

**QUALIDADE DE MORTADELAS
FORMULADAS COM DIFERENTES NÍVEIS
DE NITRITO E DOSES DE RADIAÇÃO**

MONALISA PEREIRA DUTRA

2009

MONALISA PEREIRA DUTRA

**QUALIDADE DE MORTADELAS FORMULADAS COM DIFERENTES
NÍVEIS DE NITRITO E DOSES DE RADIAÇÃO**

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

Orientador

Prof. Eduardo Mendes Ramos

LAVRAS
MINAS GERAIS - BRASIL
2009

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

Dutra, Monalisa Pereira.

Qualidade de mortadelas formuladas com diferentes níveis de nitrito e doses de radiação / Monalisa Pereira Dutra. – Lavras : UFLA, 2009.

156 p. : il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2009.

Orientador: Eduardo Mendes Ramos.

Bibliografia.

1. Mortadela. 2. Radiação Gama. 3. Redução de Nitrito. 4. Parâmetros de qualidade. 5. Produtos cárneos. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 664.907

MONALISA PEREIRA DUTRA

**QUALIDADE DE MORTADELAS FORMULADAS COM DIFERENTES
NÍVEIS DE NITRITO E DOSES DE RADIAÇÃO**

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

APROVADA em 18 de setembro de 2009

Profª. Alcinéia de Lemos Souza Lemos IFET/SE/MG

Dr. Paulo Rogério Fontes UFV

Prof. Eduardo Mendes Ramos
UFLA
(Orientador)

LAVRAS
MINAS GERAIS – BRASIL

AGRADECIMENTOS

A DEUS, por iluminar a minha vida.

Ao meu orientador, Prof. Eduardo Mendes Ramos, por essa orientação, por todo aprendizado e, principalmente, por ter depositado em mim confiança, apoio e incentivo, meus mais sinceros agradecimentos.

Aos membros da banca examinadora, professores Alcinéia de Lemos Souza Ramos e Paulo Rogério Fontes, pelas valiosas e imprescindíveis contribuições ao trabalho.

Em especial, agradeço a minha mãe, Maria, que sempre me deu toda força de que precisei em todos os momentos da minha vida. Ao meu pai, Carolino, que, com seu jeito simples, me ensinou o valor da humildade. Aos meus irmãos: Eronildes, Edmilso, Maria de Fátima e José Carlos, pelo carinho e constante incentivo. Aos meus sobrinhos: Breno, Marjorie, Ítalo, Brenda, Júnior, Juliano e Felipe, por representarem um estímulo de vida para mim.

Ao meu noivo, Cássio Andrade e Sousa, por ser meu alicerce e meu companheiro sempre. Foi uma pessoa de fundamental importância na concretização deste sonho. Obrigada por toda compreensão e carinho, meu amor. Meus mais sinceros agradecimentos.

Ao Sr. Geraldo Tadeu, à Sra. Zeli, a Gisele e a Maria Clara, pela amizade e pelo carinho com que sempre me receberam em sua casa.

As minhas amigas que me acompanharam e me ajudaram muito nesta jornada: Érika, Jacyara e Gisele, meus eternos agradecimentos.

Ao professor Raimundo Alberto, por estar sempre alegrando a nossa rotina do laboratório, apoiando e incentivando.

A Lara, Jaciara e Isabela, pela valiosa ajuda durante a execução do experimento.

A todos os amigos de trabalho do Laboratório de Tecnologia de Carnes e pescados da UFPA, pela convivência diária em nosso segundo lar.

A todos da Planta Piloto de Carnes e Derivados da Universidade Federal de Viçosa (UFV), especialmente ao professor Lúcio Alberto de Miranda Gomide e do Laboratório de Irradiação Gama do Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN/CENEN), em especial ao doutor Alexandre Leal.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), pela concessão da bolsa de estudos, viabilizando financeiramente a minha permanência no curso.

À Universidade Federal de Lavras e ao Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos, por me proporcionarem esta experiência.

A todos que, de alguma forma, participaram deste trabalho e da minha vida, meus sinceros agradecimentos.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE FIGURAS.....	i
LISTA DE TABELAS.....	iv
RESUMO GERAL	vii
GENERAL ABSTRACT.....	ix
CAPÍTULO 1: Qualidade de mortadelas formuladas com diferentes níveis de nitrito e doses de radiação.....	1
1 Introdução	2
2 Referencial Teórico.....	4
2.1 Nitrito em produtos curados	4
2.1.1 Formação da cor característica.....	4
2.1.2 Sabor e aroma	7
2.1.3 Ação bacteriostática	9
2.1.4 Ação antioxidante	12
2.2 Riscos da utilização de nitrito.....	13
2.3 Mortadelas	15
2.4 Produtos cárneos com menores teores de nitrito.....	16
2.5 Radiação de alimentos	18
2.5.1 Legislação de produtos irradiados	20
2.5.2 Irradiação de produtos cárneos	22
2.5.3 Efeitos da irradiação sobre a qualidade de produtos cárneos.....	23
3 Referências Bibliográficas.....	27
CAPÍTULO 2: Efeito da radiação gama e dos níveis de nitrito sobre a qualidade de mortadelas	37
1 Resumo	38
2 Abstract.....	39

3	Introdução	40
4	Material e Métodos	43
4.1	Formulação e processamento das mortadelas	43
4.2	Irradiação dos produtos.....	44
4.3	Procedimentos analíticos	45
4.3.1	Composição centesimal	45
4.3.2	Determinação do pH	45
4.3.3	Determinação da atividade de água (aa)	46
4.3.4	Concentração residual de nitrito de sódio (NaNO ₂).....	46
4.3.5	Pigmentos heme totais (PHT)	47
4.3.6	Pigmentos nitrosos (PHN)	47
4.3.7	Cor objetiva	48
4.3.8	Oxidação lipídica índice de (TBARs).....	49
4.3.9	Textura objetiva	49
4.4	Análises estatísticas	50
5	Resultados e Discussão	51
5.1	Composição centesimal	51
5.2	Determinação do pH	52
5.3	Atividade de água (aa)	52
5.4	Concentração residual de nitrito de sódio (NaNO ₂).....	54
5.5	Pigmentos nitrosos (PHN) e pigmentos heme totais (PHT)	58
5.6	Cor objetiva	62
5.7	Oxidação lipídica índice de (TBARs).....	66
5.8	Textura objetiva	67
6	Conclusões	70
7	Referências Bibliográficas	71
	CAPÍTULO 3: Efeito da irradiação gama sobre a qualidade de mortadelas elaboradas com diferentes níveis de nitrito armazenadas sob refrigeração	78

1	Resumo	79
2	Abstract.....	80
3	Introdução	81
4	Material e Métodos	85
4.1	Formulação e processamento das mortadelas	85
4.2	Irradiação dos produtos.....	86
4.3	Procedimentos analíticos	87
4.3.1	Determinação do pH.....	87
4.3.2	Concentração residual de nitrito de sódio (NaNO ₂).....	87
4.3.3	Pigmentos heme totais (PHT).....	88
4.3.4	Pigmentos nitrosos (PHN)	89
4.3.5	Cor objetiva	89
4.3.6	Oxidação lipídica (índice de TBARs).....	90
4.3.7	Textura objetiva	90
4.4	Análises estatísticas	91
5	Resultados e Discussão	92
5.1	Determinação do pH	92
5.2	Concentração residual de nitrito de sódio (NaNO ₂).....	94
5.3	Pigmentos heme totais (PHT) e pigmentos nitrosos (PHN)	98
5.4	Cor objetiva	108
5.5	Oxidação lipídica (índice de TBARs).....	121
5.6	Textura objetiva	125
6	Conclusões.....	130
7	Conclusão Geral.....	131
8	Referências Bibliográficas	132
	ANEXOS	141

LISTA DE FIGURAS

	Página
Capítulo 1	
FIGURA 1 Radura: símbolo utilizado em produtos irradiados.....	21
Capítulo 3	
FIGURA 1 Variação dos valores de pH de mortadelas durante o período de armazenamento sob refrigeração (4°C).....	93
FIGURA 2 Efeito dos níveis de adição de nitrito de sódio (NO ₂ Na) sobre os valores de nitrito residual (mg/kg) de mortadelas, durante o armazenamento refrigerado (4°C): (◆) controle (sem adição de nitrito); (●) 75 mg de NO ₂ /kg; e (▲) 150 mg de NO ₂ /kg.....	94
FIGURA 3 Efeito das doses de irradiação gama sobre os valores de nitrito residual (mg/kg) de mortadelas, durante o armazenamento refrigerado (4°C): (◆) controle (0 kGy); (●) 7,5 kGy; e (▲) 15 kGy.....	97
FIGURA 4 Efeito dos níveis de nitrito e doses de irradiação gama sobre os valores de pigmentos heme totais (µg de hematina ácida/g) de mortadelas, durante o armazenamento refrigerado (4°C): (◆) controle (sem adição de nitrito); (●) 75 mg de NO ₂ /kg; e (▲) 150 mg de NO ₂ /kg.....	99
FIGURA 5 Efeito dos níveis de nitrito e doses de irradiação gama sobre os valores de pigmentos heme nitrosos (µg de nitrosohematina/g) de mortadelas, durante o armazenamento refrigerado (4°C): (◆) controle (sem	

	adição de nitrito); (●) 75 mg de NO ₂ /kg; e (▲) 150 mg de NO ₂ /kg.....	102
FIGURA 6	Efeito dos níveis de nitrito e doses de irradiação gama sobre os percentuais de pigmentos heme totais convertidos a nitrosos em mortadelas, durante o armazenamento refrigerado (4°C): (◆) controle (sem adição de nitrito); (●) 75 mg de NO ₂ /kg; e (▲) 150 mg de NO ₂ /kg.....	105
FIGURA 7	Efeito dos níveis de nitrito e doses de irradiação gama sobre os índices de vermelho (a*) de mortadelas, durante o armazenamento refrigerado (4°C): (◆) controle (sem adição de nitrito); (●) 75 mg de NO ₂ /kg; e (▲) 150 mg de NO ₂ /kg.....	108
FIGURA 8	Efeito dos níveis de nitrito e doses de irradiação gama sobre o ângulo de tonalidade (h*) de mortadelas, durante o armazenamento refrigerado (4°C): (◆) controle (sem adição de nitrito); (●) 75 mg de NO ₂ /kg; e (▲) 150 mg de NO ₂ /kg.....	113
FIGURA 9.	Efeito dos níveis de nitrito sobre os índices de amarelo (b*) de mortadelas, durante o armazenamento refrigerado (4°C): (◆) controle (sem adição de nitrito); (●) 75 mg de NO ₂ /kg; e (▲) 150 mg de NO ₂ /kg.....	115
FIGURA 10	Efeito dos níveis de nitrito sobre a saturação (C*) de mortadelas, durante o armazenamento refrigerado (4°C): (◆) controle (sem adição de nitrito); (●) 75 mg de NO ₂ /kg; e (▲) 150 mg de NO ₂ /kg.....	117
FIGURA 11	Efeito das doses de irradiação (kGy) sobre a saturação (C*) de mortadelas, durante o armazenamento refrigerado (4°C): (◆) controle (não irradiada); (●) 7,5 kGy; e (▲) 15	

	kGy.....	118
FIGURA 12	Varição dos valores de luminosidade (L*) de mortadelas, durante o período de armazenamento refrigerado (4°C).....	119
FIGURA 13	Varição dos índices de TBARs (mg MDA/kg) de mortadelas, durante o período de armazenamento refrigerado (4°C).....	122
FIGURA 14	Varição dos parâmetros de textura objetiva de mortadelas, durante o armazenamento refrigerado (4°C): (♦) dureza (kg); (●) flexibilidade (mm) e (▲) mastigabilidade (kg.mm).....	127
FIGURA 15	Varição dos parâmetros de textura objetiva de mortadelas, durante o armazenamento refrigerado (4°C): (♦) fraturabilidade (10 ⁻² .kg); (●) coesividade e (▲) adesividade (10 ⁻² .kg.mm).....	127

LISTA DE TABELAS

	Página
Capítulo 2	
TABELA 1	Formulação utilizada para a elaboração das mortadelas..... 44
TABELA 2	Proteína \pm desvio padrão) de mortadelas elaboradas com diferentes níveis de nitrito..... 51
TABELA 3	Atividade de água (aa) de mortadelas submetidas a diferentes doses de irradiação*..... 53
TABELA 4	Concentração de nitrito residual em mortadelas elaboradas com diferentes níveis de nitrito..... 56
TABELA 5	Concentração de pigmentos nitrosos (PNO) e percentual de conversão (%CONV) em mortadelas elaboradas com diferentes níveis de nitrito..... 59
TABELA 6	Concentração de pigmentos heme totais (PHT) em mortadelas submetidas a diferentes doses de irradiação..... 61
TABELA 7	Média \pm desvio padrão) dos índices de cor objetiva de mortadelas elaboradas com diferentes níveis de nitrito..... 64
TABELA 8	Níveis de TBARs (mg de malonaldeído/kg) de mortadelas elaboradas com diferentes níveis de nitrito e diferentes doses de irradiação..... 66
Capítulo 3	
TABELA 1.	Formulação utilizada para a elaboração das mortadelas 86
TABELA 2	Equações ajustadas e respectivos coeficientes de regressão (R^2) para valores de nitrito residual (\hat{y} , em mg/kg) de mortadelas elaboradas com diferentes níveis de nitrito, durante o armazenamento refrigerado (x , em dias)..... 95

TABELA 3	Equações ajustadas e respectivos coeficientes de regressão (R^2) para valores de nitrito residual (\hat{y} , em kGy) de mortadelas irradiadas por diferentes doses, durante o armazenamento refrigerado (x , em dias).....	97
TABELA 4	Equações ajustadas e respectivos coeficientes de regressão (R^2) para valores de pigmentos heme totais (\hat{y} , em μg de hematina ácida/g), durante armazenamento refrigerado (x , em dias) de mortadelas elaboradas com diferentes níveis de nitrito e submetidas a diferentes doses de irradiação.....	101
TABELA 5	Equações ajustadas e respectivos coeficientes de regressão (R^2) para valores de pigmentos heme nitrosos (\hat{y} , em μg de nitrosohematina/g), durante armazenamento refrigerado (x , em dias) de mortadelas elaboradas com diferentes níveis de nitrito e submetidas a diferentes doses de irradiação.....	104
TABELA 6	Equações ajustadas e respectivos coeficientes de regressão (R^2) para os percentuais de pigmentos heme totais convertidos a nitrosos em (\hat{y} , %), durante armazenamento refrigerado (x , em dias) de mortadelas elaboradas com diferentes níveis de nitrito e submetidas a diferentes doses de irradiação.....	107
TABELA 7	Equações ajustadas e respectivos coeficientes de regressão (R^2) para os índices de vermelho (\hat{y}), durante armazenamento refrigerado (x , em dias) de mortadelas elaboradas com diferentes níveis de nitrito e submetidas a diferentes doses de irradiação.....	110
TABELA 8	Equações ajustadas e respectivos coeficientes de regressão (R^2) para ângulo de tonalidade (\hat{y}), durante armazenamento refrigerado (x , em dias) de mortadelas elaboradas com	

	diferentes níveis de nitrito e submetidas a diferentes doses de irradiação.....	114
TABELA 9	Equações ajustadas e respectivos coeficientes de regressão (R^2) para valores de índice de amarelo (\hat{y}), durante o armazenamento refrigerado (x , em dias) de mortadelas elaboradas com diferentes níveis de nitrito.....	116
TABELA 10	Equações ajustadas e respectivos coeficientes de regressão (R^2) para a saturação (\hat{y}), durante armazenamento refrigerado (x , em dias) de mortadelas elaboradas com diferentes níveis de nitrito durante.....	117
TABELA 11	Equações ajustadas e respectivos coeficientes de regressão (R^2) para a saturação (\hat{y}), durante armazenamento refrigerado (x , em dias) de mortadelas irradiadas com diferentes doses.....	118
TABELA 12	Luminosidade (L^*) de mortadelas elaboradas com diferentes níveis de nitrito de sódio.....	120
TABELA 13	Índice de TBARs (mg MDA/kg) de mortadelas submetidas a diferentes doses de irradiação.....	123
TABELA 14	Valores de coesividade (COES) e adesividade (ADES) de mortadelas submetidas a diferentes doses de irradiação gama.....	126
TABELA 15	Equações ajustadas e respectivos coeficientes de regressão (R^2) para ângulo de tonalidade (\hat{y}), durante armazenamento refrigerado (x , em dias) de mortadelas elaboradas com diferentes níveis de nitrito e submetidas a diferentes doses de irradiação.....	128

RESUMO GERAL

DUTRA, Monalisa Pereira. **Qualidade de mortadelas formuladas com diferentes níveis de nitrito e doses de radiação**. 2009. 156p. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.¹

Este trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar os efeitos da aplicação de diferentes doses de irradiação 0, 7,5 e 15 kGy e níveis de nitrito 0, 75 e 150 (mg/kg) sobre a composição centesimal, o pH, a atividade de água (aa), a cor objetiva, a textura objetiva, a concentração residual de nitrito, os pigmentos totais, os pigmentos nitrosos e o índice de TBARS de mortadelas armazenadas a 4°C e analisadas nos tempos 0, 14, 28, 42, 56 e 70 dias após a irradiação. Para a composição centesimal, apenas o teor de proteína foi afetado pelos níveis de nitrito ($P < 0,05$), sendo observados valores maiores com a sua adição. A irradiação e a adição de nitrito afetaram o pH das amostras com o tempo. Maiores doses de radiação promoveram ($P < 0,05$) maiores valores de atividade de água nas mortadelas. Para os valores de a^* e h^* , também houve interação da irradiação e da adição de nitrito, mas, na decomposição, constatou-se que esses valores mantiveram constantes para a adição de nitrito. Para o valor b^* , houve efeito da adição de nitrito com o tempo, mas as amostras apresentaram valores muito próximos. Para C^* , houve interação tanto da adição de nitrito como da dose de irradiação com o tempo, porém, as amostras apresentaram valores muito próximos. Para o L^* , houve efeito da adição de nitrito, tendo as amostras que continham maior quantidade de nitrito apresentado menor valor de luminosidade. Dos parâmetros de textura, apenas a adesividade e a coesividade foram afetadas pela irradiação, apresentando valores maiores nas doses menores. Estes e os demais parâmetros foram afetados pelo tempo de armazenamento refrigerado. Os valores de nitrito residual reduziram com o tempo, sendo, no entanto, o comportamento dessa redução afetado pela adição de nitrito, bem como pela irradiação. Porém, estes valores foram mantido em níveis acima de 30 mg/kg, mesmo para amostras adicionadas de 75 mg/kg de nitrito. Os pigmentos nitrosos e totais sofreram interação da irradiação e da adição de nitrito, mas o percentual de conversão foi mantido em cerca de 50%-60%, mantendo a cor das amostras. Por fim, os valores de TBARS foram afetados pela dose de irradiação, apresentado maiores valores quando doses maiores foram aplicadas. No entanto, com o armazenamento refrigerado, não houve efeito dos níveis de nitrito ou dose de irradiação, seja por interação ou

1 Comitê de Orientação: Prof. Eduardo Mendes Ramos - UFLA (Orientador), Alexandre S. Leal – CDTN/CENEN

apenas pelos efeitos isolados. Portanto, a irradiação em até 15 kGy não promoveu efeitos deletérios nas propriedades físico-químicas de mortadelas, independente da adição ou não de nitrito de sódio. Conclui-se que, mesmo sem a aplicação da irradiação, é possível produzir mortadelas com adição de 75 mg/kg de nitrito, metade dos níveis de adição de nitrito recomendados pela legislação brasileira, sem que a cor seja afetada ou a segurança quanto ao *C. botulinum* comprometida.

GENERAL ABSTRACT

DUTRA, Monalisa Pereira. **Quality of Bologna-type sausage formulated with different levels of nitrite and radiation doses**. 2009. 156p. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.²

This work was conducted with the objective of evaluating the effects of the application of different irradiation doses (0, 7.5 and 15 kGy) and nitrite levels (0, 75 and 150 mg/kg) on the centesimal composition, pH, water activity (W_a), objective color, objective texture, concentration of residual nitrite, total pigments, nitrous pigments and the TBARS index of mortadellas stored at 4°C and analyzed at 0, 14, 28, 42, 56 and 70 days after the irradiation. For the centesimal composition, only the protein level was affected by the nitrite levels ($P < 0.05$), higher values being observed with its addition. The irradiation and the nitrite addition affected the pH of the samples with time. Higher radiation doses promoted ($P < 0.05$) higher water activity values in the mortadelas. For the values of a^* and h^* , there was also an interaction of the irradiation and the nitrite addition, but, in the decomposition, it was verified that those values maintained constant for the nitrite addition. For the value b^* , there was an effect of the nitrite addition with time, but the samples presented very close values. For C^* , there was interaction of the nitrite addition as well as the irradiation dose with time, however, the samples presented very close values. For L^* , there was an effect of the nitrite addition, the samples that contained higher amount of nitrite presented lower brightness value. As to the texture parameters, only the adhesiveness and the cohesivity were affected by the irradiation, presenting higher values at the lower doses. These and the other parameters were affected by the duration of refrigerated storage. The residual nitrite values reduced with time, however, the behavior of that reduction was affected by the nitrite addition, as well as by the irradiation. However, these values were maintained at levels above 30 mg/kg, even for samples added with 75 nitrite mg/kg. The nitrous and total pigments underwent interaction of the irradiation and the nitrite addition, but the conversion percentage was maintained at about 50% - 60%, maintaining the color of the samples. Finally, the values of TBARS were affected by the irradiation dose, presenting higher values when higher doses were applied. However, with the refrigerated storage, there was no effect of the nitrite levels or irradiation dose, for interaction or only for the isolated effects.

² Guidance Committee: Prof. Eduardo Mendes Ramos - UFLA (Adviser), Alexandre S. Leal – CDTN/CENEN

Therefore, the irradiation at up to 15 kGy did not promote harmful effects in the physiochemical properties of mortadelas, independent of the addition or not of nitrite of sodium. It is concluded that, even without the application of the irradiation, it is possible to produce mortadellas with half the levels (75 mg/kg) of nitrite addition recommended by the Brazilian legislation, without the color being affected or the safety compromised as to *C. botulinum*.

CAPÍTULO 1

QUALIDADE DE MORTADELAS FORMULADAS COM DIFERENTES NÍVEIS DE NITRITO E DOSES DE RADIAÇÃO

1 INTRODUÇÃO

Durante séculos, os sais de nitrito e nitrato são adicionados aos produtos cárneos para conferir a cor rósea e o sabor característicos de produtos curados cozidos, além de prevenir alterações desagradáveis oriundas da rancidez oxidativa dos lipídios, como a formação do *warmed over flavor* (WOF) e inibir o crescimento de microrganismos deteriorantes e patogênicos, atuando especialmente contra o crescimento e a produção de toxina do *Clostridium botulinum* (Cassens, 1995, 1997; Cammack et al., 1999).

Embora estudos tenham mostrado que cerca de 40 mg/kg de nitrito sejam suficientes para conferir cor, aroma e sabor de produtos curados, valores inferiores a 150 mg/kg têm sido relatados como insuficientes para prevenir o crescimento e a produção de toxina pelo *Clostridium* sp. Por esse motivo, as autoridades sanitárias de diversos países permitem valores residuais máximos de 150 mg de nitrito/kg em produtos curados.

Cada país estabelece a quantidade máxima de nitrito a ser utilizada em produtos cárneos curados, sendo esta regulamentação baseada na quantidade mínima necessária para prevenir a produção da toxina pelo *C. botulinum* e para minimizar qualquer risco em potencial. Segundo Tompkin (1986), adições de 50 a 150 ppm de nitrito são necessárias para a efetiva proteção contra o crescimento do *C. botulinum* e a subsequente produção de toxina, sendo dependente de inúmeros fatores, como pH e atividade de água (aa) do produto, temperatura de armazenamento, tipo de carne e teor de ferro disponível, ingredientes/aditivos adicionados sal, ascorbatos/eritorbatos, entre outros) e concentrações de nitrito residual. No Brasil, a quantidade residual máxima de nitrito, expressa como nitrito de sódio, permitida para produtos curados, é de 150 ppm (Brasil, 1998).

Devido à possibilidade de formação de compostos cancerígenos em produtos curados, pesquisadores têm buscado formas alternativas para substituir ou, pelo menos, reduzir a quantidade de nitrito adicionada no processo de cura. Enquanto as pesquisas não apontam um substituto satisfatório, especialmente como um agente antibotulismo, o nitrito tem sido o ingrediente mais aceitável ainda disponível, pela excelente segurança observada nos produtos de carne comercialmente fabricados.

No entanto, existe crescente preocupação com o emprego de nitritos em produtos cárneos curados, devido ao risco da formação de N-nitrosaminas, compostos comprovadamente cancerígenos, com propriedades mutagênicas e teratogênicas, formados pela reação de derivados do nitrito com aminas secundárias em alimentos proteicos como a carne. Durante décadas, vários trabalhos têm indicado a presença consistente de N-nitrosaminas em produtos curados.

A irradiação gama é reconhecida como o melhor método para a destruição de microrganismos patogênicos e deterioradores, uma vez que não compromete as propriedades nutricionais e sensoriais de qualidade do alimento, e seu uso vem aumentando, gradualmente, em todo o mundo. Até há pouco tempo, por questões de segurança, era aconselhada a aplicação de doses de irradiação menores do que 10 kGy, mas, atualmente, sabe-se que qualquer dose aplicada que não altere as propriedades funcionais e ou sensoriais dos alimentos é considerada segura.

Com a realização deste trabalho objetivou-se estudar os efeitos da aplicação de diferentes doses de irradiação gama (0, 7,5 e 15 kGy) sobre os atributos de qualidade de mortadelas elaboradas com níveis crescentes de nitrito (0, 75 e 150 mg/kg). Com esse propósito, os produtos elaborados foram caracterizados quanto a parâmetros físico-químicos de importância tecnológica, sendo avaliados durante o armazenamento sob refrigeração.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Nitrito em produtos curados

A adição de nitrito, de sódio ou de potássio, nas carnes curadas tem três finalidades básicas: contribuir para o desenvolvimento de sabor e cor característicos de carnes curadas, inibir o desenvolvimento de *Clostridium botulinum* e outros microrganismos e atuar como antioxidante (Cassens, 1995).

