H.; CARVALHO, V. D.; CHALFOUN, S. M. Armazenamento Pós-Colheita de Mandioca: Influencia da Composição Química de Raízes de Cultivares de Mandioca sobre a deterioração pós-colheita. **Revista Brasileira de Mandioca**, v.01, nº 01, p. 16 – 23, 1982.

WHEATLEY, C. C.; GOMEZ, G. Evaluation of some quality characteristics in cassava storage roots. **Qualitas Plantarum**, Netherlands, v. 35, n. 2, p. 121-129, 1985.

WILLARD, H. H.; MERRITT, L. L.; DEAN, J.A., **Instrumental Methods of Analysis**, Ed. Fundação Calouste Gulbenkian, New York, p. 204 –205, 1974.

ZEIGER, E. ; TAIZ, L **Plant physiology**. California, The Benjamin/Cummings Publishing Co., 1998, 559 p.