2.1.1 Formação da cor característica

A mioglobina (Mb) é o principal pigmento na carne associado com a cor, sendo a hemoglobina (Hb), o pigmento do sangue, o segundo em importância. O componente cromóforo responsável pela absorção de luz e cor destes pigmentos é o grupo heme e, uma vez que esta porção é idêntica na molécula de mioglobina e de hemoglobina, ambos os pigmentos sofrem as mesmas reações de cor, embora, às vezes, em taxas diferentes (Ramos & Gomide, 2007).

O grupo heme das moléculas de mioglobina e hemoglobina tem estrutura tetrapirrólica cíclica, denominada anel de porfirina. Trata-se de uma estrutura plana com uma molécula de ferro firmemente ligada ao centro do anel por ligações covalentes ordinárias com os átomos de nitrogênio dos quatro grupos pirrólicos. O átomo de ferro encontra-se ligado à globina por meio de um resíduo de histidina proximal (His F8) da cadeia polipeptídica, possuindo seis valências de coordenação, sendo encontrado na forma ferrosa (Fe^{+2} , reduzido) ou férrica (Fe^{+3} , oxidado). A sexta valência, perpendicular, é livre quando o estado do ferro é reduzido e serve como sítio de ligação para vários átomos ou pequenas moléculas, permitindo a geração de derivados da hemoglobina ou mioglobina, de colorações e estabilidades diversas (Xiong, 1997; Nelson & Cox, 2000). Na presença de altas concentrações de oxigênio, por exemplo, este se liga

à molécula de ferro na sexta posição, formando o pigmento de oximioglobina ($\text{MbFe}^{+2}\text{O}_2$), responsável pela cor vermelho-brilhante da carne fresca (Aberle et al., 2001).

O nitrito (NO_2), tanto de potássio quanto de sódio, é o agente ativo de cura responsável pela formação da cor, sabor e aroma característicos de produtos cárneos. Em contraste, o nitrato (NO_3) não é um agente ativo no processo de cura, sendo convertido a nitrito pela ação de bactérias nitrato redutoras, naturalmente presentes na carne, durante o processamento (Varnan & Sutherland, 1995).

Uma vez que o nitrito é um agente oxidante muito eficaz, a reação inicial na cura consiste na conversão da formas químicas da mioglobina em metamioglobina (MbFe^{+3}), pigmento de mioglobina com o ferro heme na forma oxidada e sem ligante na sexta posição e que confere uma coloração marrom à carne (Ramos & Gomide, 2007). No entanto, nas condições presentes na carne pH entre 5,5 e 6,0, o nitrito é convertido a ácido nitroso (HNO_2) e a óxido nítrico (NO), presentes em equilíbrio. O NO formado se combina com a porção heme da metamioglobina para originar o pigmento de nitrosometamioglobina ($\text{MbFe}^{+3}\text{NO}$), altamente instável e que é rapidamente reduzido à forma química de nitrosomioglobina ($\text{MbFe}^{+2}\text{NO}$), pigmento de cor vermelho-rosado característica de produtos curados crus (Mohler, 1982; Moller & Skibsted, 2002). O processo de redução de $\text{MbFe}^{+3}\text{NO}$ a $\text{MbFe}^{+2}\text{NO}$, bem como do NO_2 a NO, é realizado por um sistema redutor (NADH, glutatona, etc.) naturalmente presente no músculo (O'keefe & Hood, 1982).

Embora, na ausência de oxigênio, o pigmento de nitrosomioglobina seja muito estável, na presença de oxigênio a estabilidade do complexo $\text{MbFe}^{+2}\text{NO}$ é altamente dependente da taxa de dissociação do NO, uma vez que o oxigênio apenas reage com o NO livre, oxidando-o rapidamente a NO_2 . Dessa forma, o pigmento de nitrosomioglobina é considerado instável, uma vez que a

concentração de oxigênio, geralmente, é muito maior, substituindo o NO assim que este se dissocie da mioglobina (Livingston & Brown, 1981). Além disso, outros oxidantes reagem com o NO, convertendo-o novamente a nitrato (NO₃), que deverá ser convertido a nitrito (NO₂) e deste novamente a NO, para então reagir com a mioglobina, ilustrando a natureza cíclica de oxirredução das reações de cura (Mohler, 1982).

Uma forma de estabilização do complexo MbFe²⁺NO é a desnaturação da molécula de globina pelo aquecimento (50-60°C), formando o pigmento nitrosoemocromo, que apresenta cor rósea, característica de produtos curados cozidos (Ramos & Gomide, 2007). Quando a globina é desnaturada, a sua ligação com o grupo heme (sítio His F8) é rompida e substituída por outra molécula de NO ou por outro ligante nitrogenado. Essa nova ligação forma um complexo com maior estabilidade à oxidação e à dissociação do NO (Livingston & Brown, 1981).

Entretanto, os complexos mioglobina-NO nitrosomioglobina e nitrosoemocromo são fotossensíveis, ocorrendo a dissociação do NO da molécula de mioglobina na presença da luz. Assim, se nas condições de armazenamento o produto curado for exposto à luz e ao oxigênio, o NO dissociado será rapidamente oxidado a nitrito (NO₂) e o produto apresentará uma descoloração, conhecida como *fading*. Se, no entanto, não houver oxigênio presente, o NO não é oxidado e pode recombinar com o grupamento heme (Ramos & Gomide, 2007). Por isso, produtos curados exigem embalagens apropriadas que conferem proteção à luz e ou ao oxigênio embaladas a vácuo.

Uma vez que o nitrito interage com outros compostos na carne além da mioglobina (Mohler, 1982), o teor de nitrito residual é extremamente importante no produto para exercer suas funções. Segundo o mesmo autor, em sistemas modelos com carne suína, cerca de 65% do nitrito adicionado permanece na forma residual, embora esses valores dependam das condições do produto.

Entretanto, segundo Cassens (1997), apenas 10% a 20% do nitrito adicionado podem ser detectado analiticamente após o processamento de produtos curados e este nível gradualmente reduz-se com o armazenamento. Segundo Pardi et al. (1995), após sete dias de armazenamento, menos de 10% do nitrito permanece no produto. Em linguiça bovina, no entanto, Amin & Oliveira (2006) observaram que, após seis dias de armazenamento, cerca de 26% de nitrito ainda permanecia no produto.

Para que haja efetiva fixação da cor curada, quantidades suficientes de NO devem estar presentes. Dessa forma, a concentração de nitrito necessária para se obter a coloração característica de produtos cárneos curados varia de 30 a 50 mg/kg (Hersom & Hulland, 1984; Müller, 1991).

2.1.2 Sabor e aroma

O efeito sobre o sabor e o odor característico de produtos curados foi primeiramente pesquisado em 1940, quando foi documentado que o desenvolvimento desses atributos em bacon e presunto se devia à adição de nitrito à massa cárnea. Embora se saiba desta relação, as tentativas de se identificar os componentes específicos responsáveis pelo sabor da carne curada resultante da adição do nitrito não são conclusivas (Sindelar et al., 2007).

O sabor e o aroma da carne curada são, em parte, derivados dos mesmos compostos responsáveis pelo sabor e aroma da carne *in natura*, cuja sensação global é fortemente favorecida pelo cozimento. Acredita-se que o sabor da carne cozida seja oriundo de uma pequena quantidade de compostos, embora a quantidade total de compostos voláteis liberados com o cozimento seja superior a 1000 (Varnan & Sutherland, 1995).

Os compostos voláteis da carne que surgem com o aquecimento derivam de um grande número de reações entre compostos não-voláteis, tanto hidrossolúveis quanto lipossolúveis. Os principais precursores responsáveis pelo

aroma e sabor da carne são compostos de baixo peso molecular que incluem glicoproteínas, açúcares redutores, aminoácidos e seus produtos de degradação (Gray et al., 1981). Segundo Herz & Chang (1970), a ação do calor sobre a carne torna o seu sabor e aroma mais pronunciado, devido, entre outros fatores, à liberação dos precursores de sabor presentes na gordura, por acelerar a reação entre aminoácidos e açúcares redutores Reação de Maillard e por permitir uma mistura mais íntima de componentes hidro e lipossolúveis.

As substâncias sápidas da carne fresca permanecem íntegras com o calor ou formam novas substâncias sápidas não-voláteis e ou substâncias aromáticas voláteis. De forma similar, o processo de cozimento tanto pode conservar as substâncias odoríferas voláteis da carne fresca, como formar novas substâncias aromáticas voláteis e ou substâncias sápidas não-voláteis. Se a carne é adicionada de nitrito, pode-se pensar em outras tantas transformações com o aquecimento, podendo originar substâncias tanto ativas como inativas para o sabor e aroma (Mohler, 1982).

Embora o nitrito esteja intimamente relacionado com o sabor e o aroma da carne curada, as mudanças químicas responsáveis por suas características únicas ainda não são completamente conhecidas. Dessa forma, inúmeros pesquisadores têm tentado identificar os compostos voláteis produzidos durante o cozimento da carne. Nesse sentido, Cross & Ziegler (1965) reportaram que os compostos voláteis isolados de carnes curadas e não-curadas cozidas são qualitativamente similares, mas há diferenças quantitativas. Pentanal e hexanal, por exemplo, estão presentes em quantidades apreciáveis na carne cozida não-curada, enquanto a carne curada apresenta quantidades bem baixas.

Por cromatografia gasosa tem sido isolado um grande número de compostos voláteis, porém, é sempre difícil interpretar este tipo de resultados, uma vez que as diferenças de sabor poderiam ser simplesmente devido à presença de um determinado composto formado ou sua ausência ou, ainda, a

simples modificação das proporções relativas de alguns compostos (Mohler, 1982).

Embora o nitrito não esteja, até o momento, diretamente associado a nenhum componente de sabor ou aroma específico, é reconhecido que sua ação antioxidante exerce forte contribuição benéfica, embora de forma indireta, no sabor do produto (Gray et al., 1981; Varnan & Sutherland, 1995), uma vez que evita ou retarda a sua deterioração pela oxidação lipídica e consequente formação de compostos voláteis indesejáveis *off-flavor* (Shahidi & Pegg, 1991).

De forma geral, para se obter o sabor e o aroma característicos de produtos cárneos curados são necessárias concentrações de nitrito entre 20 a 50 mg/kg (Gray et al., 1981; Hersom & Hulland, 1984; Müller, 1991). MacDonald et al. (1980) reportaram que 50 mg/kg de nitrito é suficiente para que julgadores não treinados detectem o sabor de curado, sendo esta concentração suficiente para retardar a presença de sabores e odores desagradáveis em produtos curados armazenados por 7 dias, a 4°C.

No entanto, Hadden et al. (1975), em seu experimento com testes triangulares, mostraram que os julgadores preferiram amostras de produtos curados elaborados com teores de 156 e 200 mg/kg àquelas elaboradas com 20 mg/kg. Seus dados são consistentes com a constatação de que a cor, o aroma, o sabor e a aceitação global de produtos curados aumentam à medida que se aumenta a concentração de nitrito utilizada (Gray et al., 1981).

2.1.3 Ação bacteriostática

Vários estudos têm demonstrado a efetividade do nitrito como agente bacteriostático, inibindo o crescimento de diferentes bactérias, inclusive patogênicas. Microrganismos do gênero *Pseudomonas* e *Achromobacter*, por exemplo, são os principais responsáveis pela deterioração da carne fresca. Em carnes curadas, por outro lado, essa flora predominantemente gram-negativa de

saprófitas aeróbicas é substituída por bactérias gram-positivas facultativas do grupo ácido láctico (Shank et al., 1962).

Em produtos curados, o nitrito previne a germinação dos esporos de *Clostridium botulinum* e inibe o crescimento das células vegetativas que sobreviverem ao processamento térmico (Müller, 1991). Esta ação bacteriostática do nitrito sobre o *C. botulinum*, observado em vários produtos cárneos, é o principal efeito conservante atribuído a este composto.

O *Clostridium botulinum* é um bacilo gram-positivo, anaeróbio, esporulado e que produz uma potente neurotoxina que pode levar à morte. Seus esporos são as formas mais resistentes que se têm encontrado entre os agentes bacterianos, podendo tolerar temperaturas de 100°C por horas. A germinação dos esporos nos alimentos é promovida por condições anaeróbicas e, uma vez que a produção de toxina ocorre em alimentos com pH maior que 4,5 e elevada atividade de água durante o armazenamento, este microrganismo é especialmente importante em produtos cárneos (Cereser et al., 2008). De fato, o nome botulismo e, por conseguinte, do *C. botulinum*, deve-se a inúmeros casos de intoxicação alimentar botulínica em produtos cárneos embutidos em latim, *botulus* significa salsicha (Mohler, 1982).

As neurotoxinas botulínicas são as mais potentes toxinas conhecidas. Um grama é capaz de matar 30 milhões de camundongos, sendo 70 µg a dose letal (via oral) da toxina A estimada para um homem adulto de 70 kg. A neurotoxina atua nas junções neuromusculares, principalmente nos nervos periféricos, os quais possuem a acetilcolina como neurotransmissora, provocando paralisia funcional motora, sem a interferência da função sensorial. A toxina se liga na membrana nervosa, bloqueando a liberação de acetilcolina, causando paralisia flácida que evolui para a morte, devido à paralisia dos músculos respiratórios, sem desenvolvimento de lesões histológicas (Cereser et al., 2008).

O nitrito adicionado reage com a mioglobina e outros compostos presentes na carne e, dessa forma, boa parte da quantidade de nitrito adicionada é consumida por estas reações. Para que haja um controle eficaz sobre o *C. botulinum*, alguns autores consideraram necessários cerca de 10 mg/kg de nitrito residual no produto final. Valores de adição inferiores a 150 mg/kg são insuficientes para se alcançar este nível residual e, portanto, não previnem o desenvolvimento deste microrganismo (Cassens, 1997). No entanto, Townsend & Olson (1984) e Müller (1991) citam valores de adição entre 75 a 150 mg/kg de nitrito para ação conservante, sendo a ação contra *C. botulinum* garantida apenas com a adição combinada de 1,5% a 2,0% de sal (NaCl) e cozimento até temperatura de 71°C. Na ausência de sal, o efeito inibitório do nitrito de sódio contra microrganismos diminui, visto que foram necessários níveis de nitrito acima 400 a 800 mg/kg para a obtenção da ação protetora do nitrito contra microrganismos. Segundo os mesmos autores, o processo de cura contendo sal e nitrito de sódio a 3,5% e 150-170 mg/kg, respectivamente, foi muito mais eficaz do que o processo que contém um único composto atuando contra os microrganismos. Silliker et al. (1958) relataram que a adição de sal somente não garante a estabilidade microbiológica de produtos cárneos e sugeriram adição de sal e de nitrito de sódio no nível de 78 mg/kg em conjunto com a aplicação do tratamento térmico. Os mesmos autores concluíram que a estabilidade de carnes curadas *shelf-stable* deve-se ao efeito combinado do nitrito, do sal e do tratamento térmico, numa intensidade de aplicação que seja suficiente para impedir a formação de esporos.

O efeito essencial do nitrito é impedir a germinação dos *spores heat-injured*. Christiansen et al. (1973) relataram que a taxa de produção de toxina é dependente do nível de nitrito adicionado inicialmente à carne. Além disso, o nível de nitrito necessário para inibir a produção da toxina é dependente do nível inoculação dos esporos. Na temperatura de armazenamento de 7°C houve

ocorrência de esporos sem produção de toxinas em produtos não inoculados formulados sem a adição de nitrito. A baixos níveis de inoculação de esporos, a toxina foi confirmada em produtos com adição de 150 mg/kg do nitrito e, para o mais alto nível de inoculação, a toxina foi confirmada em produtos com adição de 400 mg/kg do nitrito. Entretanto, somente em 8 das 280 amostras foram determinadas crescimento botulínico nas carnes curadas. Entre os fatores que influenciaram no crescimento do *C. botulinum* estão o nível da salmoura, o pH, o nitrito residual, o nível da inoculação e a temperatura de armazenamento.

Embora os esporos de *C. botulinum* estejam presentes em níveis bastante baixos em alimentos, quando se avalia o risco de botulismo, o problema potencial remanesce. Fatores como probabilidade de esporos estarem presente no produto antes do tratamento são menos importantes do que a eficiência na remoção do microrganismo e ou na inibição da produção de toxina, particularmente em produtos que sofrerem abuso na temperatura de armazenamento.

2.1.4 Ação antioxidante

Outra participação importante do nitrito nos produtos cárneos parece ser o de retardar o aparecimento da rancidez oxidativa. Shahidi & Pegg (1991) relataram que o uso de 150 mg/kg de nitrito eliminou a oxidação lipídica em produtos cárneos por cerca de cinco semanas, tendo a adição de 50 e 25 mg/kg de nitrito reduzido os valores de TBARs índice analítico utilizado para medir o grau de oxidação, sendo que quanto maior o valor de TBAR maior a oxidação lipídica em 44% e 25%, respectivamente.

A ação antioxidante do nitrito se deve, provavelmente, à mesma reação responsável pelo desenvolvimento da cor. Os íons férricos (Fe^{+3}) da metamioglobina são catalisadores ativos da oxidação lipídica. Na reação dos pigmentos com o nitrito, o íon férrico é reduzido à forma ferrosa (Fe^{+2}), que não

funciona como catalisador (Townsend & Olson, 1984). Essa contribuição do nitrito aumenta a estabilidade do produto durante a estocagem, aumentando a vida de prateleira, além de reduzir o problema de *warmed-over-flavor* (sabor de requeimado) em produtos pré-cozidos (Araújo, 2004). Trabalhos recentes têm demonstrado, no entanto, que esse fenômeno é bastante complexo e nem todo ele está bem elucidado (Ahn et al., 1999; Jo et al., 1999; Jo & Ahn, 2000b; Sommers et al., 2001; Byun et al., 2002; Jo et al., 2002; Sommers & Fan, 2002; Jo et al., 2003; Cava et al., 2005).

2.2 Riscos da utilização de nitrito

Embora os conservantes permitidos em alimentos sejam considerados seguros, o nitrito em altas concentrações é indubitavelmente tóxico ao ser humano e, em doses de aproximadamente um grama, passa ser letal (Cassens, 1997). Os maiores riscos toxicológicos decorrentes da ingestão de nitratos e nitritos são a ocorrência de metaemoglobinemia no sangue e a formação de compostos N-nitrosos (Walters, 1984).

Em adultos saudáveis, os nitratos e os nitritos são absorvidos pelo trato gastrointestinal, sendo o nitrato rapidamente excretado pela via renal. Os nitritos, por sua vez, podem combinar-se com a hemoglobina, transformando-a em meta-hemoglobina, por processo de oxidação do íon ferroso a íon férrico no complexo porfirínico. A metaemoglobina (HbFe^{+3}) é incapaz de transportar oxigênio (Cortas & Wakid, 1991). Níveis de HbFe^{+3} de 10% podem produzir cianose assintomática e, com níveis entre 20% e 30%, há o aparecimento de cianose com sinais de hipoxia, astenia, dispneia, cefaleia, taquicardia e inconsciência. Concentrações em níveis superiores a 50% podem ser fatais (Boronat et al., 1982).

Embora a metaemoglobinemia seja, a princípio, o mais ameaçador efeito da exposição a nitrito, vários estudos sobre a alta exposição de nitrito têm sido

relacionados a compostos N-nitrosos, alguns dos quais são específicos e potencialmente carcinogênicos (Rywotycki, 2002; Eichholzer & Gutzwiller, 2003).

Compostos N-nitrosos e, em particular, as N-nitrosaminas são potentes carcinógenos, além de apresentarem ação teratogênica e mutagênica em animais de laboratório. As N-nitrosaminas podem ser formadas durante o processamento de alimentos, bem como *in vivo*, no trato gastrointestinal, pela nitrosação de aminas secundárias, as quais podem estar associadas com alto risco de câncer gástrico, hepático e de esôfago (Walters, 1984; Reyes, 1985; Silvestre & Gloria, 1989; Andrade, 2004).

As N-nitrosaminas podem ser formadas no alimento a partir de precursores nitrosáveis do próprio alimento e de agentes nitrosantes. Entre os precursores nitrosáveis, destacam-se as aminas, naturalmente presentes, principalmente em alimentos que possuem alto teor de proteínas (Andrade, 2004), como a carne.

O agente nitrosante mais importante na formação de N-nitrosaminas em alimentos é, provavelmente, o anidrido nitroso (N_2O_3), formado facilmente a partir do nitrito em solução aquosa e pH ácido. O N_2O_3 reage com aminas secundárias, por meio do par de elétrons não compartilhado do nitrogênio, para formar N-nitrosaminas (Reyes, 1985), numa reação denominada nitrosação.

A concentração residual de nitrito controla a formação de N-nitrosaminas em alimentos, visto que a velocidade de sua formação é diretamente proporcional ao quadrado da concentração de nitrito (Reyes, 1985; Hill, 1988). Além disso, a reação de nitrosação é favorecida em pH ácido, entre 2,5 e 3,5 e, uma vez que esta faixa de pH é semelhante àquela observada no estômago humano após a ingestão de alimentos, a formação de N-nitrosaminas *in vivo* torna-se um assunto de extrema importância (Reyes, 1985).

De modo geral, os alimentos crus tais como vegetais, carnes, peixes, frutas, cereais e produtos lácteos contêm baixos teores de N-nitrosaminas, muitas vezes próximos ao limite de detecção da metodologia analítica empregada. No entanto, o processo de cura, no qual se adiciona nitrito e ou nitrato pode elevar consideravelmente o nível de N-nitrosaminas (Cassens, 1997).

2.3 Mortadelas

Apesar de ser bastante popular, antigamente, a mortadela tinha um conceito de produto barato e consumido por pessoas de baixa renda. Contudo, com o passar dos anos, o produto ganhou muita credibilidade e adeptos em todas as camadas sociais do Brasil, tornando-se um produto requintado. Embora não exista nenhum levantamento oficial com índice de produção e vendas nacionais, estimativas de analistas do setor de alimentos apontam para uma produção que ultrapassa a 100 mil toneladas anuais no país.

De acordo com o Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade de Mortadela, este é um produto cárneo industrializado, obtido de uma emulsão das carnes de uma ou mais espécies de animais de açougue, adicionado ou não de toucinho, ingredientes, embutido em envoltório natural ou artificial de diferentes formas, submetido ao tratamento térmico adequado, defumado ou não (Brasil, 2000).

O limite máximo estabelecido para adição de Carne Mecanicamente Separada (CMS) é de 60% para mortadelas sem denominação, de 40% para mortadelas de ave e de 20% para mortadelas tipo bologna. O valor estabelecido para teor de cálcio em base seca para mortadelas é de 0,9%, para mortadelas tipo bologna é de 0,3% e para mortadelas de ave é de 0,6% (Brasil, 2000). O teor de cálcio nas mortadelas possui estreita relação com a quantidade de CMS

adicionada em sua composição. Em relação à temperatura de armazenamento, a vigilância sanitária prevê a faixa de 3°C a 8°C (Brasil, 1999).

A umidade é um requisito extremamente importante na classificação da mortadela, pois está diretamente relacionada com suas condições higiênico-sanitárias, já que, acima do recomendado, pode proporcionar a proliferação de microrganismos patogênicos (Franco, 2003). De acordo com o Ministério da Agricultura, o teor máximo é de 65%; gordura, máximo 30%; amido, máximo 5%; proteínas não-cárneas, máximo 4%; miúdos comestíveis, máximo 10% para o tipo bologna e mortadela convencional e máximo de 5% para mortadela de aves (Brasil, 2000).

2.4 Produtos cárneos com menores teores de nitrito

O uso de aditivos alimentares, como o nitrito e nitrato, não é rigorosamente fiscalizado no Brasil, como acontece em outros países, como os Estados Unidos. Além disso, e talvez o mais importante, o Brasil tem inúmeros alimentos típicos, assim como situações diferenciadas de processamento de alimentos, que propiciam a formação de N-nitrosaminas, como na produção, industrial ou caseira, de bacon, presuntos, salsichas e mortadelas.

No Brasil, os sais de cura comerciais são constituídos de uma mistura de cloreto de sódio (sal carreador) com nitrato e nitrito, de sódio ou potássio, ou apenas um deste. Qualquer que seja o sal utilizado (sódio ou potássio), a quantidade de nitrito residual no produto não pode passar de 150 mg/kg (expressa como nitrito de sódio). A quantidade de nitrato residual também é legislada, não podendo passar de 300 mg/kg (também expressa como nitrito de sódio) no produto (Brasil, 1998, 2006).

Devido à possibilidade de formação de compostos cancerígenos em produtos curados, pesquisadores têm buscado, nos últimos anos, formas

alternativas para substituir ou, pelo menos, reduzir a quantidade de nitrito adicionada no processo de cura.

Esforços para reduzir os níveis de N-nitrosaminas em produtos curados têm incluído a descontinuação do uso de pré-mix contendo nitrito e condimentos (Glória et al., 1997). A aplicação de altas temperaturas, como na fritura, em produtos cárneos curados, resulta na formação de compostos cancerígenos, o que explica os altos níveis desses compostos observados em bacon. Devido ao fato de o processo de fritura ser comum em bacons, a *United States Department of Agriculture* (USDA) estabeleceu exigências especiais para este produto, reduzindo, por meio do *Code of Federal Regulations* (CFR), os níveis de nitrito no produto para 120 mg/kg, com exclusão do uso de nitrato, e aumento dos níveis de ascorbatos ou isoascorbato (eritorbatos) para 550 mg/kg. Recentemente, dois processos adicionais foram adicionados ao CFR da USDA para utilização na elaboração de bacons: o primeiro diz respeito ao uso combinado de 100 mg/kg de nitrito de sódio e 550 mg/kg de ascorbatos ou isoascorbato e o segundo, ao uso combinado de 40 a 80 mg/g de nitrito de sódio, mínimo de 0,7% de glicose e o uso de culturas iniciadoras produtoras de ácido láctico (ex. *Pediococcus acidilactici*) (Tompkin, 1986).

O ácido ascórbico (vitamina C), seu isômero ácido eritóbico e outros compostos redutores, como o α -tocoferol (vitamina E), têm sido relatados como principais inibidores da reação de nitrosação (Walters, 1984). Entretanto, Fiddler et al. (1973), avaliando o efeito do ascorbato e isoascorbato na formação de N-nitrosodimetilamina (NDMA) em salsichas, observaram que, embora o uso desses inibidores, na faixa de 550 mg/kg, tenha resultado em menores níveis de N-nitrosaminas, eles não foram capazes de evitar a formação de NDMA em salsichas. Dessa forma, outros substitutos têm sido estudados na tentativa de reduzir o teor de nitrito em produtos cárneos.

Vários compostos preservativos têm sido propostos, incluindo a nisina, o ácido sórbico e os sulfitos. Entretanto, nenhum destes foi considerado completamente satisfatório. O uso de sulfitos (SO₂) em produtos cárneos não parece ser provável, devido aos seus efeitos adversos, como reações alérgicas e destruição de vitaminas B₁ presentes no produto. Efetivamente, os sulfitos impedem o desenvolvimento de bactérias na carne, estabilizando, inclusive, a sua cor, o que pode causar a falsa impressão do real estado de conservação do produto. Devido a isso, o uso de sulfitos em produtos cárneos é considerado fraude em vários países, dentre eles o Brasil. Já o uso de ácido sórbico e seus sais é considerado promissor no controle do *Clostridium botulinum* em produtos curados, desde que o nitrito esteja presente em níveis acima de 40 mg/kg (Varnan & Sutherland, 1995), uma vez que seu uso isolado em produtos cárneos emulsionados favorece a oxidação lipídica e altera os atributos sensoriais (Al-Shuibi & Al-Abdullah, 2002). Além disso, alguns consumidores apresentam alergia a este composto, quando adicionado em produtos como bacon, o que faz com que este aditivo não seja reconhecido como *Generally Recognized as Safe* (GRAS) (Varnan & Sutherland, 1995), sendo permitida a sua adição apenas na superfície de produtos cárneos, no intuito de controlar o crescimento de fungos e leveduras.

Enquanto as pesquisas não apontam um substituto satisfatório, especialmente como um agente antibotulismo, o nitrito tem sido o ingrediente mais aceitável ainda disponível, pela excelente segurança observada nos produtos cárneos comercialmente fabricados.

2.5 Radiação de alimentos

A radiação de alimentos tem sido cada vez mais reconhecida como um método eficaz na redução de perdas pós-colheita de alimentos e na garantia da qualidade higiênica dos alimentos, facilitando a comercialização mais ampla de

certos itens alimentares. Segundo Molins et al. (2001), cerca de quarenta países permitem a utilização da radiação para o tratamento de alimentos, tendo doze países aprovado a sua utilização no controle de patógenos em carne de aves, oito para uso em carnes e treze para uso em pescados e frutos do mar. Condimentos e temperos vegetais secos são os produtos mais irradiados, especialmente após o banimento, em 1991, na Comunidade Europeia, da fumigação de alimentos com óxido de etileno.

O termo radiação de alimentos é empregado para designar processamento com um número limitado de energias radiantes, as quais são escolhidas com base no seu poder de penetração e inabilidade de produzir significativa radioatividade nos alimentos tratados. Uma das vantagens de sua utilização é a de apresentar redução da carga de microrganismos, sem, contudo, gerar calor no alimento, o que levou o processo a ser denominado de esterilização a frio. A pequena elevação de temperatura no produto devido ao processo de radiação apresenta a vantagem de permitir maior retenção de nutrientes e menor alteração em características, como sabor, odor, cor e textura, o que permite que o alimento mantenha as características do alimento fresco. Outra vantagem da radiação é a sua flexibilidade, permitindo a sua aplicação em uma grande diversidade de alimentos de formas e tamanhos diferentes (Potter, 1986).

Alguns dos tipos de energia posteriormente indicados são utilizados, em nível limitado, na preservação de alimentos. A luz ultravioleta tem pequeno poder de penetração nos alimentos, o que restringe o seu uso ao tratamento superficial ou a líquidos alimentares que podem ser expostos em camadas muito delgadas. Os raios X, embora tenham maior poder de penetração do que a luz ultravioleta, apresentam dificuldade em ser focado, levando a uma baixa eficiência de uso com os equipamentos atuais. As emissões mais apropriadas para a radiação de alimentos são aquelas que apresentam bom poder penetrante,

de modo a permitir a inativação de enzimas e microrganismos no interior do alimento, e não apenas na sua superfície. Dentre estas se destacam, e são mais usados, os raios beta (raios de elétrons de alta energia) e gama produzido a partir de cobalto 60 (^{60}Co) (Barbosa-Canovas & Pothakamury, 1999).

Vários termos têm sido empregados para expressar quantitativamente a dose de radiação. A medida de energia ionizante absorvida mais comumente usada é a “rad” e seus múltiplos krad = 1000 rads; Mrad = 10^6 rads). Além da “rad”, outra unidade bastante utilizada na área de alimentos é o “Gray” (Gy), que equivale a 10^2 rads (Potter, 1986).

Nos processos de radiação, a dose de radiação que um substrato (alimento) recebe é importante. Diferentes materiais absorvem energia radiante em níveis diferentes. Em outras palavras, a quantidade de energia absorvida por diferentes alimentos depende da sua composição e forma de apresentação, além das características da fonte de radiação (Potter, 1986; Barbosa-Canovas & Pothakamury, 1999).

2.5.1 Legislação de produtos irradiados

A radiação de alimentos vem sendo estudada há vários anos, tendo seu emprego regulamentado pelo *Food and Drug Administration* (FDA) desde 1963, para farinha de trigo e trigo, sendo suas aplicações guiadas sob as regras de Boas Práticas de Fabricação (BPF) (Lagunas-Solar, 1995). Em 1981, um comitê mundial de cientistas, patrocinado pela *Food and Agriculture Organization* (FAO), pela *World Health Organization* (WHO) e pela *International Atomic Energy Agency* (IAEA) avaliou os dados científicos disponíveis sobre a irradiação de alimentos e concluiu que o uso de doses de irradiação de 10 kGy (1 Mrad) era seguro (Boisseau, 1994), circulando as suas recomendações para todos os governos participantes da Comissão do *Codex Alimentarius* (CAC). Porém, somente em 1990 o FDA aprovou a irradiação de frango para controlar

patógenos de origem alimentar (Pauli & Tarantino, 1995). Em 1997, esse mesmo órgão aprovou o uso da irradiação em carnes vermelhas refrigeradas e congeladas.

Em 1999, um grupo de estudo das mesmas agências (FAO/AIEA/OMS) concluiu que alimentos irradiados com qualquer dose são seguros para o consumo, ou adequados nutricionalmente, se a dose aplicada for inferior àquela que comprometeria as propriedades funcionais e ou os atributos sensoriais do alimento.

No Brasil, a Agência Nacional de Vigilância Sanitária-ANVISA publicou em 26 de janeiro de 2001, a RDC 21, aprovando o Regulamento Técnico para Irradiação de Alimentos e estabelecendo as diretrizes para aplicação do processo. Segundo o Regulamento, a irradiação pode ser aplicada a qualquer alimento, com a condição de que a dose máxima absorvida seja inferior àquela que comprometa as propriedades funcionais e ou os atributos sensoriais do alimento. Também por meio da RDC 21 ficou estabelecido que no rótulo de todo produto tratado por energia ionizante deve constar a frase: Alimento tratado por processo de irradiação (Brasil, 2001). O símbolo internacional do uso da irradiação ionizante, a radura, encontra-se ilustrado na Figura 1.



FIGURA 1 Radura: símbolo utilizado em produtos irradiados

Durante cerca de duas décadas, os trabalhos de pesquisa em irradiação de alimentos ficaram restritos ao Centro de Energia Nuclear na Agricultura da Universidade de São Paulo (CENA/USP). Atualmente, diversos centros de pesquisas realizam estudos em alimentos, como cereais, frutas, hortaliças, carnes, pescados e especiarias. Entretanto, o comércio de alimentos irradiados no Brasil ainda não despontou e a única experiência comercial aconteceu em meados dos anos 1980, com a exportação de especiarias irradiadas.

2.5.2 Irradiação de produtos cárneos

A carne pode ser contaminada por diversos tipos de patógenos e isso ocorre, geralmente, por problemas no manejo durante a criação, com a falta de cuidados higiênicos nas operações de abate dos animais e posterior manipulação das carcaças. A maioria dos microrganismos deterioradores, assim como praticamente todas as bactérias patogênicas, é eliminada com doses subesterilizantes de radiações ionizantes mecanismo semelhante ao da pasteurização), o que prolonga o tempo de conservação (Carvalho & Cortez, 2005).

Para Lee et al. (2005), à medida que ocorre aumento da dose de irradiação, também aumenta a quantidade de hidrocarbonetos e compostos sulfurosos voláteis também aumentam durante a armazenagem, principalmente na presença de oxigênio, sendo responsáveis pelo sabor desagradável chamado *off-flavor*. Neste contexto, a dose de irradiação de carnes deve ser limitada.

A irradiação de filés e carne moída bovina com 1,5 e 2,5 kGy em temperatura ambiente causou alterações em vários atributos sensoriais, como odor, sabor e cor, elevando os danos de forma proporcional à dose de irradiação, além de intensificar a coloração dos alimentos (Thakur & Arya, 1993). Os precursores de aroma da carne são hidrossolúveis, as proteínas sarcoplasmáticas e fibrilares intactas não contribuem para o aroma da carne, enquanto os

precursores de sabor da carne incluem compostos não-voláteis, como os peptídeos, alguns ácidos orgânicos, açúcares, metabólitos de nucleotídeos, tiamina, lipídeos e alguns voláteis, como hidrocarbonetos, aldeídos, cetonas, alcoóis e sulfetos. Contudo, foi atribuída às substâncias voláteis originadas da oxidação lipídica a responsabilidade de conferir aroma característico de carnes irradiadas de bovinos (Ordóñez, 2005).

Em alimentos, doses excessivas podem afetar negativamente os seus componentes (proteínas, carboidratos, gorduras, vitaminas, pigmentos, sabor, sistema enzimático, etc.), alterando as suas características sensoriais e funcionais (cor, sabor, textura, capacidade emulsionante e de retenção de água, etc.). A sensibilidade a este excesso de dosagem é dependente do tipo de alimento em consideração, existindo aqueles mais ou menos sensíveis que outros. Bacon, por exemplo, pode suportar uma dose de radiação de 5,6 Mrad (56 kGy) que o torna estéril e, ainda, reter, satisfatoriamente, as suas qualidades sensoriais. Lombo de porco, frango, camarão e vários vegetais suportam uma dose de até 4,8 Mrad, enquanto várias frutas suportam até 2,4 Mrad. Algumas vezes, há o aparecimento de sabores e odores desagradáveis imediatamente após a aplicação da radiação, os quais não são mais percebidos após a sua estocagem (Potter, 1986). Dessa forma, na determinação da aplicação de irradiação em alimentos, principalmente naqueles ricos em gorduras, como a carne e seus produtos, as mudanças na qualidade também devem ser levadas em consideração.

2.5.3 Efeitos da irradiação sobre a qualidade de produtos cárneos

A irradiação pode promover a formação de radicais livres, resultando na possibilidade de mudanças da cor, de oxidação dos lipídios e a geração de odor estranho, implicando em respostas negativas para o consumidor quanto à qualidade do produto (Patterson & Stevenson, 1995; Ahn et al., 2000; Jo & Ahn, 2000a; Du et al., 2002). Além disso, o armazenamento pode aumentar o efeito

da irradiação, como também promover a oxidação dos lipídios. Os radicais livres provenientes da radiólise, tais como os radicais hidróxil (OH), elétrons hidratados e H⁺ (Merrit, 1972) atacam os componentes do alimento (proteínas, aminoácidos, lipídios etc.), conduzindo, principalmente, a um aumento na taxa de oxidação dos lipídios. A irradiação foi relatada como responsável pelo aumento de substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico (TBARS) em carnes sob condições diferentes de empacotamento e armazenamento (Hampson et al., 1996; Du et al., 2000). Outros estudos mostraram que a irradiação pode induzir a deterioração oxidativa de ácidos graxos, gerando aromas anormais que implicam na aceitabilidade dos consumidores. Os compostos derivados de lipídios, como os aldeídos, em especial o hexanal, são os principais compostos voláteis relacionados às mudanças oxidativas na carne e nos produtos cárneos. Estudos precedentes (Carrasco et al., 2005) em lombo seco curado mostraram que a irradiação aumentou o índice do hexanal, responsável pela formação de aroma indesejável, o que aumentou durante o armazenamento, reduzindo aceitabilidade dos consumidores para esses produtos.

Há correlação entre a descoloração e a oxidação dos lipídios devido ao fato de que os processos da oxidação de pigmentos do músculo podem catalisar a oxidação dos lipídios (Akamittath et al., 1990). Os radicais livres gerados pela irradiação podem reagir com o mioglobina ou a hemoglobina e modificar a cor das amostras irradiadas (Kamarei et al., 1979; Jo et al., 2000). A cor da carne e dos produtos cárneos é um atributo importante de qualidade, pois ela influencia na aceitação dos consumidores, que preferem as carnes frescas vermelho-brilhantes, as carnes cozidas marrom-acinzentadas e as carnes curadas na cor rósea. A suscetibilidade de tecidos musculares irradiados à oxidação lipídica e a intensidade das mudanças dependem de características endógenas, como tipo de tecido, que inclui índice de gordura, perfil de ácido graxo, composição dos fosfolipídios na membrana e concentrações de antioxidantes no músculo, bem

como das características exógenas como dose da irradiação, tipo de embalagem e condições de armazenamento (Gray et al., 1981; Morrissey et al., 1997; Ahn et al., 1999; Nanke et al., 1999).

A radiação da carne é reconhecida como um método seguro e eficaz entre as tecnologias existentes para a descontaminação da carne (O'bryan, Crandall et al., 2008). Entretanto, o tratamento por irradiação é capaz de induzir a oxidação dos lipídios em carnes, embalada sem vácuo (Kanatt, Chander et al., 2006), em carne de galinha (Du, Ahn et al., 2000), em peito de peru (Nam e Ahn, 2003), em carne de porco (Ahn et al., 2000a, 200b) e em salsicha suína cozida (Jo et al., 2002; Jo et al., 2003). Nos últimos anos, os produtores italianos de carnes de porco curadas expressaram um interesse crescente na prática da tecnologia da irradiação, a fim de melhorar a segurança de produtos de carne, em particular daquelas pretendidas para a exportação em alguns mercados onde a saúde pública e as entidades regulares estabeleceram tolerância zero em alimentos prontos para o consumo, para alguns microrganismos patogênicos, como a *Listeria monocytogenes* (Shank et al., 1996).

Embora a irradiação tenha grande importância para a indústria da carne, a maior parte dos estudos aborda seu impacto na qualidade de produtos cárneos (Cava et al., 2005). Ainda há pouca informação sobre as mudanças da qualidade de produtos cárneos irradiados durante o armazenamento.

A disponibilidade do oxigênio durante o armazenamento parece ser mais importante do que a irradiação na oxidação de lipídios (Ahn et al., 1998). Logo após a irradiação, bifes de carne crua, armazenados aerobicamente, desenvolveram mais odores desagradáveis do que aqueles armazenados em condições anaeróbicas (Montgomery et al., 2000). Isso pode ser devido à oxidação do lipídio iniciada durante a irradiação que progrediu durante o armazenamento por causa da disponibilidade do oxigênio. Ohene-Adjei et al. (2004) relataram aumento no ranço de salsichas e costelas de carne de porco

irradiadas. Esses odores desagradáveis aumentaram nas amostras irradiadas durante o armazenamento, mesmo sob refrigeração. A irradiação promoveu maior aumento no valor do TBARS das salsichas, quando comparadas às costelas, o que reflete os efeitos da cominuição dos tecidos e a incorporação do oxigênio antes da irradiação.

3 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABERLE, E.D.; FORREST, J.C.; GERRARD, D.E.; MILLS, E.W. **Principles of meat science**. 4. ed. New York: Kendall/Hunt, 2001. 354p.
- AHN, C.; JO, M.; DU, D.; OLSON, G.; NAM, K.C. Quality characteristics of pork patties irradiated and stored in different packaging and storage conditions. **Meat Science**, Oxford, v.56, n.2, p.203-209, Oct. 2000a.
- AHN, C.; JO, M.; OLSON, D.G. Analysis of volatile components and the sensory characteristics of irradiated raw pork. **Meat Science**, Oxford, v.54, n.3, p.209-215, Mar. 2000b.
- AHN, D.U.; OLSON, D.G. Effect of muscle type, packaging, and irradiation on lipid oxidation, volatile production, and color in raw pork pat. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, Oxford, v.6, n.2, p.135-141, June 2005.
- AHN, D.U.; OLSON, D.G.; JO, C.; CHEN, X.; WU, C.; LEE, J.I. Effect of muscle type, packaging, and irradiation on lipid oxidation, volatile production, and color in raw pork patties. **Meat Science**, Oxford, v.49, n.1, p.27-39, May 1998.
- AHN, D.U.; OLSON, D.G.; JO, C.; LOVE, J.; JIN, S.K. Volatiles production and lipid oxidation in irradiated cooked sausage as related to packaging and storage. **Journal of Food Science**, Chicago, v.64, n.2, p.226-229, Mar. 1999.
- AKAMITTATH, J.G.; BREKKE, C.J.; SCHANUS, E.G. Lipid oxidation and color stability in restructured meat systems during frozen storage. **Journal of Food Science**, Chicago, v.55, n.6, p.1513-1517, Nov. 1990.
- AL-SHUIBI, A.M.; AL-ABDULLAH, B.M. Substitution of nitrite by sorbate and the effect on properties of mortadella. **Meat Science**, Oxford, v.62, n.4, p.473-478, Dec. 2002.
- AMIN, M.; OLIVEIRA, J.V. Efeito do uso do nitrato e nitrito na inibição de *Clostridium perfringens* tipo a em linguiça bovina curada. **Boletim CEPPA**, Curitiba, v.24, n.1, p.13-24, jun. 2006.

ANDRADE, R. **Desenvolvimento de métodos analíticos para determinação de nitrato, nitrito e N-nitrosaminas em produtos cárneos**. 2004. 172 p. Tese Doutorado em Química) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas.
ARAÚJO, J.M.A. **Química de alimentos** - teoria e prática. 3. ed. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2004. 475p.

BARBOSA-CÁNOVAS, G.V.; POTHAKAMURY, U.R.; PALOU, E.; SWANSON, B.G. **Conservación no térmica de alimentos**. Zaragoza: Acribia, 1999. 280p.

BOISSEAU, P. Irradiation and the food industry in France. **Food Technology**, Chicago, v.48, n.5, p.138-140, May 1994.

BORONAT, M.D.C.T.; PADROS, R.B.; ALONSO, M.I. Nitratos y nitritos en la alimentacion infantil: riesgos de su ingesta. **Alimentaria**: revista de tecnologia e higiene de los alimentos, Madrid, v.138, p.31-35, 1982.

BRASIL. Ministério da Agricultura e do Abastecimento. Instrução Normativa nº 4, de 31 de março de 2000. Aprova os Regulamentos Técnicos de Identidade e Qualidade de Carne Mecanicamente Separada, de Mortadela, de Lingüiça e de Salsicha. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 5 abr. 2000. Seção 1, p.6.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Instrução Normativa nº. 20, de 21 de julho de 1999. Oficializa os Métodos Analíticos Físico-Químicos, para Controle de Produtos Cárneos e seus Ingredientes - Sal e Salmoura. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 27 jul. 1999. Seção 1, p.10.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 51, de 29 de dezembro de 2006. Adotar o “Regulamento Técnico de Atribuição de Aditivos, e seus Limites das seguintes Categorias de Alimentos 8: carne e produtos cárneos”. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 4 jan. 2007. Seção 1, p.14.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução nº 21, de 26 de janeiro 2001. Aprova o “Regulamento Técnico para Irradiação de Alimentos”. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 29 jan. 2001.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. RDC nº 360, de 23 de dezembro de 2003. Aprova Regulamento Técnico sobre Rotulagem Nutricional de Alimentos Embalados, tornando obrigatória a rotulagem nutricional. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 26 dez. 2003.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Portaria nº 1004, de 11 de dezembro de 1998. Aprova o Regulamento Técnico “Atribuição de Função de Aditivos, Aditivos e seus Limites Máximos de uso para a Categoria 8 - Carne e Produtos Carneos”. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 14 dez. 1998.

BYUN, M.W.; LEE, J.W.; YOON, H.S.; LEE, K.H.; KIM, H.Y. Improvement of shelf stability and processing properties of meat products by gamma irradiation. **Radiation Physics and Chemistry**, Oxford, v.63, n.3/6, p.361-364, Mar. 2002.

CAMMACK, R.; JOANNOU, C.L.; CUI, X.Y.; TORRES MARTINEZ, C.; MARAJ, S.R.; HUGHES, M.N. Nitrite and nitrosyl compounds in food preservation. **Biochimica et Biophysica Acta**, Amsterdam, v.1411, n.2/3, p.475-488, 1999.

CARRASCO, A.; TÁRREGA, R.; RAMIREZ, M.R.; INGOARRANZ, F.J.; CAVA, R. Colour and lipid oxidation changes in dry-cured loins from free-range reared and intensively reared pigs as affected by ionizing radiation dose level. **Meat Science**, Oxford, v.69, n.4, p.609-615, Apr. 2005.

CARVALHO, A.C.F.B.; CORTEZ, A.L.L. Salmonella spp. em carcaças, carne mecanicamente separada, lingüiças e cortes comerciais de frango. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.35, n.6, p. 1465-1468, nov./dez. 2005.

CASSENS, R.G. Residual nitrite in cured meat. **Food Technology**, Chicago, v.51, n.2, p.53-55, Feb. 1997.

CASSENS, R.G. Use of sodium-nitrite in cured meats today. **Food Technology**, Chicago, v.49, n.7, p.72-80, July 1995.

CAVA, R.; TÁRREGA, R.; RAMIREZ, M.R.; MINGOARRANZ, F.J.; CARRASCO, A. Effect of irradiation on colour and lipid oxidation of dry-cured hams from free-range reared and intensively reared pigs. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, Amsterdam, v.6, n.2, p.135-141, June 2005.

CERESER, N.D.; COSTA, F.M.V.; ROSSI JUNIOR, O.D.; SILVA, D.A.R. da; SPEROTTO, V.R. Botulismo de origem alimentar. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.38, n.1, p.280-287, jan. 2008.

CHRISTIANSEN, L.N.; JOHNSTON, R.W.; KAUTTER, D.A.; HOWARD, J.W.; AUNAN, W.J. Effect of nitrite and nitrate on toxin production by *Clostridium botulinum* and on nitrosamine formation in perishable canned comminuted cured meat. **Applied and Environmental Microbiology**, Washington, v.25, n.3, p.357-362, Mar. 1973.

CORTAS, N.K.; WAKID, N.W. Pharmacokinetics aspects of inorganic nitrate ingestion in man. **Pharmacology & Toxicology**, Copenhagen, v.68, n.3, p.192-193, Mar. 1991.

CROSS, C.K.; ZIEGLER, P. A comparison of the volatile fractions from cured and uncured meats. **Journal of Food Science**, Chicago, v.30, n.4, p.610-614, July 1965.

DU, M.; AHN, D.U.; MENDONCA, A.F.; WESLEY, I.V. Quality characteristics of irradiated ready-to-eat breast rolls from turkeys fed conjugated linoleic acid. **Poultry Science**, Champaign, v.81, n.9, p.1378-1384, Sept. 2002.

DU, M.; AHN, D.U.; NAM, K.C.; SELL, J.L. Influence of dietary conjugated linoleic acid on volatile profiles, color and lipid oxidation of irradiated raw chicken meat. **Meat Science**, Oxford, v.56, n.4, p.387-395, Dec. 2000.

DU, M.; HUR, S.J.; AHN, D.U. Raw-meat packaging and storage affect the color and odor of irradiated broiler breast fillets after cooking. **Meat Science**, Oxford, v.61, n.1, p.49-54, May 2002.

EICHHOLZER, M.; GUTZWILLER, F. Dietary nitrates, nitrites, and N-nitroso compounds and cancer risk with special emphasis on the epidemiological evidence. In: D'MELLO, J.P.F. **Food Safety: contaminants and toxins**. Edinburgh: Scottish Agricultural College, 2003. p.217-234.

FIDDLER, W.; PENSABENE, J.W.; PIOTROWSKI, E.G.; DOERR, R.C.; WASSERMAN, A.E. Use of sodium ascorbate or erythorbate to inhibit formation of N-nitrosodimethylamine in frankfurters. **Journal of Food Science**, Chicago, v.35, p.1082-1092, 1973.

FOOD DESIGN. **Portaria n° 6, de 10 de março de 1999**. Aprova o regulamento técnico que estabelece os parâmetros e critérios para o controle higiênico-sanitário em estabelecimento de alimentos. São Paulo, 1999. 21p. Disponível em: <http://www.fooddesign.com.br/arquivos/legislacao/portaria_06_99_cvs_bpf_refeicoes_coletivas.pdf>. Acesso em: 10 mar. 2009.

FRANCO, B.D.G.M.; LANDGRAF, M. **Microbiologia dos alimentos**. São Paulo: Atheneu, 2003.

GLÓRIA, M.B.A.; BARBOUR, J.F.; SCANLAN, R.A. Volatile nitrosamines in fried bacon. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v.45, n.5, p.1816-1818, May 1997.

GRAY, J.I.; MACDONALD, B.; PEARSON, A.M.; MORTON, I.D. Role of nitrite in cured meat flavor: a review. **Journal of Food Protection**, Ames, v.44, n.4, p.302-312, Apr. 1981.

HADDEN, J.P.; OCKERMAN, H.W.; CAHILL, V.R.; PARRET, N.A.; BORTON, R.J. Influence of sodium nitrite on the chemical and organoleptic properties of comminuted pork. **Journal of Food Science**, Chicago, v.40, n.3, p.626-630, May 1975.

HAMPSON, J.W.; FOX, J.B.; LAKRITZ, L.; THAYER, D.W. Effect of low dose gamma radiation on lipids in five different meats. **Meat Science**, Oxford, v.42, n.3, p.271-276, Mar. 1996.

HERSOM, A.C.; HULLAND, E.D. **Conservas alimenticias**. Zaragoza: Acribia, 1984. 451p.

HERZ, K.O.; CHANG, S.S. Meat flavor. **Advances in Food Research**, New York, v.18, p.1-83, June 1970.

HILL, M.J. Nitrosamines. In: SHUKER, D.E.G. **The chemistry of N-Nitrosation**. Chichester: J. Wiley, 1988. 167p.

JO, C.; AHN, D.U. Production of volatile compounds from irradiated oil emulsion containing amino acids of proteins. **Journal of Food Science**, Chicago, v.65, n.4, p.612-616, May 2000.

JO, C.; AHN, D.U. Volatiles and oxidative changes in irradiated pork sausage with different fatty acid composition and tocopherol content. **Journal of Food Science**, Chicago, v.65, n.2, p.270-275, Mar. 2000.

JO, C.; AHN, D.U.; BYUN, M.W. Irradiation-induced oxidative changes and production of volatile compounds in sausages prepared with vitamin E-enriched commercial soybean oil. **Food Chemistry**, Oxford, v.76, n.3, p.299-305, Mar. 2002.

JO, C.; AHN, H.J.; SON, J.H.; LEE, J.W.; BYUN, M.W. Packaging and irradiation effect on lipid oxidation, color, residual nitrite content, and nitrosamine formation in cooked pork sausage. **Food Control**, Oxford, v.14, n.1, p.7-12, Jan. 2003.

JO, C.; JIN, S.K.; AHN, D.U. Color changes in irradiated cooked pork sausage with different fat sources and packaging during storage. **Meat Science**, Oxford, v.55, n.1, p.107-113, May 2000.

JO, C.; LEE, J.I.; AHN, D.U. Lipid oxidation, color changes and volatiles production in irradiated pork sausage with different fat content and packaging during storage. **Meat Science**, Oxford, v.51, n.4, p.355-361, Apr. 1999.

KAMAREI, A.R.; KAREL, M.; WIERBICKI, E. Spectral studies on the role of ionizing radiation in color changes of radappertized beef. **Journal of Food Science**, Chicago, v.44, n.1, p.25-32, Jan. 1979.

KANATT, S.R.; CHANDER, R.; SHARMA, A. Effect of radiation processing of lamb meat on its lipids. **Food Chemistry**, Oxford, v.97, n.1, p.80-86, July 2006.

LAGUNAS-SOLAR, M.C. Radiation processing of foods: an overview of scientific principles and current status. **Journal of Food Protection**, Ames, v.58, n.2, p.186-192, Feb. 1995.

LEE, J.W.; PARK, K.S.; KIM, J.G.; OH, S.H.; LEE, Y.S.; KIM, J.H.; BYUN, M.W. Combined effects of gamma irradiation and rosemary extract on the shelf-life of a ready-to-eat hamburger steak. **Radiation Physics and Chemistry**, Oxford, v.72, n.1, p.49-56, Jan. 2005.

LIVINGSTON, D.J.; BROWN, W.D. The chemistry of myoglobin and its reactions. **Food Technology**, Chicago, v.35, n.5, p.244-252, May 1981.

MACDONALD, B.; GRAY, J.I.; GIBBINS, L.N. Role of nitrite in cured meat flavor: Antioxidant role of nitrite. **Journal of Food Science**, Chicago, v.45, n.4, p.893-897, July 1980.

MERRIT, C. Quantitative and qualitative aspects of trace volatile components in irradiated foods and food substances. **Radiation Research Review**, Amsterdam, v.3, n.4, p.353-368, 1972.

MOHLER, K. **El curado**: ciência y tecnología de la carne - teoría y práctica. Zaragoza: Acribia, 1982. 116p.

MOLINS, R.A.; MOTARJEMI, Y.; KÄFERSTEIN, F.K. Irradiation: a critical control point in ensuring the microbial safety of raw foods. **Food Control**, Oxford, v.12, n.6, p.347-356, Sept. 2001.

MOLLER, J.K.S.; SKIBSTED, L.H. Nitric oxide and myoglobins. **Chemical Reviews**, Easton, v.102, n.4, p.1167-1178, 2002.

MONTGOMERY, J.L.; PARRISH JÚNIOR, F.C.; OLSON, D.G. Irradiation and storage effects on aroma and color of raw beef patties in anaerobic or aerobic packaging. **Journal of Muscle Foods**, Trumbull, v.11, n.1, p.19-33, Apr. 2000.

MORRISSEY, P.A.; BRANDON, S.; BUCKLEY, D.J.; SHEEHY, P.J.A.; FRIGG, M. Tissue content of α -tocopherol and oxidative stability of broilers receiving dietary α -tocopheryl acetate supplement for various periods pre-slaughter. **British Poultry Science**, London, v.38, n.1, p.84-88, Mar. 1997.

MÜLLER, W.D. Curing and smoking: are they healthier processes today than used to be? **Fleischwirtschaft**, Frankfurt, v.71, n.1, p.61-65, Jan. 1991.

NAM, K.C.; AHN, D.U. Combination of aerobic and vacuum packaging to control lipid oxidation and off-odor volatiles of irradiated raw turkey breast. **Meat Science**, Oxford, v.63, n.3, p.389-395, Mar. 2003.

NANKE, K.E.; SEBRANEK, J.G.; OLSON, D.G. Color characteristics of irradiated aerobically packaged pork, beef, and turkey. **Journal of Food Science**, Chicago, v.64, n.2, p.272-278, Mar. 1999.

NELSON, D.L.; COX, M.M. **Lehninger**: principles of biochemistry. 3. ed. New York: Worth, 2000. 1232p.

O'BRYAN, C.A.; CRANDALL, P.G.; RICKE, S.C.; OLSON, D.G. Impact of irradiation on the safety and quality of poultry and meat products: a review. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, Boca Raton, v.48, n.5, p.442-457, May 2008.

OHENE-ADJEI, S.; BERTOL, T.; HYUN, Y.; ELLIS, M.; MCKEITH, F.K.; BREWER, M.S. Effect of vitamin E, low dose irradiation, and display time on the quality of pork. **Meat Science**, Oxford, v.68, n.1, p.19-26, Sept. 2004.

O'KEEFE, M.; HOOD, D.E. Biochemical factors influencing metmyoglobin formation on beef from muscles of differing color stability. **Meat Science**, Oxford, v.7, n.3, p.209-228, Nov. 1982.

ORDÓÑEZ, J.A. **Alimentos de origem animal**. Porto Alegre: Artmed, 2005. v.2, 279p.

PARDI, M.C.; SANTOS, I.F.; SOUZA, E.R.; PARDI, H.S. **Ciência, higiene e tecnologia da carne**. Goiânia: CEGRAF/UFG, 1995. v.1, 586p.

PATTERSON, R.L.; STEVENSON, M.H. Irradiation-induced off-odour in chicken and its possible control. **British Poultry Science**, London, v.36, n.3, p.425-441, July 1995.

PAULI, G.H.; TARANTINO, L.M. A regularity aspects of food irradiation. **Journal of Food Protection**, Ames, v.58, n.2, p.209-212, Feb. 1995.

POTTER, N.N. **Food science**. 4. ed. New York: AVI, 1986.

RAMOS, E.M.; GOMIDE, L.A.M. **Avaliação da qualidade de carnes: fundamentos e metodologias**. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2007. 599p.

REYES, F.G.R. N-nitrosaminas em alimentos. **Higiene Alimentar**, São Paulo, v.4, n.2, p.71-77, set. 1985.

RYWOTYCKI, R. The effect of selected functional additives and heat treatment on nitrosamine content in pasteurized pork ham. **Meat Science**, Oxford, v.60, n.4, p.335-339, Apr. 2002.

SHAHIDI, F.; PEGG, R.B. Encapsulation of the pre-formed cooked cured-meatpigment. **Journal of Food Science**, Chicago, v.56, n.6, p.1500-1504, Nov. 1991.

SHANK, F.R.; ELLIOT, E.L.; WACHSMUTH, I.K.; LOSIKOFF, M.E. US position on listeria monocytogenes in foods. **Food Control**, Oxford, v.7, n.4/5, p.229-234, Aug./Oct. 1996.

SHANK, J.L.; SILLIKER, J.H.; HARPER, R.H. The effect of nitric oxide on bacteria. **Applied Microbiology**, Washington, v.10, n.3, p.185-189, May 1962.

SILLIKER, J.H.; TAYLOR, W.I. Isolation of salmonellae from food samples. II: the effect of added food samples upon the performance of enrichment broths. **Applied Microbiology**, Washington, v.6, n.4, p.228-232, July 1958.

SILVESTRE, M.P.C.; GLORIA, M.B.A. N-nitrosaminas não voláteis em alimentos - uma revisão. **Boletim SBCTA**, Campinas, v.23, n.3, p.208-219, jul./dez. 1989.

SINDELAR, J.J.; CORDRAY, J.C.; OLSON, D.G.; SEBRANEK, J.G.; LOVE, J.A. Investigating quality attributes and consumer acceptance of uncured, no-nitrate/nitrite-added commercial hams, bacons, and frankfurters. **Journal of Food Science**, Chicago, v.72, n.8, p. 551-559, Oct. 2007.

SOMMERS, C.H.; FAN, X. Antioxidant power, lipid oxidation, color, and viability of listeria monocytogenes in beef bologna treated with gamma radiation and containing various levels of glucose. **Journal of Food Protection**, Ames, v.65, n.11, p.1750-1755, Nov. 2002.

SOMMERS, C.H.; FAN, X.; NIEMIRA, B.A.; HANDEL, A.P. Effect of ionizing radiation on beef bologna containing soy protein concentrate. **Journal of Food Safety**, New Brunswick, v.21, n.3, p.151-165, Nov. 2001.

THAKUR, B.R.; ARYA, S.S. Effect of sorbic acid on irradiation induced sensory and chemical changes in sweetened orange juice and mango pulp. **International Journal Food Science Technology**, Oxford, v.28, n.4, p.371-376, Aug. 1993.

THORTON, H. **Textbook of meat inspection**. London: Bailliere/Tindall and Cassel, 1968.

TOMPKIN, R.B. Microbiology of ready-to-eat meat and poultry products. **Advances in Meat Research**, Westport, v.2, p.89-121, 1986.

TOWNSEND, W.E.; OLSON, D.G. Las carnes curadas y su processado. In: LAWRIE, R. Ed.). **Advances de la ciencia de la carne**. Zaragoza: Acribia, 1984. p.393-414.

VARNAN, A.H.; SUTHERLAND, J.P. **Bebidas**: tecnologia, quimica y microbiologia. Zaragoza: Acribia, 1995.

WALTERS, C.L. Nitrosamineas en productos carnicos. In: LAWRIE, R. Ed.). **Advances de la ciencia de la carne**. Zaragoza: Acribia, 1984. p.240-266.

XIONG , Y.L. Structure-function relationships of muscle proteins. In: DAMODARAN, S.; PARAF, A. Ed.). **Food proteins and their applications**. New York: M. Dekker, 1997. p.341-392.

CAPÍTULO 2

EFEITO DA RADIAÇÃO GAMA E DOS NÍVEIS DE NITRITO SOBRE A QUALIDADE DE MORTADELAS

1 RESUMO

Este trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar os efeitos da aplicação de diferentes doses de irradiação e níveis de nitrito sobre a composição centesimal, o pH, a atividade de água (aa), a cor objetiva, a textura objetiva, a concentração residual de nitrito, os pigmentos totais, os pigmentos nitrosos e o índice de TBARS em mortadelas. As mortadelas foram formuladas com a adição de diferentes níveis de nitrito de sódio (0, 75 e 150 mg/kg) e submetidas a diferentes doses de radiação gama (0, 7,5 e 15 kGy), sendo armazenadas a 4°C, por 24 horas e analisadas. Para a composição centesimal, apenas o teor de proteínas foi afetado pelos níveis de nitrito ($P < 0,05$), sendo observados valores maiores com a sua adição. Maiores doses de radiação promoveram ($P < 0,05$) maiores valores de atividade de água nas mortadelas. A irradiação em até 15 kGy não alterou os índices de cor objetiva de mortadelas. No entanto, a adição de nitrito é essencial para se obter a cor desejada do produto, sendo níveis de 75 mg/kg suficientes para tal. A adição de nitrito e a aplicação de irradiação, nos níveis estudados, não afetaram as propriedades reológicas de textura de mortadelas. Embora a aplicação da irradiação tenha afetado ($P < 0,05$) os teores de pigmentos heme totais, ela não afetou ($P > 0,05$) o percentual de pigmentos heme nitrosos e os teores de nitrito residual, sendo estes últimos mantidos acima de 30 mg/kg, mesmo para amostras adicionadas de 75 mg/kg de nitrito. Por fim, os valores de TBARS foram afetados pela dose de irradiação, apresentando maiores valores quando doses maiores foram aplicadas. Logo, a irradiação em até 15 kGy não promoveu efeitos deletérios nas propriedades físico-químicas de mortadelas, independente da adição ou não de nitrito de sódio. Conclui-se que, mesmo sem a aplicação da irradiação, é possível produzir mortadelas com 75 mg/kg de adição de nitrito, metade dos níveis recomendados pela legislação brasileira, sem que a cor seja afetada ou a segurança quanto ao *C. botulinum* comprometida.

2 ABSTRACT

This work was conducted with the objective of evaluating the effects of the application of different irradiation doses and nitrite levels on the centesimal composition, pH, water activity (wa), objective color, objective texture, the residual concentration of nitrite, total pigments, nitrous pigments and the TBARS index in mortadella. The mortadellas were formulated with the addition of different levels of sodium nitrite (0, 75 and 150 mg/kg) and submitted to different doses of gamma radiation (0, 7,5 and 15 kGy), stored at 4°C, for 24 hours and analyzed. For the centesimal composition, only the level of proteins was affected by the nitrite levels ($P < 0.05$), higher values being observed with its addition. Higher radiation doses promoted ($P < 0.05$) higher water activity values in the mortadellas. Irradiation up to 15 kGy did not alter the objective color indices of the mortadellas. However, the nitrite addition is essential to obtain the desired color of the product, levels of 75 mg/kg being sufficient. The nitrite addition and the irradiation application, at the levels studied, did not affect the rheologic texture properties of mortadellas. Although the application of the irradiation affected ($P < 0.05$) the levels of total heme pigments, it did not affect ($P > 0.05$) the nitrous heme pigment percentage and residual nitrite levels, these last being maintained above 30 mg/kg, even for samples with 75 mg/kg nitrite added. Finally, the values of TBARS were affected by the irradiation dose, presenting higher values when higher doses were applied. Therefore, irradiation up to 15 kGy did not promote harmful effects in the physiochemical properties of mortadellas, independent of the addition or not of sodium nitrite. It can be concluded that even without the application of the irradiation, it is possible to produce mortadellas with half the levels (75 mg/kg) of nitrite addition recommended by the Brazilian legislation, without the color being affected or the safety compromised related to *C. botulinum*.

3 INTRODUÇÃO

O nitrito de sódio é um aditivo essencial para o desenvolvimento da cor, do sabor e da textura desejáveis em produtos cárneos curados, além de atuar contra a oxidação lipídica e microrganismos patogênicos, especialmente, o *Clostridium botulinum* (Cassens, 1995). O controle eficaz sobre o *C. botulinum* somente é obtido quando se adicionam níveis de nitrito superiores a 150 mg/kg (Cassens, 1997), motivo pelo qual este tem sido considerado o limite residual máximo em produtos cárneos.

Embora estudos tenham mostrado que cerca de 40 mg/kg de nitrito sejam suficientes para conferir cor, aroma e sabor de produtos curados, valores inferiores a 150 mg/kg têm sido relatados como insuficientes para prevenir o crescimento e a produção de toxina pelo *Clostridium* sp., motivo pelo qual as autoridades sanitárias de diversos países permitem valores residuais máximos de 150 mg de nitrito/kg em produtos curados. Cada país estabelece uma quantidade máxima de nitrito a ser utilizada em produtos cárneos curados, sendo esta regulamentação baseada na quantidade mínima necessária para prevenir a produção da toxina pelo *C. botulinum* e para minimizar qualquer risco em potencial. Segundo Tompkin (1986), adições de 50 a 150 ppm de nitrito são necessários para a efetiva proteção contra o crescimento do *C. botulinum* e a subsequente produção de toxina, sendo dependente de inúmeros fatores, como pH e atividade de água (aa) do produto, temperatura de armazenamento, tipo de carne e teor de ferro disponível, ingredientes/aditivos adicionados sal, (ascorbatos/eritorbatos, entre outros) e concentrações de nitrito residual. No Brasil, a quantidade residual máxima de nitrito, expressa como nitrito de sódio, permitida para produtos curados, é de 150 ppm (Brasil, 1998).

No entanto, adições de nitrito têm sido relacionadas com formações de compostos N-nitrosos com propriedades cancerígenas, as N-nitrosaminas,

principalmente sob a condição de altas temperaturas (Francis, 2000). Nesse sentido, muitos pesquisadores têm buscado alternativas para substituir ou, pelo menos, reduzir a quantidade de nitrito adicionada no processo de cura. Ahn et al. (2002) verificaram que a radiação gama induz a radiólise do nitrito e das N-nitrosaminas, o que torna a aplicação de irradiação uma alternativa viável. A radiação gama é reconhecida como o melhor processo para a destruição de microrganismos patogênicos e deterioradores e sua utilização vem aumentando em todo o mundo, uma vez que não compromete as propriedades nutricionais e sensoriais do alimento (Ahn et al., 2003). Até há pouco tempo, por questões de segurança, era aconselhada a aplicação de doses de irradiação menores do que 10 kGy. Atualmente, sabe-se que qualquer dose aplicada que não altere as propriedades funcionais e ou sensoriais dos alimentos é considerada segura (Who, 1999).

Ahn et al. (2002a) relataram que os níveis de nitrito de sódio residual e das N-nitrosaminas formadas em salsichas durante o armazenamento foram reduzidos pela irradiação gama. Outros trabalhos têm reportado redução das concentrações residuais de nitrito (Ahn et al., 2002a; Ahn et al., 2002b; Ahn et al., 2003; Jo et al., 2003; Ahn et al., 2004a; Ahn et al., 2004b) e de N-nitrosaminas (Ahn et al., 2002a; Ahn et al., 2002b; Ahn et al., 2003; Jo et al., 2003; Ahn et al., 2004a; Ahn et al., 2004b) em produtos cárneos curados submetidos ao processo de irradiação. No entanto, as maiores preocupações na irradiação de carnes e produtos cárneos são os efeitos deletérios em sua qualidade, em especial na cor do produto, devido às reações de radicais livres formados na radiólise (Brewer, 2004).

Os principais efeitos da radiação em alimentos são indiretos, atribuídos à ação de radicais hidroxílicos formados na radiólise da água constituinte. Entretanto, a reação desses radicais com materiais orgânicos pode levar à alteração da estrutura molecular, o que altera sua atividade e propriedade

normais. No caso de carnes, além de destruir de microrganismos, por inativação do seu sistema enzimático, pode também, por outro lado, levar à alteração de propriedades funcionais de proteínas, com perda de textura, cor, capacidade emulsionante e de retenção de água, etc. (Gomide, 2002; Lawrie, 2005). Da mesma forma, a adição de nitrito também pode influenciar a textura do produto final, uma vez que reage com resíduos de aminoácidos, formando ligações cruzadas entre as proteínas (Mohler, 1982).

Este estudo foi realizado com o principal objetivo de avaliar os efeitos da aplicação de diferentes doses de irradiação sobre a qualidade de mortadelas elaboradas com diferentes concentrações de nitrito.

4 MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi conduzido no Laboratório de Carnes e Derivados da Universidade Federal de Viçosa (UFV) e nos laboratórios de Tecnologia de Carnes e Pescados e de Análise de Alimentos do Departamento de Ciência de Alimentos (DCA) da Universidade Federal de Lavras (UFLA), em Lavras, Minas Gerais.

Os produtos foram irradiados no Laboratório de Irradiação Gama do Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN/CENEN), em Belo Horizonte, MG.

4.1 Formulação e processamento das mortadelas

A elaboração das mortadelas foi baseada em formulações sem utilização de carne mecanicamente separada (CMS) (Tabela 1), sendo, no entanto, adicionada de diferentes níveis de nitrito de sódio (NaNO_2), de forma a se obter produtos com diferentes concentrações (0, 75 e 150 ppm). As carnes e o toucinho foram obtidos no comércio local e os aditivos gentilmente cedidos pela New Max Industrial.

As carnes bovinas cortadas em cubos (congeladas entre 0°C a 1°C) foram trituradas no *cutter* (Mainca, MD-40 BL), em alta velocidade, sendo adicionados, em seguida, a carne suína e o gelo. Após completa homogeneização, acrescentaram-se, nesta ordem, fósforo, sal, nitrito de sódio e temperos. Os ingredientes não-cárneos foram calculados em relação à carne e o toucinho. Em seguida, a velocidade do *cutter* foi reduzida, quando, então, foram acrescentados o toucinho cortado em cubo (congelado entre 0°C e 1°C), a fécula e o ácido ascórbico. Procedeu-se à homogeneização até que a temperatura da massa atingisse 16°C, quando foi embutida em tripa artificial de 67 mm de

diâmetro Startripz 67 vermelha, marca Spel, utilizando embutideira hidráulica (Mainca EM-25), de forma a obter mortadelas de ± 400 g.

TABELA 1 Formulação utilizada para a elaboração das mortadelas

Ingredientes/aditivos	Quantidade (kg)
Carne do dianteiro bovino	42,2
Paleta suína	15,8
Toucinho	14,0
Fécula de mandioca	5,0
Água/gelo	20,0
Sal	1,90
Ácido ascórbico*	0,05
Polifosfatos Fosmax 320	0,50
Condimento para mortadela 913	0,50

*Foi utilizado o máximo de ácido ascórbico para reduzir a formação de N-Nitrosaminas e alterações oxidativas Walters, 1984; Tompkin, 2005).

As mortadelas foram, então, transportadas para tachos encamisados a vapor e cozidas por imersão em água, de acordo com a seguinte programação: 55°C/30 minutos, 65°C/30 minutos, 75°C/30 minutos e 85°C, até que a temperatura da massa atingisse 73°C medida pela inserção de um termopar no centro da massa embutida de mortadela, ou seja, no ponto frio.

Após o cozimento, as mortadelas foram mantidas em banho de água e gelo (0°C), por 10 minutos e estocadas em câmara fria (4°C).

4.2 Irradiação dos produtos

Após 24 horas de estocagem refrigerada, as amostras foram acondicionadas em caixas de isopor, lacradas e enviadas ao Laboratório de Irradiação Gama do Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear

(CDTN), onde foram irradiadas, em irradiador gama GB-127 IR-214 da MDS Nordion), com fonte de cobalto-60 e operando numa taxa de dose média de 2,5 kGy/h. Os produtos foram submetidos a duas doses de irradiação (7,5 e 15 kGy), tendo as amostras controle (não-irradiadas) sido mantidas nas mesmas condições de temperatura e por períodos de tempo similares aos das amostras irradiadas.

Após a irradiação, as amostras foram conduzidas para o DCA/UFLA e novamente armazenadas, por 24 horas, em câmara fria (4°C), para posterior análise.

4.3 Procedimentos analíticos

As mortadelas foram avaliadas quanto à composição centesimal, ao pH, à atividade de água (aa), à cor objetiva, à textura objetiva, à concentração residual de nitrito, aos pigmentos totais, aos pigmentos nitrosos e ao índice de TBARs.

4.3.1 Composição centesimal

A composição centesimal das mortadelas foi avaliada segundo metodologia oficial da Secretaria de Defesa Agropecuária (Brasil, 1999): umidade, pelo método de estufa a 105°C; resíduo mineral fixo cinzas, pelo uso de mufla a 550°C; proteínas totais, pelo método de microkjeldahl, utilizando o fator de 6,25 e extrato etéreo, pelo método do Soxhlet.

O teor de carboidratos foi obtido por diferença entre o total da amostra (100%) e os teores de proteína, lipídio, umidade e cinza.

4.3.2 Determinação do pH

Os valores de pH das mortadelas foram medidos por meio da inserção de eletrodo combinado, tipo penetração (DM20-Digimed), acoplado a um potenciômetro, em cinco pontos diferentes do produto.

4.3.3 Determinação da atividade de água (aa)

Para a avaliação da atividade de água das mortadelas, foi utilizado um aparelho modelo CX2 (Decagon Devices Inc.) que utiliza a técnica de determinação do ponto de orvalho em espelho encapsulado para medir a atividade de água de um produto. Foi colocado aproximadamente um grama de amostra no aparelho. Esta técnica é originária da medida de umidade relativa aprovada pelo AOAC. Quando a amostra é colocada no AquaLab, uma câmara com um espelho de aço inoxidável é repetidamente esfriada e aquecida, enquanto o orvalho se forma e é, subsequentemente, dissipado. O instrumento possui uma ventoinha que faz circular o ar em uma câmara, acelerando o processo de equilíbrio da pressão de vapor. A cada instante, por meio do orvalho formado no espelho, o AquaLab mede a temperatura e atividade de água (aa) da amostra, guardando esses valores para comparar com valores posteriores por meio de repetidas leituras.

4.3.4 Concentração residual de nitrito de sódio (NaNO₂)

O teor residual de nitrito nas mortadelas foi quantificado segundo o método oficial n° 973.31 da Association of Official Analytical Chemists-AOAC (1995).

Cerca de 5 g de amostra triturada em um béquer foram homogeneizados com 40 mL de água destilada aquecida a 80°C, transferindo o homogenato para um balão volumétrico de 500 mL. Foram conduzidas lavagens sucessivas do béquer com água quente até que o volume do balão atingisse aproximadamente 300 mL. O balão ficou em repouso, em banho-maria, durante duas horas, sendo agitado ocasionalmente. Após o repouso, o balão foi resfriado à temperatura ambiente, seu volume completado com água destilada e filtrado em papel de filtro quantitativo da marca Whatman.

Uma alíquota do filtrado que continha entre 5 e 50 µg de NaNO₂ foi adicionado de 2,5 mL de solução de sulfanilamida em ácido acético em um frasco de 50 mL e homogeneizado. Após cinco minutos, foram adicionados 2,5 mL do reagente NED e o volume completado com água destilada. A solução foi agitada e mantida em repouso durante 15 minutos, para o desenvolvimento da cor, quando foi medida a absorvância a 540 nm.

A concentração de nitrito de sódio foi obtida por meio de curva padrão 5 e 50 µg de (NaNO₂).

4.3.5 Pigmentos heme totais (PHT)

O conteúdo de pigmentos heme totais foi determinado, em triplicata, pelo método espectrofotométrico da hematina ácida, proposto por Hornsey (1956). Uma porção de 10 gramas da amostra triturada foi homogeneizada, por 30 segundos, em 50 mL de solução de extração de Hornsey acetona:água:HCl na proporção de (40:9:1) e deixado em repouso por cerca de 1 hora, a 4°C. O homogenato obtido foi centrifugado, por 15 minutos, a 3.000g em centrífuga refrigerada (4°C), filtrado e uma alíquota usada para leitura da absorvância a 640 nm, utilizando a solução de extração como branco.

O total de pigmentos heme (PHT) presentes na amostra, expresso em µg de hematina ácida por grama de amostra, foi obtido pela seguinte equação:

$$\text{PHT} = A_{640 \text{ nm}} * 680.$$

4.3.6 Pigmentos nitrosos (PHN)

O conteúdo de pigmentos nitrosos formados foi determinado, em triplicata, pelo método espectrofotométrico da hematina, proposto por Hornsey (1956). Uma porção de 10 gramas da amostra triturada foi homogeneizada, por 30 segundos, em 50 mL de solução de extração de Hornsey acetona:água:cisteína, na proporção de (40:9:1) e deixada em repouso por 5

minutos, a 4°C, em local escuro. O homogenato obtido foi centrifugado por 15 minutos, a 3.000g, em centrífuga refrigerada (4°C), filtrado e uma alíquota usada para leitura da absorvância, a 540 nm, utilizando a solução de extração como branco.

O total de pigmentos nitrosos (PHN) presentes na amostra, expresso em µg de nitrosohematina por grama de amostra, foi obtido pela seguinte equação:

$$PHN = A_{540 \text{ nm}} * 290.$$

Também foi calculado o percentual de conversão de pigmentos nitrosos, obtido pela seguinte equação:

$$\% \text{ Conversão} = \frac{PHN}{PHT} * 100$$

em que

PHN = pigmentos nitrosos e

PHT = pigmentos heme totais.

4.3.7 Cor objetiva

A avaliação objetiva da cor final dos produtos foi realizada com o uso de um colorímetro Chroma Meters CR-300 (Konica Minolta Sensing Inc.), seguindo as recomendações sugeridas por Ramos & Gomide (2007) para produtos curados. Para o cálculo dos índices de cor, foram estabelecidos o iluminante D65 e o sistema de cor CIELAB.

Os índices de cor L^* , a^* e b^* foram obtidos considerando-se o valor médio de cinco leituras realizadas em diferentes pontos das mortadelas.

Os índices de saturação (C^*), ângulo de tonalidade (h^*) e diferença global (ΔE^*) foram calculados pelas seguintes fórmulas (Ramos & Gomide, 2007):

$$C^* = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2};$$

$$h^* = (\tan^{-1} b^*/a^*); \text{ e}$$

$$\Delta E^* = [L^* - L^*_{\text{ref}}]^2 + (a^* - a^*_{\text{ref}})^2 + (b^* - b^*_{\text{ref}})^2]^{1/2}$$

4.3.8 Oxidação lipídica índice de (TBARs)

As análises de índice de TBARs foram realizadas segundo metodologia descrita por Raharjo et al. (1992), com modificações. Foram pesados 10 g de amostra, misturados a 40 mL de ácido tricloroacético 5% (TCA) e 1 mL de BHT (10 $\mu\text{g.BHT.g}^{-1}$ de lipídeo), sendo esta solução filtrada em papel de filtro.

O filtrado foi acrescentado de 0,08 M de TBA e aquecido em banho-maria fervente, por 5 minutos. Depois de resfriado à temperatura ambiente, uma alíquota foi retirada para leitura da absorvância a 531 nm.

Os valores foram expressos em miligramas de malonaldeído por quilograma de amostra (mg de malonaldeído/kg), por meio do seguinte cálculo: valor da absorvância lida x 7,38 (fator de correção para as leituras das absorvâncias).

4.3.9 Textura objetiva

Amostras de cada tratamento foram analisadas pelo teste de análise de perfil de textura (TPA), em um texturômetro TA.XT2i (Texture Analysis Stable Micro System Inc.) conectado a um computador equipado com o programa Texture Expert[®].

O teste de análise de perfil de textura (TPA) foi conduzido segundo procedimento descrito por Ramos et al. (2007) para produtos curados. Cinco amostras (replicatas), cortadas em cubos de 1,0 cm de aresta, foram

comprimidas, paralelamente ao seu comprimento, duas vezes até 50% de seu tamanho, com um prato de compressão de 7,5 cm de diâmetro. Não houve tempo de repouso da amostra entre os dois ciclos de compressão. A curva de deformação com o tempo foi obtida a uma velocidade de compressão de 180 mm/minuto (3 mm/s), a partir da qual foram gerados seis parâmetros de textura, segundo Ramos & Gomide (2007): fraturabilidade, dureza, coesividade, adesividade, elasticidade e mastigabilidade.

4.4 Análises estatísticas

Os tratamentos foram dispostos em um delineamento inteiramente casualizado (DIC), em esquema fatorial 3x3, com concentrações de nitrito 0, 75 e 150 (ppm) e níveis de irradiação (0, 7,5 e 15 kGy) com duas repetições, totalizando 18 unidades experimentais.

Os dados foram interpretados por meio de análise de variância (ANOVA). Quando necessário, as médias foram comparadas utilizando-se o teste de Tukey, a 5% de probabilidade, enquanto os modelos foram escolhidos baseando-se no coeficiente de determinação e na significância dos coeficientes de regressão, utilizando o teste “t”, a 5% de probabilidade.

As análises estatísticas foram realizadas utilizando-se o programa SAS® (Statistical Analysis Systems), versão 9.0.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Composição centesimal

Não foi observada interação significativa ($P>0,05$) entre as variáveis: níveis de irradiação e teor de nitrito. Também não foi observado efeito significativo ($P>0,05$) da dose de irradiação para nenhum dos parâmetros analisados, tendo os produtos elaborados os seguintes valores médios (expressos em g/100g) (\pm desvio padrão): umidade = $65,73\pm 0,41$; extrato etéreo = $11,81\pm 0,80$ e cinzas = $3,63\pm 0,21$. Entretanto, o teor de proteínas foi significativamente ($P<0,05$) afetado pela concentração de nitrito adicionada na amostra (Tabela 2).

TABELA 2 Proteína (\pm desvio padrão) de mortadelas elaboradas com diferentes níveis de nitrito

Nitrito mg/kg	Proteína (%)
0	$17,15\pm 0,53$ b
75	$17,80\pm 0,48$ a
150	$17,52\pm 0,58$ ab

Médias seguidas de uma mesma letra, na mesma coluna, não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Dong et al. (2007) observaram um decréscimo nos percentuais de umidade e proteína em salsichas elaboradas com maiores teores de nitrito, o que difere do presente experimento, uma vez que não foram observadas alterações nos valores de umidade e, para proteínas, o efeito observado foi contrário. As amostras adicionadas de nitrito, no presente trabalho, continham, em média,

cerca de 2,9% mais proteínas do que o controle (sem adição), enquanto no experimento de Dong et al. (2007), as amostras contendo 150 ppm de nitrito apresentaram 11,4% menos proteína do que as amostras controle.

5.2 Determinação do pH

Não foi observado efeito significativo ($P > 0,05$) da interação entre as doses de irradiação e níveis de nitrito para os valores de pH. Também não houve efeito significativo ($P > 0,05$) dos tratamentos isolados, o que indica que o pH das amostras não foi afetado por nenhum dos tratamentos.

O valor de pH médio ($6,29 \pm 0,11$) observado está de acordo com os valores estabelecidos pelas Normas Sanitárias do Instituto Adolf Lutz (2005), que considera que o pH de mortadelas deve ser levemente ácido. O valor de pH observado no presente experimento foi similar ao reportado por Liu et al. (2009) para mortadelas de frango e por Dong et al. (2007), para salsicha tipo frankfurt.

5.3 Atividade de água (aa)

A atividade de água (aa) não foi afetada significativamente ($P > 0,05$) pela quantidade de nitrito adicionado ou pela sua interação com as doses de irradiação aplicada. No entanto, a irradiação gama promoveu ($P < 0,05$) alterações nos valores de atividade de água das mortadelas elaboradas (Tabela 3), tendo maiores doses de irradiação implicado em maiores valores de aa.

TABELA 3 Atividade de água (aa) de mortadelas submetidas a diferentes doses de irradiação*

Irradiação kGy)	Atividade de água (aa)
0	0,934±0,006 b
7,5	0,950±0,005 a
15	0,941±0,013 ab

*Médias seguidas de uma mesma letra, na mesma coluna, não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

De forma geral, a quantidade de água presente em um alimento pode estar na forma de água ligada e não-ligada. A relação entre o teor de água não-ligada, ou disponível, e a água ligada correlaciona-se com a atividade de água (Potter, 1986). Assim, uma proporção da água total está fortemente ligada a sítios específicos, como grupos hidroxil de polissacarídeos e, especialmente na carne, com grupos carbonilas e aminas de proteínas. Esse conteúdo aquoso não está disponível como solvente ou meio reativo, não sendo sequer congelável. Ainda em torno das moléculas proteicas, uma segunda camada de água (água de hidratação ou ligada) é formada e, depois, camadas sucessivas de moléculas, cada vez com menos fixação, à medida que aumenta a distância ao grupo reativo. Todas as moléculas de água dessa camada estão relacionadas entre si por meio de ligações de ponte de hidrogênio e dipolo-dipolo e, devido à forte interação com a proteína, também é não-congelável. O restante do conteúdo aquoso da carne encontra-se como água livre ou debilmente ligada (Fennema, 2007).

Segundo Thakur & Singh (1994), a água, quando irradiada, pode sofrer radiólise (quebra de moléculas pela radiação), levando à sua ionização e, conseqüentemente, seu rearranjo eletrônico, o que pode ocasionar a produção de radicais livres e íons como radical hidroxil ($\bullet\text{OH}$), elétron aquoso (e^-_{aq}), átomo

de hidrogênio ($\bullet\text{H}$) e próton hidratado (H_3O^+). Interações entre estes radicais podem formar peróxido de hidrogênio (H_2O_2) que pode reagir com o oxigênio (O_2) e formar o radical peroxil ($\text{ROO}\bullet$). Este, por sua vez, se dissocia formando o radical superóxido ($\bullet\text{O}_2^-$). Esses produtos primários da radiólise da água, por serem altamente reativos, interagem quimicamente entre si ou com moléculas próximas (ácidos graxos, aminoácidos, compostos aromáticos, etc.) e, como consequência, novas moléculas podem ser danificadas, passando a disputar elétrons com o meio (Stewart, 2001). Dessa forma, é provável que as moléculas de proteína tenham sido afetadas diretamente pela radiólise ou pela reatividade dos radicais livres formados na radiólise da água, acarretando na alteração da proporção de água nas diversas camadas e, conseqüentemente, aumentando a atividade de água das mortadelas.

De acordo com Jafari & Emam-Djomeh (2007), estudos preliminares conduzidos por Leistner e colaboradores relataram que é necessário que a atividade de água seja menor ou igual a 0,95, para que o nitrito desenvolva suas funções sensoriais. Dessa forma, embora a aplicação da irradiação tenha aumentado os valores de atividade de água das mortadelas, estas ainda se encontram abaixo ou muito próximo do valor máximo considerado ideal para a segurança microbiológica do produto.

5.4 Concentração residual de nitrito de sódio (NaNO_2)

Não houve interação significativa ($P>0,05$) entre as doses de irradiação e os níveis de nitrito para os valores de nitrito residual. Também não foi observado efeito significativo ($P>0,05$) da dose de irradiação nos valores de nitrito residual.

Em vários trabalhos conduzidos por Ahn e colaboradores (Ahn et al., 2002a; Ahn et al., 2002b; Ahn et al., 2003; Ahn et al., 2004a) foi observada uma redução significativa ($P<0,05$) nos valores de nitrito residual em mortadelas de carne de porco, imediatamente após a aplicação da radiação gama (5 e 10 kGy).

Simie (1983) reportou que a redução dos níveis de nitrito pela irradiação deve-se, provavelmente, à sua reação com o radical hidroxil produzido na radiólise da água. Por outro lado, Shahidi et al. (1991) e Byun et al. (1999) sugeriram que a irradiação pudesse aumentar o potencial de redução de agentes de redutores adicionados, o que implicaria em menores valores de nitrito residual em produtos curados irradiados. Quando o ambiente está no estado reduzido, o nitrito pode facilmente ser convertido ao óxido nítrico, tendo como resultado níveis de nitrito residuais mais baixos (Ahn et al., 2002b). A importância do potencial de oxirredução constatada por Ahn e colaboradores (Ahn et al., 2002a, 2002b) que encontraram que o nível de nitrito residual de salsichas embaladas a vácuo mais baixos do que aquele de salsichas embaladas sem vácuo durante o armazenamento. Isso explica que o vácuo (condição anaeróbica) mantém o ambiente em um estado reduzido, o que conduz a um potencial de redox mais baixo.

Embora o sistema de armazenamento das mortadelas no presente experimento possa ser considerado similar ao sistema de embalagem a vácuo, uma vez que o oxigênio é eliminado da massa durante o processamento e as tripas utilizadas no embutimento são altamente impermeáveis a gases e a umidade, não foi observada nenhuma diferença significativa ($P>0,05$) nos valores de nitrito residual entre amostras irradiadas e não-irradiadas. Da mesma forma, (Ahn et al., 2002a; Ahn et al., 2002b) reportaram que, mesmo em salsichas submetidas à irradiação por doses tão altas quanto 30 kGy, não foram observadas diferenças nos níveis de nitrito residual com o uso de dos dois tipos de embalagem (à vácuo e sem vácuo) durante a estocagem. Jo et al. (2002), trabalhando com doses menores de irradiação, também não observaram diferenças significativas ($P>0,05$) entre salsichas irradiadas (5 kGy) e não-irradiadas, em embalagens a vácuo e sem vácuo, antes do armazenamento. Em presuntos cozidos fatiados e embalados a vácuo, Houser et al. (2003) também

não observaram diferenças significativas ($P>0,05$) entre amostras irradiadas (4,5 kGy) e não-irradiadas para os valores de nitrito residual.

Embora a dose de irradiação não tenha afetado os valores de nitrito residual no presente experimento, estes foram significativamente ($P<0,05$) afetados pela adição de diferentes níveis de nitrito (Tabela 4), conforme esperado.

TABELA 4 Concentração de nitrito residual em mortadelas elaboradas com diferentes níveis de nitrito

Nitrito mg/kg	Nitrito residual (mg/kg)
0	5,90±0,39 a
75	32,07±3,75 b
150	50,95±9,59 c

Médias seguidas de uma mesma letra, na mesma coluna, não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

No presente experimento, foi detectada a presença de nitrito residual nas amostras não adicionadas de nitrito de sódio. Isso se deve à possível contaminação por nitrito ou nitrato oriunda de outros ingredientes, como sal e condimento para mortadela, utilizados para a elaboração do produto.

Foi verificado também que houve, proporcionalmente, maior redução de nitrito nas amostras com maior adição desse aditivo. Este fato pode estar relacionado à maior conversão de pigmentos observada em amostras com maiores teor de nitrito (item 5.5), o que implica na redução dos seus níveis residuais.

Maiores concentrações de nitrito residual em amostras adicionadas de maiores valores de nitrito de sódio são coerentes com a observação de Pérez-Rodríguez et al. (1996) de que quanto maior a concentração de nitrito

adicionado, maiores os valores de nitrito residual no produto. Estes mesmos autores relataram que cerca de 50% do nitrito adicionado pode ser detectado como nitrito residual e 10% a 15% como nitrato em salsichas tipo Frankfurt, mesmo após duas semanas de estocagem refrigerada (3°C). Após 12 dias de armazenamento refrigerado (3°C), Pérez-Rodríguez et al. (1996) observaram valores residuais próximos de 40, 50 e pouco abaixo de 150 ppm para amostras adicionadas de 75, 125 e 250 ppm de nitrito, respectivamente. Entretanto, no presente experimento, foi verificada redução de nitrito residual proporcionalmente menor nas amostras adicionadas de 75 ppm (redução de 57%) de nitrito do que nas amostras adicionadas de 150 ppm (redução de 66%).

Reduções ainda maiores no primeiro dia de estocagem foram reportadas por Dong et al. (2007) em salsichas tipo frankfurt, que encontraram que os índices do nitrito estavam abaixo de 3, 10 e 12 ppm, respectivamente, correspondendo a 50, 100 e 150 ppm de adições originais. O nitrito diminui continuamente nos produtos e sua taxa de redução é dependente da formulação, do pH, do tempo e da temperatura do produto durante o processamento e o armazenamento (Pegg & Shahidi, 2000). Em estudos realizados por Cassens (1997) foi demonstrado que, depois de o nitrito (NO_2) ser adicionado no sistema cárneo, aproximadamente de 1% a 10% é oxidado a nitrato (NO_3); de 5% a 10% reage com a mioglobina; de 5% a 15% com os grupos sulfidrilas das proteínas; de 1% a 5% com gordura; de 20% a 30% com proteína e cerca de 1% a 5% transformam-se em gás e se desprendem do produto. Como consequência, essas reações complexas do nitrito podem contribuir para a variação na quantidade residual de nitrito em produtos cárneos.

Em salsichas de carne suína elaboradas com 156 ppm de nitrito de sódio e embaladas a vácuo, Jo et al. (2003) e Anh et al. (2004b) observaram valores entre 55 e 70 ppm de nitrito residual nas amostras irradiadas (5 kGy) e não irradiadas, imediatamente antes do armazenamento. No mesmo produto e

sistema de embalagem, porém em amostras irradiadas por doses maiores (0 a 30 kGy), Ahn et al. (2002) observaram valores de nitrito residual entre 60 e 110 ppm. Esses valores estão acima dos reportados no presente trabalho para mortadelas adicionadas de 150 ppm de nitrito, o que pode ser devido ao tipo de matéria-prima utilizada. Jo et al. (2002; 2002; 2004b) avaliaram salsichas elaboradas com matéria-prima cárnea de origem cem por cento suína, enquanto na formulação utilizada neste trabalho, cerca de 60% da matéria-prima cárnea utilizada foi de bovinos.

Uma vez que o teor de ferro heme é maior na carne bovina do que na carne suína (Min et al., 2008), maiores quantidades de óxido nítrico (NO) serão necessárias para interagir com pigmentos heme, implicando em menores valores de nitrito residual. Considerando que, segundo Cassens (1997), para que haja um controle eficaz sobre o *C. botulinum* sejam necessários cerca de 10 mg/kg de nitrito residual no produto final, a adição de 75 mg/kg de nitrito às mortadelas foi suficiente para se alcançar este nível residual, independentemente da aplicação ou não da irradiação e, portanto, o desenvolvimento desse microrganismo e de sua toxina é prevenido nesses produtos.

5.5 Pigmentos nitrosos (PHN) e pigmentos heme totais (PHT)

Não houve interação significativa ($P > 0,05$) entre os tratamentos (níveis de irradiação e teor de nitrito) para a concentração de pigmentos heme totais ou nitrosos. Entretanto, a concentração de nitrito adicionado na amostra influenciou significativamente ($P < 0,05$) a concentração de pigmentos nitrosos e o percentual de conversão (Tabela 5).

TABELA 5 Concentração de pigmentos nitrosos (PNO) e percentual de conversão (%CONV) em mortadelas elaboradas com diferentes níveis de nitrito

Nitrito (mg/kg)	PNO (μg nitrosohematina/g)	%CONV
0	7,28 \pm 2,47 c	7,84 \pm 2,52 c
75	50,47 \pm 3,72 b	53,50 \pm 3,53 b,c
150	57,94 \pm 7,15 a	64,47 \pm 10,20 a

Médias seguidas de pelo menos uma mesma letra, na mesma coluna, não diferem entre si, a 5% de significância, pelo teste de Tukey

Os dados da Tabela 5 mostram que houve maior conversão de pigmentos nitrosos em pigmentos totais nas amostras adicionadas de maior quantidade de nitrito, sendo que esse resultado pode estar relacionado à quantidade de nitrito residual para que houvesse esta conversão. Na Tabela 4 do item 5.4 observou-se que a adição de 75 mg/kg de nitrito implicou em, aproximadamente, 42% de nitrito residual, enquanto a adição de 150 mg/kg de nitrito resultou em, aproximadamente, 33% de nitrito residual. Esses resultados mostram que quanto maior conversão de pigmentos nitrosos em pigmentos totais, menor será o valor do nitrito residual, visto que este foi utilizado durante a conversão do pigmento.

Segundo Mohler (1982), as reações que levam à formação de nitrosomioglobina a partir do nitrito-metamioglobina seguem o princípio da lei de adição das massas. Qualquer modificação na taxa do pigmento existente na carne pode provocar um desvio do equilíbrio da reação. O mesmo autor reporta que, para cada molécula de pigmento formado, é necessário que haja uma molécula de nitrito disponível. A transformação do pigmento heme em pigmento nitroso ocorre à taxa de 66%, alcançada mediante adição máxima de ácido ascórbico, à taxa de 99%.

As reduções nos pigmentos nitrosos com a aplicação da irradiação reportadas por Ahn et al. (2004a) e Kamarei & Karel (1983) não foram constatadas no presente experimento.

Ahn et al. (2004a) abordaram os níveis de pigmentos nitrosos em salsichas irradiadas armazenadas em diferentes sistemas de embalagens. Os autores verificaram que a irradiação reduziu os níveis de pigmentos nitrosos na salsicha, sendo os resultados muito consistentes com a perda da cor vermelha (a^*) observada no mesmo experimento e que pode ser associada com a denitrosilação do complexo nitrosoemocromo ocasionada pela irradiação. Ahn et al. (2004b), estudando salsichas embaladas a vácuo, irradiadas nas doses de 10 e 20 kGy, observaram que as quantidades de pigmentos nitrosos foram reduzidas em, aproximadamente, 23%, logo após a aplicação da irradiação na dose de 20 kGy.

Kamarei & Karel (1983) afirmam que a cor vermelha do nitrosoemocromo mudou para marrom com a aplicação da irradiação de 0,4 a 20 kGy, atribuindo este fato à denitrosilação do pigmento nitroso, que levou à formação de metamioglobina.

A aplicação de diferentes doses de irradiação gama na amostra influenciou significativamente ($P < 0,05$) a concentração de pigmentos heme totais (Tabela 6).

TABELA 6 Concentração de pigmentos heme totais (PHT) em mortadelas submetidas a diferentes doses de irradiação

Irradiação (kGy)	PHT (µg hematina ácida/g)
0	88,96±6,61 b
7,5	92,46±5,90 a,b
15	94,43±9,86 a

Médias seguidas de pelo menos uma mesma letra, na mesma coluna, não diferem entre si, a 5% de significância, pelo teste de Tukey

Segundo relato de Swallow (1984), alguns radicais livres principalmente o (e^-_{aq}) produzidos por meio da radiólise, podem atuar como potentes agentes redutores e reagir com o ferricitocromo e produzir ferrocitocromo. Nam & Ahn (2002), estudando peito de peru irradiado, relataram que o ferro da mioglobina foi reduzido a ferro ferroso ao ser submetido ao processo de irradiação. Este ferro reduzido teve maior afinidade para se ligar a outros compostos que produzem a cor vermelha.

A identificação do pigmento gerado pela irradiação ainda não está esclarecido. Nanke et al. (1999), estudando carne de porco e de peru irradiadas, verificaram que a cor vermelha produzida foi devido à formação do pigmento oximioglobina. O pigmento vermelho, entretanto, não pode ser considerado somente como um pigmento de oximioglobina porque a cor vermelha formada pela irradiação foi produzida dentro de circunstâncias praticamente anaeróbias. Luchsinger et al. (1996) relataram que a cor vermelha, em seu trabalho, foi mais intensa em produtos cárneos irradiados embalados a vácuo. Millar et al. (1995) constataram que peitos de frango irradiados tiveram mudança definitiva da cor marrom/roxa usual para a cor rosa/avermelhada, o que é explicado pela formação de um derivado ferroso da mioglobina, tal como a carboxi-mioglobina ou a óxido-mioglobina nítrico. A cor da carne fresca é determinada pelo estado

do ferro heme e da molécula a ele ligada. Para a formação dos pigmentos vermelhos no peito de peru irradiado foi necessária a redução do ferro para o estado ferroso. Conseqüentemente, algumas circunstâncias podem mudar o estado oxidativo do ligante.

Furuta et al. (1992) relataram que o gás radiolítico do CO (monóxido de carbono) foi detectado nas carnes bovinas, suínas e de aves irradiadas. Conseqüentemente, acredita-se que um determinado composto formado por meio da radiólise possa induzir as reações ocasionadas pela irradiação, podendo ser responsável pela formação da cor vermelha ou rósea dos pigmentos do peito de peru irradiado.

5.6 Cor objetiva

Não houve interação significativa ($P>0,05$) entre as doses de irradiação e níveis de nitrito para nenhum dos índices de cor objetiva. Também não foi observado efeito significativo ($P>0,05$) da dose de irradiação nesses parâmetros.

Ahn et al. (2004a) também não observaram efeito significativo dos níveis de irradiação (0 a 20 kGy) nos valores de luminosidade (L^*) de salsichas embaladas a vácuo e em embalagem altamente permeável ao oxigênio. Essa observação também foi feita por Ahn et al. (2003) para salsichas irradiadas 0 a 10 kGy e embaladas em atmosfera modificada contendo apenas dióxido de carbono (CO_2) ou nitrogênio (N_2).

Avaliando o uso de diferentes concentrações de nitrito (0 a 200 mg/kg) na elaboração de lombo suíno submetido a diferentes níveis de irradiação gama (0 a 5 kGy), Byun et al. (2002) também não reportaram nenhuma mudança nos valores de L^* com a irradiação. Já Nanke et al. (1999) observaram que os valores de L^* para carne suína e de peru não foram afetados pelo aumento da dose de irradiação (0 a 10,5 kGy), embora tenha havido um aumento significativo nos valores de L^* para a carne bovina.

Ahn et al. (2003, 2004a, 2004b) observaram uma redução no índice de vermelho (a^*) com a aplicação de maiores níveis de radiação gama. Essa redução também foi observada por Jo et al. (2003) para salsichas irradiadas (5 kGy). Ahn et al. (2004) atribuíram a redução da coloração vermelha à denitrosilação do pigmento de nitrosoemocromo presente nos produtos curados cozidos, sendo, segundo estes autores, um indicativo da descoloração (*fading*) da cor curada causada pela irradiação. No entanto, esse efeito não foi observado no presente experimento, visto que, além da cor objetiva, os níveis de nitrosoemocromo não foram afetados ($P > 0,05$) pela aplicação da irradiação (item 5.5).

Por outro lado, os efeitos da irradiação no índice de vermelho de produtos curados reportados na literatura são contraditórios. Assim como no presente experimento, e contrário ao observado por Ahn et al. (2003, 2004a, 2004b), Nanke et al. (1999) não observaram alteração para os valores do a^* da carne de peru com o aumento da dose de irradiação até valores de 10,5 kGy. Já Byun et al. (2002) reportaram um aumento dos valores de a^* com a irradiação em presunto do lombo de carne de porco não adicionadas de nitrito de sódio. Segundo Brewer (2004), vários outros autores reportaram aumento na cor vermelha (valores de a^*) de carnes não-curadas com a aplicação da irradiação, devido, possivelmente, à formação de espécies reativas de oxigênio ou gases, como o monóxido de carbono (CO), capazes de se ligarem ao ferro heme do pigmento de mioglobina sob condições redutoras.

Para o índice de amarelo, diferentemente do observado neste trabalho, Ahn et al. (2004a) reportaram redução em salsichas irradiadas com 20 kGy e embaladas em embalagem altamente permeável ao oxigênio. Já para Ahn et al. (2003), a redução apenas pode ser detectada em salsichas irradiadas com 10 kGy e embaladas em atmosfera modificada contendo apenas gás nitrogênio (N_2).

Poucos efeitos da irradiação sobre os valores de b^* também foram observados por Byun et al. (2002), em lombos curados.

Entretanto, foi observado efeito significativo ($P < 0,05$) dos níveis de nitrito sobre os índices de vermelho (a^*) e de amarelo (b^*), saturação (C^*) e ângulo de tonalidade (h^*) das amostras (Tabela 7).

TABELA 7 Média (\pm desvio padrão) dos índices de cor objetiva de mortadelas elaboradas com diferentes níveis de nitrito

Nitrito (mg/kg)	L^*	a^*	b^*	C^*	h^*
0	59,01 \pm 0,90	9,16 \pm 1,14b	8,38 \pm 0,54a	12,47 \pm 0,59b	42,65 \pm 5,17b
75	57,36 \pm 1,41	15,75 \pm 0,58a	7,56 \pm 0,34b	17,47 \pm 0,51a	25,66 \pm 1,45a
150	58,22 \pm 1,54	16,20 \pm 0,52a	8,00 \pm 0,54b	18,07 \pm 0,65a	26,25 \pm 1,18a
<i>Média</i>	<i>58,19\pm1,46</i>	<i>13,70\pm3,33</i>	<i>7,98\pm0,59</i>	<i>16,00\pm2,59</i>	<i>31,52\pm8,52</i>

*Médias seguidas de letras diferentes, na coluna, diferem entre si ($P < 0,05$), a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

As amostras controle (sem adição de nitrito) apresentaram menores índices de vermelho (a^*) e maiores índices de amarelo (b^*), comparadas às amostras curadas, o que ocasionou as diferenças observadas na saturação (C^*) e no ângulo de tonalidade (h^*). Menores valores de a^* para salsichas não curadas também foram reportados por Jo et al. (2003), quando comparadas com aquelas adicionadas de 156 mg/kg de nitrito de sódio.

Reduções nos valores de a^* e aumento nos valores de b^* foram relatados por Sheridan et al. (2007) como indicativos da descoloração da cor curada e, neste caso, demonstram as diferenças de cor entre os produtos. No presente experimento, assim como no de Jo et al. (2003), sem a adição de nitrito não foi possível obter a cor desejável de produto curado por meio da irradiação.

Byun et al. (2002) reportaram que amostras de lombo irradiadas com 5 kGy desenvolveram cor equivalente à daquelas adicionadas de 200 mg/kg de nitrito. No entanto, os dados de cor objetiva desses autores estão muito confusos, não apresentando a metodologia de análise nem a descrição do delineamento estatístico, além de não descrever se tais observações foram estatisticamente significativas. Os dados da análise sensorial, conduzida por 12 julgadores treinados, também não foram apresentados.

Entre as amostras curadas (75 e 150 mg/kg), não se observaram diferenças nos índices de cor (Tabela 7), o que está de acordo com as observações de Müller (1991) de que concentrações entre 30 a 50 mg/kg de nitrito são suficientes para gerar a cor característica de produtos curados.

Deve-se salientar também que mudanças na cor vermelha em produtos cárneos irradiados são dependentes dos tipos de carnes espécie animal usadas na formulação e das condições de embalagem, devido às diferenças no conteúdo de pigmentos e no tipo de forma química predominante (Ahn et al., 2003, 2004b; Jo et al., 2003). Essa dependência pode explicar, em parte, as razões das diferenças encontradas entre este trabalho e os dos autores citados.

No presente experimento, as mortadelas foram mantidas embaladas apenas na tripa de embutimento e, devido às suas características de alta resistência ao vapor d'água e à permeabilidade a gases, conferiria um ambiente mais próximo de um sistema de embalagem a vácuo, em que os efeitos na cor relatados por Ahn et al. (2004a) foram menos pronunciados. Segundo Brewer (2004), uma rápida formação de metamioglobina com a irradiação ocorre em sistemas cárneos quando expostos ao oxigênio, sendo devido, aparentemente, a uma aceleração do processo normal de oxidação da mioglobina.

Em outros estudos foi verificado aumento no valor de TBARs em produtos submetidos à irradiação com 5 e 10 kGy como em presuntos fatiados estudados por Carrasco et al. (2005), em que o aumento da oxidação lipídica foi

dependente da dose de irradiação. De acordo com o mesmo autor, a aplicação de irradiação até 10 kGy induziu alterações significativas na coloração e oxidação de lipídios que podem comprometer as características sensoriais do produto.

5.7 Oxidação lipídica índice de (TBARs)

Houve interação significativa ($P < 0,05$) entre os níveis de nitrito e as doses de irradiação aplicadas sobre os índices de TBARs (Tabela 8).

TABELA 8 Níveis de TBARs (mg de malonaldeído/kg) de mortadelas elaboradas com diferentes níveis de nitrito e diferentes doses de irradiação

Nitrito (mg/kg)	Irradiação (kGy)		
	0	7,5	15
0	0,235±0,056 d	0,605±0,098 b,c,d	0,554±0,073 c,d
75	0,277±0,099 c,d	0,620±0,146 b,c,d	1,089±0,310 a,b
150	0,316±0,053 c,d	0,784±0,240 a, b,c	1,228±0,097 a

Médias seguidas de uma mesma letra, na linha e na coluna, não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey

O efeito da irradiação na oxidação de lipídios está em conformidade com os resultados encontrados por Jo et al. (2003) que, estudando os efeitos da adição de nitrito sobre a oxidação lipídica de salsicha irradiadas nas doses de 0 e 5 kGy, observaram que, nas salsichas irradiadas, foram detectados maiores níveis de TBARS. Entretanto, os resultados obtidos pelo mesmo autor são contrários aos obtidos no presente experimento, pois a adição de 156 mg/kg de nitrito promoveu menores níveis de TBARS, quando comparados ao controle salsichas (sem adição de nitrito).

As amostras que não foram irradiadas apresentaram valores de TBARs bem inferiores aos das demais, o que era esperado, visto que a irradiação promove a radiólise da água, ocasionando a formação de radicais livres e, conseqüentemente, favorece a oxidação lipídica. Vários estudos relataram um aumento em números de TBARs em carne e produtos à base de carne irradiada em diferentes doses (Akamittath et al., 1990; Du et al., 2000; Hampson et al., 1996; Carrasco et al., 2005).

No entanto, Ahn et al. (2002a) e Jo et al. (2003) observaram que doses menores de irradiação gama até 4,5 kGy não aceleram a oxidação lipídica de salsichas embaladas a vácuo. O efeito da irradiação sobre a oxidação lipídica na presença de oxigênio é bem estabelecida e é amplamente documentado que a exclusão de oxigênio durante a irradiação contribui para reduzir a oxidação lipídica em produtos cárneos (Lee et al., 2005; Ahn et al., 2000; Jo et al., 2003). Por esta razão, a embalagem a vácuo é extremamente importante para produtos cárneos irradiados.

5.8 Textura objetiva

Não foram detectados picos de fratura nas análises de textura objetiva dos produtos elaborados, o que está de acordo com as observações de Ramos & Gomide (2007) de que, nos testes de TPA em produtos cárneos curados, valores de compressão entre 25% e 50% pode não conduzir a amostra à fratura, ou seja, o pico de fraturabilidade pode não ser formado na curva.

Não houve efeito significativo ($P>0,05$), tanto para a interação quanto para os tratamentos níveis de irradiação e nitrito) individuais, em nenhum dos parâmetros de textura avaliados, tendo os produtos elaborados os seguintes valores médios (\pm desvio padrão): dureza (kg) = $1,5846\pm 0,4445$; coesividade = $0,8026\pm 0,0784$; adesividade (kg.mm) = $-0,0078\pm 0,00658$; flexibilidade (mm) = $4,7515\pm 0,1906$ e mastigabilidade (kg.mm) = $6,0115\pm 1,3000$.

Byun et al. (2002) também não observaram efeitos significativos nos parâmetros de textura objetiva em mortadelas elaboradas com carnes irradiadas com dose de até 5 kGy. O mesmo foi observado por estes autores para a análise sensorial da textura.

Teoricamente, é possível que a irradiação possa afetar a textura de carnes e produtos cárneos, por meio da alteração das propriedades funcionais de proteínas (Gomide, 2002; Lawrie, 2005). Entretanto, os estudos objetivos e sensoriais para a carne são contraditórios. Avaliando os efeitos da aplicação da radiação gama (3 kGy) em peitos de frango, Yoon (2003) observou maiores forças de cisalhamento para as amostras irradiadas, sendo esta maior dureza atribuída à redução no comprimento do sarcômero e a possíveis alterações nas propriedades funcionais das proteínas, levando a uma maior agregação destas. Por outro lado, utilizando a análise sensorial, Abu-Tarboush et al. (1997) e Hashim et al. (1995) não observaram efeito significativo na textura de peitos de frango irradiados.

Da mesma forma, há também uma possibilidade de a adição de nitritos e nitratos contribuir com a textura de produtos curados. Teoricamente, isto é possível quando se considera a reação do nitrito com grupos sulfidrilas (-SH) de resíduos aminoacídicos das proteínas, formando pontes dissulfetos (-S-S-) termicamente estáveis entre as proteínas da carne (Mohler, 1982). A textura firme de curados é creditada a essas ligações entre proteínas, embora, no presente experimento, assim como em alguns outros trabalhos, não se tenham observado diferenças significativas na textura de amostras adicionadas de diferentes concentrações de nitrito.

Aparentemente, qualquer contribuição à textura pelo nitrito ou irradiação é bastante sutil, sendo detectada apenas sob condições particulares. Isso demonstra a complexidade de entender as características de textura em produtos cárneos curados.

Outra possibilidade para a falta de diferenças significativas entre os tratamentos também pode ser devido à escolha da velocidade e do percentual de compressão para a condução dos testes, assim como o tamanho e o formato da amostra, que podem não ser as mais adequadas para se perceber tais diferenças nestes produtos. Ramos et al. (2007) observaram que o comportamento dos parâmetros reológicos dos produtos curados dependem, além de outros parâmetros, da quantidade de deformação (deformação específica, *strain*) e da taxa de deformação (velocidade de compressão) aplicadas à amostra. Segundo estes autores, enquanto parâmetros como a dureza e fraturabilidade são mais dependentes de maiores níveis de deformação, valores como coesividade, adesividade e flexibilidade são mais bem observados em valores de compressão menores.

6 CONCLUSÕES

A irradiação em até 15 kGy não promoveu efeitos deletérios nas propriedades físico-químicas de mortadelas, independente da adição ou não de nitrito de sódio. A irradiação pode ser utilizada como tecnologia alternativa. Conclui-se que, mesmo sem a aplicação da irradiação, é possível produzir mortadelas com metade dos níveis 75 mg/kg de adição de nitrito recomendados pela legislação brasileira, sem que a cor seja afetada ou a segurança quanto ao *C. botulinum* comprometida.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABU-TARBOUSH, H.M.; AL-KAHTANI, H.A.; ATIA, M.; ABOU-ARAB, A.A.; BAJABER, A.S.; EL-MOJADDIDI, M.A. Sensory and microbial quality of chicken as affected by irradiation and postirradiation storage at 4.0°C. **Journal of Food Protection**, Ames, v.60, n.7, p.761-770, July 1997.

AHN, C.; JO, M.; DU, D.; OLSON, G.; NAM, K.C. Quality characteristics of pork patties irradiated and stored in different packaging and storage conditions. **Meat Science**, Oxford, v.56, n.2, p.203-209, Oct. 2000.

AHN, H.J.; JO, C.R.; KIM, J.H.; CHUNG, Y.J.; LEE, C.H.; BYUN, M.W. Monitoring of nitrite and N-Nitrosamine levels in irradiated pork sausage. **Journal of Food Protection**, Ames, v.65, n.9, p.1493-1497, 2002a.

AHN, H.J.; JO, C.; LEE, J.W.; KIM, J.H.; KIM, K.H.; BYUN, M.W. Irradiation and modified atmosphere packaging effects on residual nitrite, ascorbic acid, nitrosomyoglobin, and color in sausage. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v.51, n.5, p.1249-1253, 2003.

AHN, H.J.; KIM, J.H.; JO, C.; LEE, C.H.; BYUN, M.W. Reduction of carcinogenic N-nitrosamines and residual nitrite in model system sausage by irradiation. **Journal of Food Science**, Chicago, v.67, n.4, p.1370-1373, May 2002b.

AHN, H.J.; KIM, J.H.; JO, C.; LEE, J.W.; YOON, H.S.; BYUN, M.W. Effects of gamma irradiation on residual nitrite, residual ascorbate, color, and N-nitrosamines of cooked sausage during storage. **Food Control**, Oxford, v.15, n.3, p.197-203, Apr. 2004a.

AHN, H.J.; KIM, J.H.; JO, C.; LEE, J.W.; YOON, H.S.; KIM, H.Y.; BYUN, M.W. Combined effects of gamma irradiation and a modified atmospheric packaging on the physicochemical characteristics of sausage. **Radiation Physics and Chemistry**, Oxford, v.71, n.1/2, p.51-54, Sept./Oct. 2004b.

AHN, H.J.; KIM, J.H.; JO, C.; KIM, M.J.; BYUN, M.W. Comparison of irradiated phytic acid and other antioxidants for antioxidant activity. **Food Chemistry**, Oxford, v.88, n.2, p.173-178, Nov. 2004.

AHN, H.J.; YOOK, H.S.; RHEE, M.S.; LEE, C.H.; CHO, Y.J.; BYUN, M.W. Application of gamma irradiation on breakdown of hazardous volatile N-nitrosamines. **Journal of Food Science**, Chicago, v.67, n.4, p.596-599, May 2002c.

AKAMITTATH, J.G.; BREKKE, C.J.; SCHANUS, E.G. Lipid oxidation and color stability in restructured meat systems during frozen storage. **Journal of Food Science**, Chicago, v.55, n.6, p.1513-1517, Nov. 1990.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official methods of analysis of AOAC international**. 16. ed. Virginia, 1995.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Portaria nº 1004, de 11 de dezembro de 1998. Aprova o Regulamento Técnico “Atribuição de Função de Aditivos, Aditivos e seus Limites Máximos de uso para a Categoria 8 - Carne e Produtos Carneos”. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 14 dez. 1998.

BREWER, S. Irradiation effects on meat color: a review. **Meat Science**, Oxford, v.68, n.1, p.117, Sept. 2004.

BYUN, M.W.; LEE, J.W.; YOOK, H.S.; LEE, K.H.; KIM, K.P. The improvement of color and shelf life of ham by gamma irradiation. **Journal of Food Protection**, Ames, v.62, n.10, p.1162-1166, Oct. 1999.

BYUN, M.W.; LEE, J.W.; YOOK, H.S.; LEE, K.H.; KIM, H.Y. Improvement of shelf stability and processing properties of meat products by gamma irradiation. **Radiation Physics and Chemistry**, Oxford, v.63, n.3/6, p.361-364, Mar. 2002.

CARRASCO, A.; TÁRREGA, R.; RAMIREZ, M.R.; INGOARRANZ, F.J.; CAVA, R. Colour and lipid oxidation changes in dry-cured loins from free-range reared and intensively reared pigs as affected by ionizing radiation dose level. **Meat Science**, Oxford, v.69, n.4, p.609-615, Apr. 2005.

CASSENS, R.G. Residual nitrite in cured meat. **Food Technology**, Chicago, v.51, n.2, p.53-55, Feb. 1997.

CASSENS, R.G. Use of sodium-nitrite in cured meats today. **Food Technology**, Chicago, v.49, n.7, p.72-80, July 1995.

DONG, Q.L.; TU, K.; GUO, L.Y.; YANG, J.L.; WANG, H.; CHEN, Y.Y. The effect of sodium nitrite on the textural properties of cooked sausage during cold storage. **Journal of Texture Studies**, Westport, v.38, n.5, p.537-554, Oct. 2007.

DU, M.; AHN, D.U.; NAM, K.C.; SELL, J.L. Influence of dietary conjugated linoleic acid on volatile profiles, color and lipid oxidation of irradiated raw chicken meat. **Meat Science**, Oxford, v.56, n.4, p.387-395, Dec. 2000.

FENNEMA, O.R. **Fennema's food chemistry**. Madison: University of Wisconsin, 2007.

FIDDLER, W.; GATES, R.A.; PENSABENE, J.W.; PHILLIPS, J.G.; WIERBICKI, E. Investigations on nitrosamines in irradiation-sterilized bacon. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v.29, n.3, p.551-554, May 1981.

FRANCIS, F.J. **Encyclopedia of food science & technology**. New York: J. Wiley, 2000.

FURUTA, M.; DOHMARU, T.; KATAYAMA, T.; TORATONI, H.; TAKEDA, A. Detection of irradiated frozen meat and poultry using CO gas as a probe. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v.40, n.7, p.1099-1100, July 1992.

GOMIDE, L.A.M. **Irradiação de alimentos**. Viçosa, MG: UFV, 2002. Notas de aula.

HAMPSON, J.W.; FOX, J.B.; LAKRITZ, L.; THAYER, D.W. Effect of low dose gamma radiation on lipids in five different meats. **Meat Science**, Oxford, v.42, n.3, p.271-276, Mar. 1996.

HASHIM, I.B.; RESURRECCION, A.V.A.; MCWATTERS, K.H. Descriptive sensory analysis of irradiated frozen or refrigerated chicken. **Journal of Food Science**, Chicago, v.60, n.4, p.664-666, July 1995.

HORNSEY, H.C. The colour of cooked cured pork I: estimation of the nitric oxide-haem pigments. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, London, v.7, n.8, p.534-540, Aug. 1956.

HOUSER, T.A.; SEBRANEK, J.G.; LONERGAN, S.M. Effects of irradiation on properties of cured ham. **Journal of Food Science**, Chicago, v.68, n.7, p.2362-2365, Sept. 2003.

HOUSER, T.A.; SEBRANEK, J.G.; MAISONET, W.N.; CORDRAY, J.C.; AHN, D.U.; DIXON, P.M. Irradiation-induced cured ham color fading and regeneration. **Journal of Food Science**, Chicago, v.70, n.4, p.281-285, May 2005.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz**. 4. ed. São Paulo, 2005. 1018p.

JAFARI, M.; EMAM-DJOMEH, Z. Reducing nitrite content in hot dogs by hurdle technology. **Food Control**, Oxford, v.18, n.12, p.1488-1493, Dec. 2007.

JO, C.; AHN, D.U.; BYUN, M.W. Irradiation-induced oxidative changes and production of volatile compounds in sausages prepared with vitamin E-enriched commercial soybean oil. **Food Chemistry**, Oxford, v.76, n.3, p.299-305, Mar. 2002.

JO, C.; AHN, H.J.; SON, J.H.; LEE, J.W.; BYUN, M.W. Packaging and irradiation effect on lipid oxidation, color, residual nitrite content, and nitrosamine formation in cooked pork sausage. **Food Control**, Oxford, v.14, n.1, p.7-12, Jan. 2003.

KAMAREI, A.R.; KAREL, M. Effects of ionizing radiation on nitric oxide myoglobin: effects on the NO-haem moiety. **International Journal of Radiation Biology**, London, v.44, n.2, p.123-134, Aug. 1983.

LAWRIE, R.A. **Ciência da carne**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2005. 383p.

LEE, J.W.; PARK, K.S.; KIM, J.G.; OH, S.H.; LEE, Y.S.; KIM, J.H.; BYUN, M.W. Combined effects of gamma irradiation and rosemary extract on the shelf-life of a ready-to-eat hamburger steak. **Radiation Physics and Chemistry**, Oxford, v.72, n.1, p.49-56, Jan. 2005.

LIU, D.C.; TSAU, R.T.; LIN, Y.C.; JAN, S.S.; TAN, F.J. Effect of various levels of rosemary or Chinese mahogany on the quality of fresh chicken sausage during refrigerated storage. **Food Chemistry**, Oxford, v.117, n.1, p.106-113, Nov. 2009.

LUCHSINGER, S.E.; KROPF, D.H.; GARCIA ZEPEDA, C.M.; HUNT, M.C.; MARSDEN, J.L.; RUBIO CANAS, E.J.; KASTNER, C.L.; KUECHER, W.G.; MATA, T. Color and oxidative rancidity of gamma and electron beam-irradiated boneless pork chops. **Journal of Food Science**, Chicago, v.61, n.5, p.1000-1005, Sept. 1996.

MILLAR, S.J.; MOSS, B.W.; MACDOUGALL, D.B.; STEVENSON, M.H. The effect of ionizing radiation on the CIELAB color coordinates of chicken breast meat as measured by different instruments. **International Journal of Food Science & Technology**, Oxford, v.30, n.5, p.663-674, Oct. 1995.

MIN, B.; NAM, K.C.; CORDRAY, J.; AHN, D.U. Endogenous factors affecting oxidative stability of beef loin, pork loin, and chicken breast and thigh meats. **Journal of Food Science**, Chicago, v.73, n.6, p.439-446, Aug. 2008.

MOHLER, K. **El curado**: ciência y tecnologia de la carne - teoria y práctica. Zaragoza: Acribia, 1982. 116p.

MÜLLER, W.D. Curing and smoking: are they healthier processes today than used to be? **Fleischwirtschaft**, Frankfurt, v.71, n.1, p.61-65, Jan. 1991.

NAM, K.C.; AHN, D.U. Mechanisms of pink color formation in irradiated precooked turkey breast meat. **Journal of Food Science**, Chicago, v.67, n.2, p.600-607, Mar. 2002.

NANKE, K.E.; SEBRANEK, J.G.; OLSON, D.G. Color characteristics of irradiated aerobically packaged pork, beef, and turkey. **Journal of Food Science**, Chicago, v.64, n.2, p.272-278, Mar. 1999.

PEGG, R.B.; SHAHIDI, F.S. **Nitrite curing of meat**: the N-nitrosamine problem and nitrite alternatives. Trumbull: Food & Nutrition, 2000.

PÉREZ-RODRÍGUEZ, M.L.; BOSCH-BOSCH, N.; GARCÍA-MATA, M. Monitoring nitrite and nitrate residues in frankfurters during processing and storage. **Meat Science**, Oxford, v.44, n.1/2, p.65-73, Sept./Oct. 1996.

POTTER, N. Food dehydration and concentration. In: **FOOD Science**. New York: Champman & Hall, 1986. p.246-302.

RAHARJO, S.; SOFOS, J.N.; SCHMIDT, G.R. Improved speed, specificity, and limit of determination of an aqueous acid extraction thiobarbituric acid-C18 method for measuring lipid peroxidation in beef. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v.40, n.11, p. 2182-2185, Nov. 1992.

RAMOS, E.M.; GOMIDE, L.A.M. **Avaliação da qualidade de carnes**: fundamentos e metodologias. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2007. 599p.

RAMOS, E.M.; RAMOS, A.L.S.; VIOLIN, L.M.; BISPO, K.C.; FONTES, P.R. Influência da deformação e da velocidade de compressão na textura objetiva de produtos curados. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE CARNES, 4., 2007, Campinas. **Anais...** Campinas: ITAL, 2007. p.423-426.

SAS INSTITUTE. **SAS/QC Software**: reference, version 9.0. Cary, 1999.

SHAHIDI, F.; PEGG, R.B.; SHAMSUZZAMAN, K. Color and oxidative stability of nitrite-free cured meat after gamma irradiation. **Journal of Food Science**, Chicago, v.56, n.5, p.1450-1452, Sept. 1991.

SHERIDAN, C.; O'FARRELL, M.; LEWIS, E.; FLANAGAN, C.; KERRY, J.; JACKMAN, N. A comparison of CIE L*a*b* and spectral methods for the analysis of fading in sliced cured ham. **Journal of Optics A, Pure and Applied Optics**, Bristol, v.9, n.6, p.32-39, 2007.

SIMIE, M.C. Radiolysis of aqueous components of food. In: JOSEPHSON, E.S.; PETERSON, M.S. **Preservation of Food by Ionizing Radiation**. New York: CRC, 1983. v.2, p.8.

STEWART, E.M. Food irradiation chemistry. In: MOLINS, R.A. Ed.). **Food irradiation: principles and applications**. New York: Wiley Interscience, 2001. p.37-76.

SWALLOW, A.J. Fundamental radiation chemistry of food components. In: RECENT advances in the chemistry of meat. London: Royal Society of Chemistry, 1984. p.165-175.

THAKUR, B.R.; SINGH, R.K. Food irradiation: chemistry and applications. **Food Reviews International**, New York, v.10, n.4, p.437-473, Oct. 1994.

TOMPKIN, R.B. Microbiology of ready-to-eat meat and poultry products. **Advances in Meat Research**, Westport, v.2, p.89-121, 1986.

TOMPKIN, R.B. Nitrite. In: DAVIDSON, M, SOFOS, J.N., BRANEN, A.L. (eds.) **Antimicrobials in food**. 3rd ed., New York: Taylor & Francis, pp.169-236, 2005. (Food science and technology, 143).

WALTERS, C.L. Nitrosamineas en productos carnicos. In: LAWRIE, R. Ed.). **Advances de la ciencia de la carne**. Zaragoza: Acribia, 1984. p.240-266.

WIERBICKI, E.; BRYNJOLFSSON, A. The use of irradiation to reduce or eliminate nitrite in cured meats. In: EUROPEAN MEETING OF MEAT RESEARCH WORKERS, 25., 1979, Budapest. **Proceedings...** Budapest: [s.n.], 1979. p.27-31.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **High-dose irradiation**: wholesomeness of food irradiated with doses above 10 kGy: report of a Joint FAO/IAEA/WHO Study Group. Geneva, 1999. 890p.

YOON, K.S. Effect of gamma irradiation on the texture and microstructure of chicken breast meat. **Meat Science**, Oxford, v.63, n.2, p.273-277, Feb. 2003.

CAPÍTULO 3

**EFEITO DA IRRADIAÇÃO GAMA SOBRE A QUALIDADE DE
MORTADELAS ELABORADAS COM DIFERENTES NÍVEIS DE
NITRITO ARMAZENADAS SOB REFRIGERAÇÃO**

1 RESUMO

Este trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar os efeitos da aplicação de diferentes doses de irradiação e níveis de nitrito sobre o pH, a cor objetiva, a textura objetiva, a concentração residual de nitrito, os pigmentos totais, os pigmentos nitrosos e o índice de TBARS em mortadelas. As mortadelas foram formuladas com a adição de diferentes níveis de nitrito de sódio 0, 75 e 150 (mg/kg) e submetidas a diferentes doses de radiação gama (0, 7,5 e 15 kGy), sendo armazenadas a 4°C e analisadas nos tempos 0, 14, 28, 42, 56 e 70 dias após a irradiação quanto ao pH, à cor objetiva, à textura objetiva, à concentração residual de nitrito, aos pigmentos totais, aos pigmentos nitrosos e ao índice de TBARS. Os efeitos da irradiação e da adição de nitrito não afetaram o pH das amostras, entretanto, houve efeito do tempo. Os pigmentos nitrosos e totais sofreram interação da irradiação e da adição de nitrito, mas o percentual de conversão foi mantido em cerca de 50%-60%, mantendo a cor das amostras. Para os valores de a^* e h^* , também houve interação da irradiação e da adição de nitrito, mas, na decomposição, constatou-se que esses valores se mantiveram constantes para a adição de nitrito. Para o valor b^* , houve efeito da adição de nitrito com o tempo, mas as amostras apresentaram valores muito próximos. Para C^* , houve interação tanto da adição de nitrito como da dose de irradiação com o tempo, porém, as amostras apresentaram valores muito próximos. Para o L^* , houve efeito da adição de nitrito e as amostras que continham maior quantidade de nitrito apresentaram menor valor de luminosidade. Dos parâmetros de textura, apenas a adesividade e a coesividade foram afetadas pela irradiação, apresentando valores maiores nas doses menores. Estes e os demais parâmetros foram afetados pelo tempo de armazenamento refrigerado. Os valores de nitrito residual reduziram com o tempo, no entanto, o comportamento dessa redução foi afetado pela adição de nitrito, bem como pela irradiação. Por fim, os valores de TBARS foram afetados pela dose de irradiação, apresentando maiores valores quando doses maiores foram aplicadas. No entanto, com o armazenamento refrigerado, não houve efeito dos níveis de nitrito ou da dose de irradiação, seja por interação ou apenas pelos efeitos isolados. De forma geral, a irradiação em até 15 kGy não promoveu efeitos deletérios nas propriedades físico-químicas de mortadelas, independente da adição de nitrito de sódio ou não. Conclui-se que, mesmo, sem a aplicação da irradiação, é possível produzir mortadelas com metade dos níveis 75 (mg/kg) de adição de nitrito recomendados pela legislação brasileira, sem que a cor seja afetada ou a segurança quanto ao *C. botulinum* comprometida.

2 ABSTRACT

This work was carried out with the objective of evaluating the effects of the application of different irradiation doses and nitrite levels on the centesimal composition, pH, water activity (wa), objective color, objective texture, the residual concentration of nitrite, total pigments, nitrous pigments and the TBARS index in mortadella. The mortadellas were formulated with the addition of different levels of sodium nitrite (0, 75 and 150 mg/kg) and submitted to different doses of gamma radiation (0, 7.5 and 15 kGy), stored at 4°C, for 24 hours and analyzed at 0, 14, 28, 42, 56 and 70 days after the irradiation as to the pH, objective color, objective texture, the residual nitrite concentration, the total pigments, the nitrous pigments and the TBARS index. The effects of the irradiation and of the nitrite addition did not affect the pH of the samples, however, there was an effect of the time. The nitrous and total pigments suffered interaction of the irradiation and the nitrite addition, but the conversion percentage was maintained at about 50%-60%, maintaining the color of the samples. For the values of a^* and h^* , there was also interaction of the irradiation and the nitrite addition, but, in the decomposition, it was verified that those values remained constant for the nitrite addition. For the value b^* , there was an effect of the nitrite addition with time, but the samples presented very close values. For C^* , there was interaction so much of the nitrite addition as of the irradiation dose with the time, however, the samples presented very close values. For L^* , there was an effect of the nitrite addition and the samples that contained higher amounts of nitrite presented lower brightness values. Regarding the texture parameters, only the adhesiveness and the cohesivity were affected by the irradiation, presenting higher values at the lower doses. These and the other parameters were affected by the time of refrigerated storage. The values of residual nitrite reduced with the duration, however, the behavior of that reduction was affected by the nitrite addition, as well as by the irradiation. Finally, the TBARS values were affected by the irradiation dose, presenting higher values when higher doses were applied. However, with the refrigerated storage, there was no effect of the nitrite levels nor of the irradiation doses, for interaction or only for the isolated effects. In a general way, the irradiation at up to 15 kGy did not promote harmful effects in the physiochemical properties of mortadellas, independent of the addition of sodium nitrite or not. It was concluded that even without the application of the irradiation, it is possible to produce mortadellas with half the levels (75 mg/kg) of nitrite addition recommended by the Brazilian legislation, without the affecting the color or compromising the safety as to *C. botulinum*.

3 INTRODUÇÃO

Durante séculos, os sais de nitrito e nitrato são adicionados em produtos cárneos para conferir a cor rósea e o sabor característicos de produtos curados cozidos, além de prevenir alterações desagradáveis oriundas da rancidez oxidativa dos lipídios, como a formação do *warmed over flavor* (WOF) e inibir o crescimento de microrganismos deteriorantes e patogênicos, atuando especialmente contra o crescimento e a produção de toxina do *Clostridium botulinum* (Cassens, 1995, 1997; Cammack et al., 1999).

Entretanto, a utilização de nitrito em produtos cárneos está relacionada com a formação de compostos N-nitrosos, especialmente N-nitrosaminas, potencialmente tóxicos, mutagênicos e carcinogênicos (Rywotycki, 2002; Eichholzer & Gutzwiller, 2003) e que tem sido relacionado ao desenvolvimento de tumores no cérebro e ao risco de desenvolvimento de leucemia em crianças (Cassens, 1995, 1997; Eichholzer & Gutzwiller, 2003). O agente nitrosante mais importante na formação das N-nitrosaminas é o anidro nitroso (N_2O_3), formado facilmente a partir do nitrito em solução aquosa e pH ácido, que reage com aminas secundárias presentes na carne (Vignolo et al., 1998).

Cada país estabelece uma quantidade máxima de nitrito a ser utilizada em produtos cárneos curados, sendo esta regulamentação baseada na quantidade mínima necessária para prevenir a produção da toxina pelo *C. botulinum* e para minimizar qualquer risco em potencial. Segundo Tompkin (1986), adições de 50 a 150 ppm de nitrito são necessárias para a efetiva proteção contra o crescimento do *C. botulinum* e a subsequente produção de toxina, sendo dependente de inúmeros fatores, como pH e atividade de água (aa) do produto, temperatura de armazenamento, tipo de carne e teor de ferro disponível, ingredientes/aditivos adicionados sal, (ascorbatos/eritorbatos, entre outros) e concentrações de nitrito

residual. No Brasil, quantidade residual máxima de nitrito, expressa como nitrito de sódio, permitida para produtos curados é de 150 ppm.

Devido aos riscos em potencial da sua adição, é que pesquisas têm sugerido formas alternativas para substituir ou, pelo menos, reduzir a quantidade de nitrito adicionada no processo de cura. Uma alternativa viável é o uso da radiação gama, reconhecida como a melhor tecnologia para a destruição de microrganismos patogênicos e deterioradores em alimentos (Du et al., 2000; Ahn et al., 2003), e seu uso vem aumentando gradualmente em todo o mundo. Muitos estudos têm relatado que a radiação gama induz a radiólise do nitrito (Ahn et al., 2002a; Ahn et al., 2002b; Ahn et al., 2003; Jo et al., 2003; Ahn et al., 2004a; Ahn et al., 2004b) e das N-nitrosaminas (Ahn et al., 2002a; Ahn *et al.*, 2002b; Ahn et al., 2002c; Ahn et al., 2003; Jo et al., 2003; Ahn et al., 2004a; Ahn et al., 2004b), reduzindo a concentração desses componentes no produto final. No entanto Ahn et al. (2002b, 2003) reportaram que doses maiores que 5 kGy são necessárias para redução dos níveis de nitrito e de N-nitrosaminas em salsichas suínas durante a estocagem sob refrigeração (Ahn et al., 2002b).

Até há pouco tempo, por questões de segurança, era aconselhada a aplicação de doses de irradiação menores do que 10 kGy em alimentos. Entretanto, em 1999, a Organização Mundial da Saúde (OMS) reportou que alimentos irradiados com qualquer dose são seguros para o consumo, ou adequados nutricionalmente, se a dose aplicada for inferior àquela que comprometeria as propriedades funcionais e ou os atributos sensoriais do alimento (Who, 1999).

Um dos questionamentos associados à aplicação de altas doses de irradiação em produtos cárneos é a possibilidade de alterações indesejáveis nas suas características de qualidade (Houser et al., 2003). Os principais efeitos da radiação em alimentos são indiretos, atribuídos à ação de radicais hidroxílicos formados na radiólise da água constituinte. A reação desses radicais com

materiais orgânicos pode levar à alteração da estrutura molecular, o que altera a sua atividade e a propriedade normais. No caso de carnes, além de gerar a morte de microrganismos, por inativação do seu sistema enzimático, pode também, por outro lado, levar à alteração de propriedades funcionais de proteínas, com perda de textura, cor, capacidade emulsionante e de retenção de água, entre outros atributos de qualidade (Brewer, 2009). Da mesma forma, a adição de nitrito também pode influenciar a textura do produto final, uma vez que reage com resíduos de aminoácidos, formando ligações cruzadas entre as proteínas (Mohler, 1982).

Nos últimos anos, houve muitos estudos sobre os efeitos da aplicação de irradiação na qualidade de produtos curados, principalmente no que diz respeito à cor (Jo et al., 1999; Jo et al., 2000; Byun et al., 2002; Du & Ahn, 2002; Ahn et al., 2003; Jo et al., 2003; Ahn et al., 2004a; Cava et al., 2005; Sebranek et al., 2005; Chouliara et al., 2006), à oxidação lipídica (Ahn et al., 1999; Jo et al., 1999; Jo & Ahn, 2000b; Sommers et al., 2001; Byun et al., 2002; Jo et al., 2002; Sommers & Fan, 2002; Jo et al., 2003; Cava et al., 2005) e ao off-odor (Du & Ahn, 2002; Houser et al., 2003). Da mesma forma, vários estudos avaliaram os efeitos da adição de nitrito na qualidade microbiológica (Pierson & Smoot, 1982; Sanz et al., 1998; Scannell et al., 2001; Marco et al., 2006; Bingol & Bostan, 2007), na cor (Pierson & Smoot, 1982; Kilic et al., 2001; Deniz & Serdaroçlu, 2003; Moller et al., 2003; Sindelar et al., 2007), na ação antioxidante (Kanner et al., 1984; Igene et al., 1985; Morrissey & Tichivangana, 1985; Freybler et al., 1993; Stevanovic' & Sentjurc, 2000) e no sabor (Olesen et al., 2004; Sindelar et al., 2007). Entretanto, poucos trabalhos relataram os efeitos da adição de nitrito (Dong et al., 2007) ou da irradiação (Byun et al., 2000) sobre a textura de produtos cárneos cozidos, não sendo encontrado nenhum estudo que relatasse aos efeitos da concentração de nitrito e das doses de irradiação em conjunto.

Este experimento foi conduzido para estudar os efeitos da adição de nitrito e da irradiação nos atributos de qualidade de mortadela tipo bologna durante o armazenamento sob refrigeração. Tais informações são importantes para determinar o potencial da utilização da radiação gama na redução dos níveis de nitrito em produtos cozidos, sem sacrificar a segurança e a qualidade dos produtos elaborados.

4 MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi conduzido no Laboratório de Carnes e Derivados da Universidade Federal de Viçosa (UFV) e nos laboratórios de Tecnologia de Carnes e Pescados e de Análise de Alimentos do Departamento de Ciência de Alimentos (DCA) da Universidade Federal de Lavras (UFLA), Minas Gerais.

Os produtos foram irradiados no Laboratório de Irradiação Gama do Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN/CENEN), localizado em Belo Horizonte, MG.

4.1 Formulação e processamento das mortadelas

A elaboração das mortadelas foi baseada em formulações sem utilização de carne mecanicamente separada (CMS) (Tabela 1), sendo, no entanto, adicionado de diferentes níveis de nitrito de sódio (NaNO_2), de forma a se obter produtos com diferentes concentrações 0, 75 e 150 (ppm). As carnes e o toucinho foram obtidos no comércio local e os aditivos gentilmente cedidos pela New Max Industrial.

As carnes bovinas cortadas em cubos e congeladas (entre 0°C e 1°C) foram trituradas no *cutter* (Mainca, MD-40 BL), em alta velocidade, sendo adicionado em seguida a carne suína e o gelo. Após completa homogeneização, acrescentaram-se, na ordem, fosfato, sal, nitrito de sódio e temperos. Os ingredientes não-cárneos foram calculados em relação à carne e ao toucinho. Em seguida, a velocidade do *cutter* foi reduzida, quando, então, foram acrescentados o toucinho (cortado em cubo e congelados (entre 0°C e 1°C), a fécula e o ácido ascórbico. Procedeu-se à homogeneização até que a temperatura da massa atingisse 16°C, quando foi embutida em tripa artificial de 67 mm de diâmetro

(Startripz 67 vermelha, marca Spel), utilizando embutideira hidráulica (Mainca EM-25), de forma a obter mortadelas de ± 400 g.

TABELA 1 Formulação utilizada para a elaboração das mortadelas

Ingredientes/Aditivos	Quantidade (kg)
Carne do dianteiro bovino	42,2
Paleta suína	15,8
Toucinho	14,0
Fécula de mandioca	5,0
Água/gelo	20,0
Sal	1,90
Ácido ascórbico*	0,05
Polifosfatos Fosmax 320	0,50
Condimento para mortadela 913	0,50

*Foi utilizado o máximo de ácido ascórbico para reduzir a formação de N-Nitrosaminas e alterações oxidativas (Walters, 1984; Tompkin, 1986).

As mortadelas foram, então, transportadas para tachos encamisados a vapor e cozidas por imersão em água de acordo com a seguinte programação: 55°C/30 minutos, 65°C/30 minutos, 75°C/30 minutos e 85°C, até que a temperatura da massa atingisse 73°C (medida pela inserção de um termopar no centro da massa embutida de mortadela, ou seja, no ponto frio).

Após o cozimento, as mortadelas foram mantidas em banho de água e gelo (0°C), por 10 minutos e estocadas em câmara fria (4°C).

4.2 Irradiação dos produtos

Após 24 horas de estocagem refrigerada, as amostras foram acondicionadas em caixas de isopor, lacradas e enviadas ao Laboratório de

Irradiação Gama do Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN), onde foram irradiadas em irradiador Gama GB-127 (IR-214 da MDS Nordion), com fonte de cobalto-60 e operando numa taxa de dose média de 2,5 kGy/h. Os produtos foram submetidos a duas doses de irradiação (7,5 e 15 kGy), tendo as amostras controle (não-irradiadas) sido mantidas nas mesmas condições de temperatura e por períodos de tempo similares aos das amostras irradiadas.

Após a irradiação, as amostras foram conduzidas para o DCA/UFLA e novamente armazenadas por 24 horas, em câmara fria (4°C), para posterior análise.

4.3 Procedimentos analíticos

As mortadelas, armazenadas em câmara fria (4°C), foram analisadas nos tempos 0, 14, 28, 42, 56 e 70 dias após a irradiação quanto ao pH, à cor objetiva, à textura objetiva, à concentração residual de nitrito, aos pigmentos totais, aos pigmentos nitrosos e ao índice de TBARs.

4.3.1 Determinação do pH

Os valores de pH das mortadelas foram medidos por meio da inserção de eletrodo combinado, tipo penetração (DM20-Digimed), acoplado a um potenciômetro, em cinco pontos diferentes do produto.

4.3.2 Concentração residual de nitrito de sódio (NaNO₂)

O teor residual de nitrito nas mortadelas foi quantificado segundo o método oficial n.º. 973.31 da Association of Official Analytical Chemists-AOAC (1995).

Cerca de 5 g de amostra triturada em um béquer foi homogeneizada com 40 mL de água destilada aquecida a 80°C e transferido o homogenato para um balão volumétrico de 500 mL. Foram conduzidas lavagens sucessivas do béquer

com água quente até o volume do balão atingir aproximadamente 300 mL. O balão ficou em repouso em banho-maria durante duas horas, sendo agitado ocasionalmente. Após o repouso, o balão foi resfriado à temperatura ambiente, seu volume completado com água destilada e filtrado em papel de filtro quantitativo da marca Whatman.

Uma alíquota do filtrado que continha entre 5 e 50 µg de NaNO₂ foi adicionado de 2,5 mL de solução de sulfanilamida em ácido acético em um frasco de 50 mL e homogeneizado. Após cinco minutos, foram adicionados 2,5 mL do reagente NED e o volume completado com água destilada. A solução foi agitada e mantida em repouso durante 15 minutos para desenvolvimento da cor, quando foi medida a absorvância a 540 nm.

A concentração de nitrito de sódio foi obtida através de curva padrão (5 e 50 µg de NaNO₂).

4.3.3 Pigmentos heme totais (PHT)

O conteúdo de pigmentos heme totais foi determinado, em triplicata, pelo método espectrofotométrico da hematina ácida, proposto por Hornsey (1956). Uma porção de 10 gramas da amostra triturada foi homogeneizada, por 30 segundos, em 50 mL de solução de extração de Hornsey (acetona:água:HCl na proporção de 40:9:1) e deixado em repouso por cerca de 1 hora a 4°C. O homogenato obtido foi centrifugado por 15 minutos a 3.000g em centrífuga refrigerada (4°C), filtrado e uma alíquota usada para leitura da absorvância a 640 nm, utilizando a solução de extração como branco.

O total de pigmentos heme (PHT) presentes na amostra, expresso em µg de hematina ácida por grama de amostra, foi obtido pela seguinte equação:

$$\text{PHT} = A_{640 \text{ nm}} * 680.$$

4.3.4 Pigmentos nitrosos (PHN)

O conteúdo de pigmentos nitrosos formados foi determinado, em triplicata, pelo método espectrofotométrico da hematina, proposto por Hornsey (1956). Uma porção de 10 gramas da amostra triturada foi homogeneizada, por 30 segundos, em 50 mL de solução de extração de Hornsey (acetona:água:cisteína na proporção de 40:9:1) e deixado em repouso por 5 minutos a 4°C, em local escuro. O homogenato obtido foi centrifugado por 15 minutos, a 3.000g, em centrífuga refrigerada (4°C), filtrado e uma alíquota usada para leitura da absorvância a 540 nm, utilizando a solução de extração como branco.

O total de pigmentos nitrosos (PHN) presentes na amostra, expresso em µg de nitrosoematina por grama de amostra, foi obtido pela seguinte equação:

$$PHN = A_{540 \text{ nm}} * 290.$$

Também foi calculado o percentual de conversão de pigmentos nitrosos, obtida pela seguinte equação:

$$\% \text{ Conversão} = \frac{PHN}{PHT} * 100$$

em que

PHN = pigmentos nitrosos e

PHT = pigmentos heme totais.

4.3.5 Cor objetiva

A avaliação objetiva da cor final dos produtos foi realizada com o uso de um colorímetro Chroma Meters CR-300 (Konica Minolta Sensing Inc.),

seguindo as recomendações sugeridas por Ramos & Gomide (2007) para produtos curados. Para o cálculo dos índices de cor, foi estabelecido o iluminante D65 e o sistema de cor CIELAB.

Os índices de cor L^* , a^* e b^* foram obtidos considerando-se o valor médio de cinco leituras realizadas em diferentes pontos das mortadelas.

Os índices de saturação (C^*), ângulo de tonalidade (h^*) e diferença global (ΔE^*) foram calculados pelas seguintes fórmulas (Ramos & Gomide, 2007):

$$C^* = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2};$$

$$h^* = \tan^{-1} (b^*/a^*); \text{ e}$$

$$\Delta E^* = [(L^* - L^*_{\text{ref}})^2 + (a^* - a^*_{\text{ref}})^2 + (b^* - b^*_{\text{ref}})^2]^{1/2}$$

4.3.6 Oxidação lipídica (índice de TBARs)

As análises de índice de TBARs foram realizadas segundo metodologia descrita por Raharjo et al. (1992), com modificações. Foram pesados 10 g de amostra, misturados a 40 mL de ácido tricloroacético 5% (TCA) e 1 mL de BHT (10 $\mu\text{g} \cdot \text{BHT} \cdot \text{g}^{-1}$ de lipídeo), sendo esta solução filtrada em papel de filtro.

O filtrado foi acrescentado de 0,08 M de TBA e aquecido em banho-maria fervente por 5 minutos. Depois de resfriado à temperatura ambiente, uma alíquota foi retirada para leitura da absorvância a 531 nm.

Os valores foram expressos em miligramas de malonaldeído por quilograma de amostra (mg de malonaldeído/kg), por meio do seguinte cálculo: valor da absorvância lida x 7,38 (fator de correção para as leituras das absorvâncias).

4.3.7 Textura objetiva

Amostras de cada tratamento foram analisadas pelo teste de análise de perfil de textura (TPA), em um texturômetro TA.XT2i Texture Analysis (Stable

Micro System Inc.) conectado a um computador equipado com o programa Texture Expert®.

O teste de análise de perfil de textura (TPA) foi conduzido, segundo procedimento descrito por Ramos et al. (2007), para produtos curados. Cinco amostras (replicatas), cortadas em cubos de 1,0 cm de aresta, foram comprimidas, paralelamente ao seu comprimento, duas vezes até 50% de seu tamanho, com um prato de compressão de 7,5 cm de diâmetro. Não houve tempo de repouso da amostra entre os dois ciclos de compressão. A curva de deformação com o tempo foi obtida a uma velocidade de compressão de 180 mm/minuto (3 mm/s), a partir da qual foram gerados seis parâmetros de textura, segundo Ramos & Gomide (2007): fraturabilidade, dureza, coesividade, adesividade, elasticidade e mastigabilidade.

4.4 Análises estatísticas

Os tratamentos foram dispostos em um delineamento inteiramente casualizado (DIC), em esquema de parcelas subdivididas, tendo nas parcelas um fatorial 3x3 com concentrações de nitrito (0, 75 e 150 ppm) e níveis de irradiação (0, 7,5 e 15 kGy) e, nas subparcelas, os tempos (0, 14, 28, 42, 56, e 70 dias) de armazenamento. O experimento foi realizado com duas repetições, totalizando 108 unidades experimentais.

Os dados foram interpretados por meio de análise de variância (ANOVA). Quando necessário, as médias foram comparadas utilizando-se o teste de Tukey, a 5% de probabilidade, enquanto os modelos foram escolhidos baseando-se no coeficiente de determinação e na significância dos coeficientes de regressão, utilizando o teste “t”, a 5% de probabilidade.

As análises estatísticas foram realizadas utilizando-se o programa SAS® (Statistical Analysis Systems), versão 9.0.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Determinação do pH

Não houve efeito significativo ($P>0,05$) para nenhuma das interações entre os tratamentos. Também não houve ($P>0,05$) efeito isolado dos níveis de nitrito e doses de irradiação, sendo apenas significativo ($P<0,05$) o efeito do tempo de armazenamento sob refrigeração.

Os valores de pH das mortadelas reduziram durante o período de armazenamento refrigerado (Figura 1), provavelmente devido ao processo de oxidação lipídica, como indicado pelo índice de TBARs (item 5.5).

Outro fator que leva à redução do pH durante o armazenamento refrigerado de carnes curadas cozidas embaladas a vácuo é o crescimento de bactérias lácticas psicrotróficas, que é favorecido pela sua tolerância ao sal. O nitrito apresenta apenas um pequeno efeito inibidor no seu crescimento. Em geral, os microrganismos dominantes são *Lactobacillus* ou *Leuconostoc* spp. As bactérias lácticas causam deterioração nas carnes curadas embaladas a vácuo com consequente produção de gosto ácido, descoloração, ocorrência de limosidade, produção de gás e redução de pH (Zhang & Holley, 1999).

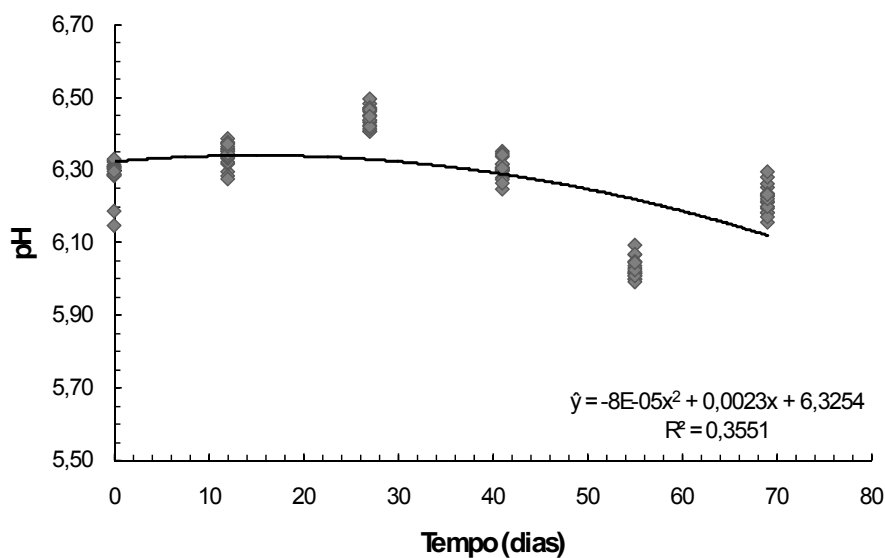


FIGURA 1 Variação dos valores de pH de mortadelas durante o período de armazenamento sob refrigeração (4°C).

Liu et al. (2009), estudando o efeito da adição de alecrim na qualidade da salsicha de frango durante o armazenamento refrigerado, constataram que os valores de pH da salsicha foram em torno de 6,4 e permaneceram estáveis durante os primeiros 10 dias, diminuindo para 5,9 até o 14º dia, nas amostras controle (sem adição de alecrim).

Kuo & Chen (2004), estudando o efeito combinado do lactato do sódio e da irradiação na cor de salsichas durante o armazenamento, observaram redução nos valores de pH de 6,90 para 4,90 nas amostras controle (sem lactato), durante o armazenamento por 30 dias.

5.2 Concentração residual de nitrito de sódio (NaNO₂)

Para a concentração residual de nitrito, foi verificado efeito significativo ($P < 0,05$) apenas para as interações do tempo com os níveis de nitrito e com as doses de irradiação, sendo estas decompostas e o efeito do tempo avaliado dentro de cada parâmetro por meio da análise de regressão.

Para a interação dos níveis de nitrito com o tempo, pode-se observar, pela Figura 2, que o comportamento foi similar. As equações e os coeficientes de inclinação das curvas de regressão estão descritos na Tabela 2.

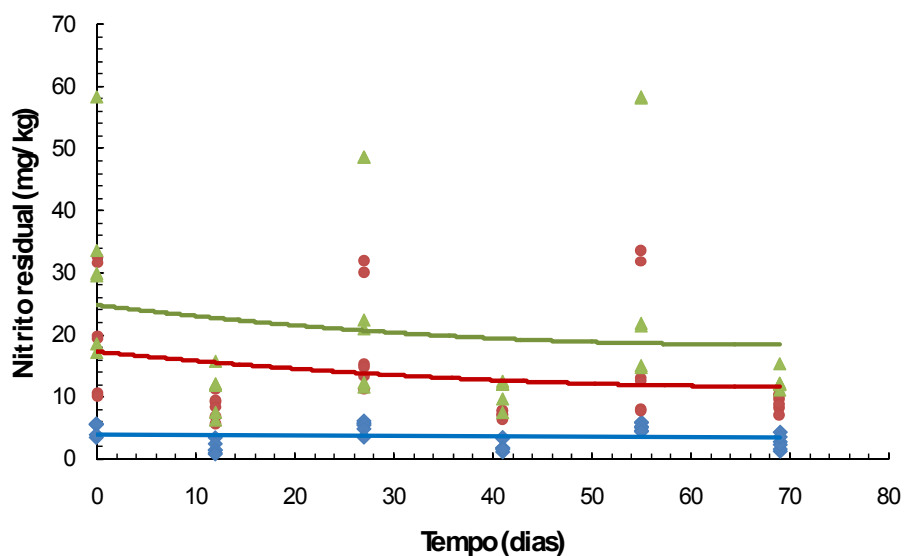


FIGURA 2 Efeito dos níveis de adição de nitrito de sódio (NO₂Na) sobre os valores de nitrito residual (mg/kg) de mortadelas, durante o armazenamento refrigerado (4°C): (♦) controle (sem adição de nitrito); (●) 75 mg de NO₂/kg; e (▲) 150 mg de NO₂/kg.

TABELA 2 Equações ajustadas e respectivos coeficientes de regressão (R^2) para valores de nitrito residual (\hat{y} , em mg/kg) de mortadelas elaboradas com diferentes níveis de nitrito, durante o armazenamento refrigerado (x , em dias)

Nitrito adicionado	Equação ajustada	R^2 (%)
0 mg/kg (Controle)	$\hat{y} = 0,068 \cdot x + 6,04$	0,9516
75 mg/kg	$\hat{y} = 0,0097 \cdot x^2 - 0,955 \cdot x + 29,60$	0,9303
150 mg/kg	$\hat{y} = 0,0140 \cdot x^2 - 1,490 \cdot x + 46,59$	0,9212

Significativas, a 5% de probabilidade, pelo teste “t”.

Foi detectada a presença de nitrito residual nas amostras não adicionadas desse aditivo, possivelmente pela contaminação de alguns ingredientes, tais como sal e condimento para mortadela, utilizados para a elaboração do produto.

Estudos realizados por Cassens (1997) demonstraram que, após o nitrito (NO_2) ser adicionado no sistema cárneo, aproximadamente de 1% a 10% é oxidado a nitrato (NO_3), de 5% a 10% reage com a mioglobina, de 5% a 15% com os grupos sulfidrila das proteínas, de 1% a 5% com gordura, de 20% a 30% com proteína e cerca de 1% a 5% transformam-se em gás e se desprendem do produto. Em consequência, essas reações complexas do nitrito podem contribuir para a variação na quantidade residual de nitrito em produtos cárneos.

Dong et al. (2007) observaram que o índice de nitrito em salsichas cozidas diminuiu rapidamente durante o armazenamento refrigerado. Cassens et al. (1979) também verificaram que a quantidade de nitrito detectável em produtos cárneos curados reduz drasticamente com o aquecimento e continua a diminuir durante o subsequente armazenamento. Ainda segundo os mesmos autores, menos de 50% do nitrito adicionado pode ser detectado analiticamente, uma vez que o produto foi cozido e armazenado. Dessa forma, a maioria dos produtos curados contém entre 5 e 30 mg/kg de nitrito livre. No presente

experimento, os níveis de nitrito residual médio nas amostras adicionadas de nitrito de sódio (75 e 150 mg/kg) mantiveram-se entre esses valores (5 e 30 mg/kg) durante todo o tempo de estocagem sob refrigeração.

Pérez-Rodríguez et al. (1996) também relataram redução nos níveis residuais de nitrito em salsichas, dependente da concentração de nitrito adicionada, ou seja, após 18 dias de armazenamento refrigerado, a concentração de nitrito residual das amostras elaboradas com 75, 125 e 250 mg/kg de nitrito atingiram valores de 39, 59 e 146 mg/kg, respectivamente. No presente experimento, durante o período de armazenamento, as amostras adicionadas de 75 e 150 mg/kg tinham níveis residuais médios de nitrito de 16 e 24 mg/kg, respectivamente. Os valores do nitrito residual encontrados no presente trabalho foram consideravelmente inferiores aos relatados por Pérez-Rodríguez et al. (1996), para o mesmo período de armazenamento.

Para a interação das doses de irradiação com o tempo, pode-se observar, pela Figura 3, que o efeito do tempo de armazenamento foi similar para as diferentes doses de irradiação. As equações e os coeficientes de inclinação das curvas de regressão ajustadas estão descritos na Tabela 3.

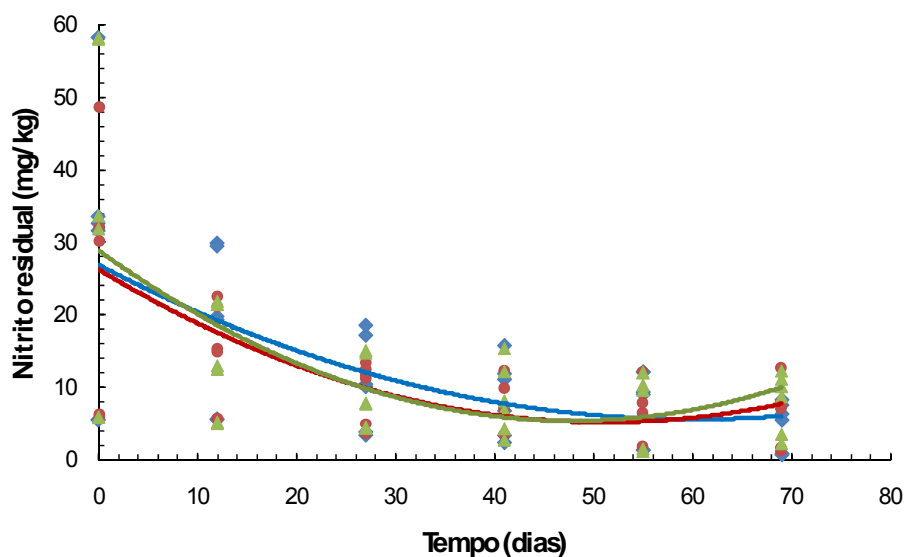


FIGURA 3 Efeito das doses de irradiação gama sobre os valores de nitrito residual (mg/kg) de mortadelas, durante o armazenamento refrigerado (4°C): (◆) controle (0 kGy); (●) 7,5 kGy; e (▲) 15 kGy.

TABELA 3 Equações ajustadas e respectivos coeficientes de regressão (R^2) para valores de nitrito residual (\hat{y} , em kGy) de mortadelas irradiadas por diferentes doses, durante o armazenamento refrigerado (x , em dias)

Irradiação	Equação ajustada	R^2 (%)
0 kGy (Controle)	$\hat{y} = 0,0059.x^2 - 0,706.x + 26,96$	0,9750
7,5 kGy	$\hat{y} = 0,0081.x^2 - 0,831.x + 26,40$	0,9361
15 kGy	$\hat{y} = 0,010.x^2 - 0,987.x + 28,96$	0,8820

Significativas ao nível de 5% de probabilidade pelo teste “t”.

Simie (1983) relatou que a redução do nitrito pela irradiação ocorre, provavelmente, pela sua reação com radical hidroxil produzido pela radiólise da água. Ahn et al. (2003), trabalhando com salsichas irradiadas (0, 5 e 10 kGy)

embaladas em atmosfera modificadas com diferentes gases (CO₂, N₂ e CO₂/N₂) e armazenadas sob refrigeração durante quatro semanas, observaram que os níveis de nitrito diminuíram significativamente nas amostras irradiadas, utilizando a dose de 10 kGy. Comparando-as com a amostra controle (não irradiada), estes autores detectaram uma redução de 20% para o sistema contendo apenas CO₂, 12% para N₂ e 46% para a mistura CO₂/N₂.

Ahn et al. (2004a), trabalhando com salsichas irradiadas (0, 5, 10 e 20 kGy), estocadas sob refrigeração durante quatro semanas, verificaram que o processo da irradiação reduziu os índices de nitrito das salsichas e essa redução foi inversamente proporcional à dose de irradiação aplicada. A maior dose de irradiação aplicada (20 kGy) reduziu os índices residuais do nitrito em 17% para as salsichas embaladas a vácuo.

Cassens (1997) relatou que o índice residual do nitrito encontrado em carnes curadas, em comercialização no mercado, é de aproximadamente 10 mg/kg.

No presente experimento, no período de 28 dias de armazenamento, as amostras irradiadas com a dose de 7,5 e 15 kGy foram comparadas com a amostra controle (não irradiada) e foi detectada redução dos níveis de nitrito de, aproximadamente, 20% e 22% para as amostras irradiadas a 7,5 e 15 kGy, respectivamente. Estes resultados são similares aos obtidos por Ahn et al. (2004a) e estão de acordo com os índices de nitrito residual observados por Cassens (1997) em salsichas comerciais.

5.3 Pigmentos heme totais (PHT) e pigmentos nitrosos (PHN)

Houve efeito significativo ($P < 0,05$) para a interação entre os tratamentos (níveis de nitrito \times doses de irradiação \times tempo de armazenamento), tanto para os teores de pigmentos heme totais (PHT) quanto para os de pigmentos nitrosos (PNO) e, conseqüentemente, para o percentual de conversão. Os efeitos foram,

então, decompostos e cada interação entre os níveis de nitrito e as doses de irradiação foi avaliada com o tempo de estocagem por meio da análise de regressão (Figuras 4, 5 e 6). As equações e os coeficientes de regressão de cada interação são representados nas Tabelas 4, 5 e 6.

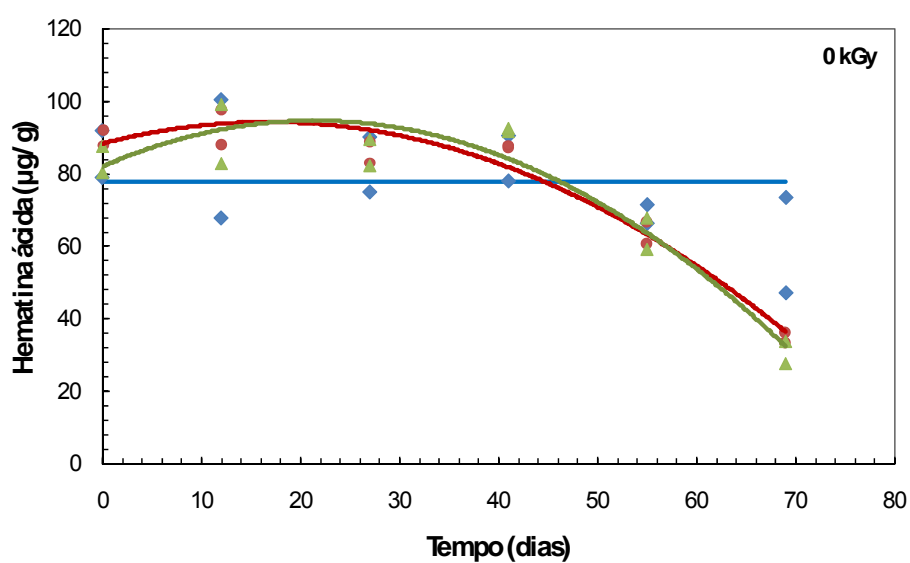


FIGURA 4 Efeito dos níveis de nitrito e doses de irradiação gama sobre os valores de pigmentos heme totais (μg de hematina ácida/g) de mortadelas, durante o armazenamento refrigerado (4°C): (\blacklozenge) controle (sem adição de nitrito); (\bullet) 75 mg de NO_2/kg ; e (\blacktriangle) 150 mg de NO_2/kg . (...continua...)

“Figura 4, Cont.”

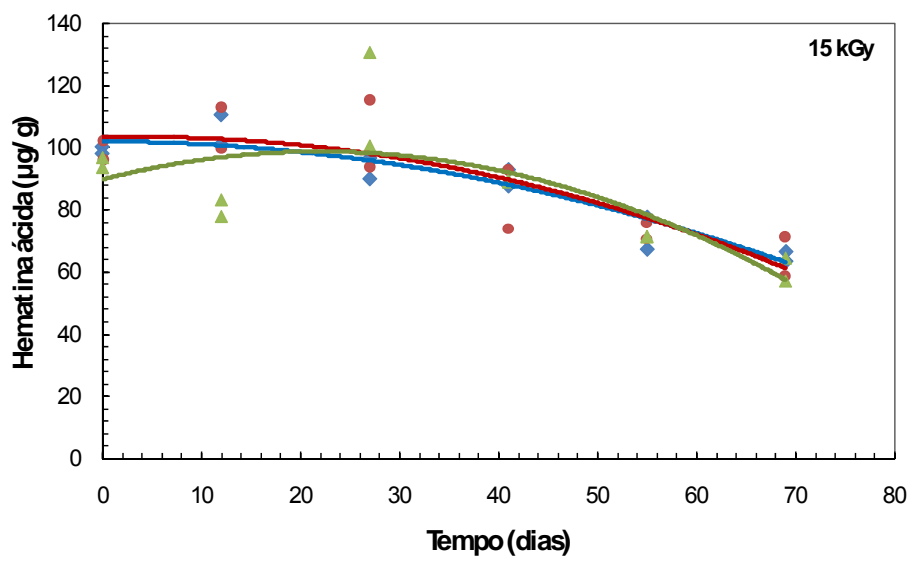
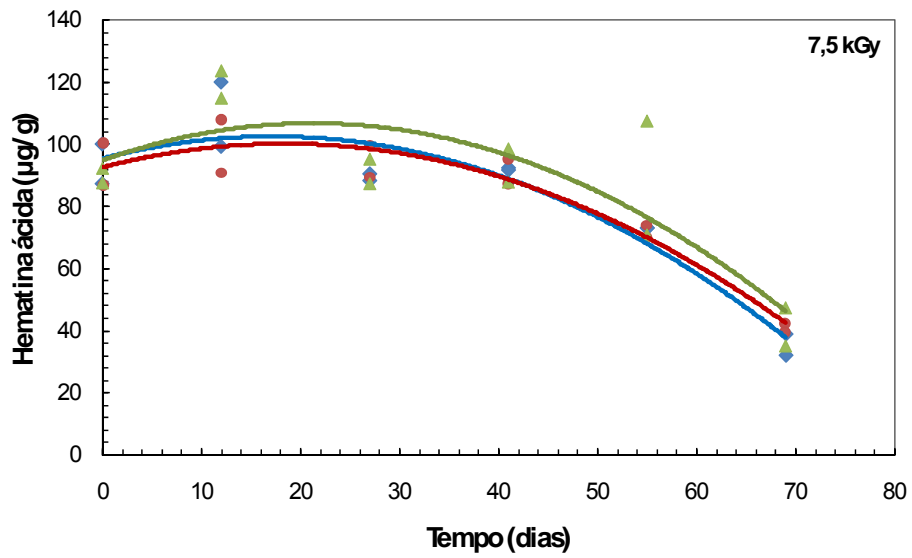


TABELA 4 Equações ajustadas e respectivos coeficientes de regressão (R^2) para valores de pigmentos heme totais (\hat{y} , em μg de hematina ácida/g), durante armazenamento refrigerado (x , em dias) de mortadelas elaboradas com diferentes níveis de nitrito e submetidas a diferentes doses de irradiação

Irrad. (kGy)	NO ₂ (mg/kg)	Equação ajustada	R ² (%)
0	0	$\hat{y} = 77,81$	-
0	75	$\hat{y} = -0,0212 \cdot x^2 + 0,7095 \cdot x + 88,38$	0,9523
0	150	$\hat{y} = -0,0274 \cdot x^2 + 1,1754 \cdot x + 82,00$	0,9137
7,5	0	$\hat{y} = -0,024 \cdot x^2 + 0,8252 \cdot x + 95,60$	0,8897
7,5	75	$\hat{y} = -0,0224 \cdot x^2 + 0,823 \cdot x + 95,59$	0,9248
7,5	150	$\hat{y} = -0,0264 \cdot x^2 + 1,1194 \cdot x + 94,89$	0,7004
15	0	$\hat{y} = -0,008 \cdot x^2 - 0,0128 \cdot x + 102,02$	0,8925
15	75	$\hat{y} = -0,0099 \cdot x^2 + 0,0729 \cdot x + 103,33$	0,7500
15	150	$\hat{y} = -0,0187 \cdot x^2 + 0,8191 \cdot x + 89,95$	0,5645

Significativas, a 5% de probabilidade, pelo teste “t”.

Na Figura 4, o gráfico que representa o efeito dos níveis de nitrito na dose de irradiação de 0 kGy durante o armazenamento refrigerado ilustra uma redução dos pigmentos heme totais com o tempo, o que se deve, principalmente, à ação de microrganismos, visto que essas amostras não foram submetidas ao tratamento de radiação. Na mesma figura, observa-se que a aplicação da dose de 7,5 kGy favoreceu interação sobre as proteínas (radiólise) e, conseqüentemente, também houve perda dos pigmentos heme totais. Ainda na mesma figura, observa-se que a aplicação de 15 kGy ocasionou a formação de monóxido de carbono como efeito da radiólise, promovendo menor redução dos níveis de pigmentos heme totais, o que manteve por mais tempo a cor dos produtos submetidos a essa dose de radiação. O monóxido de carbono liga-se à molécula de globinaemocromo formando o pigmento carboximioglobina que tem mais

estabilidade que o nitrosoemocromo. A sua maior estabilidade se deve à alta afinidade da molécula de mioglobina pelo monóxido de carbono, especialmente na ausência de oxigênio, permitindo sua estocagem por longos períodos de tempo (Ramos & Gomide, 2007).

O pigmento de carboximioglobina tem sido relatado como responsável pela coloração rósea que ocorre, ocasionalmente, em carnes de peru assadas em fornos a gás, nos quais são produzidas pequenas quantidades de monóxido de carbono. Ahn & Nam (2002) também atribuem ao monóxido de carbono e à carboximioglobina formada o surgimento da coloração vermelha rosada, observada em peitos de peru irradiados.

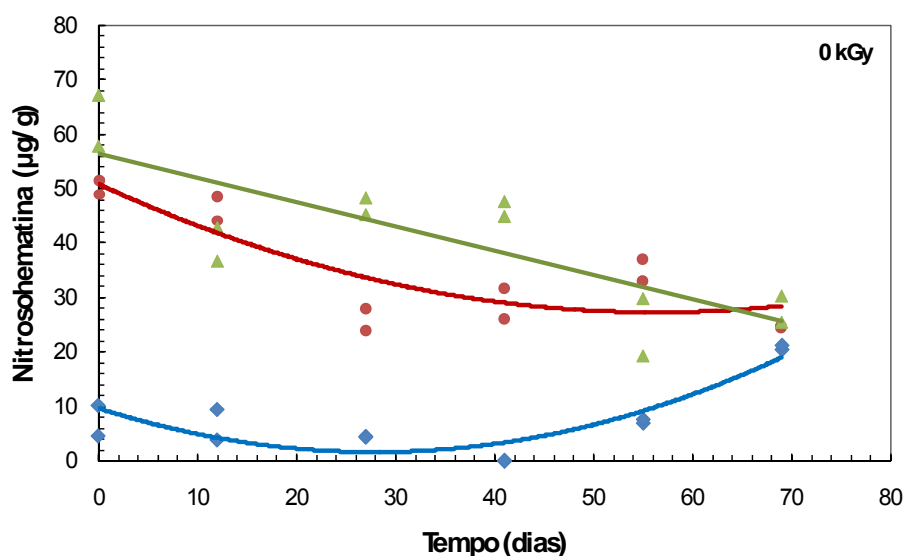


FIGURA 5 Efeito dos níveis de nitrito e doses de irradiação gama sobre os valores de pigmentos heme nitrosos (μg de nitrosohematina/g) de mortadelas, durante o armazenamento refrigerado (4°C): (\blacklozenge) controle (sem adição de nitrito); (\bullet) 75 mg de NO_2/kg ; e (\blacktriangle) 150 mg de NO_2/kg . (...continua...)

“Figura 5, Cont.”

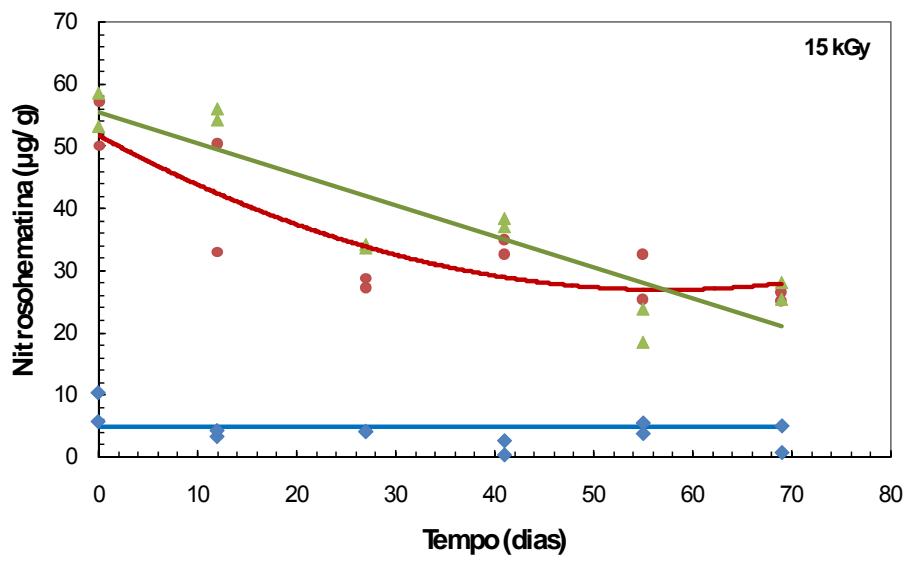
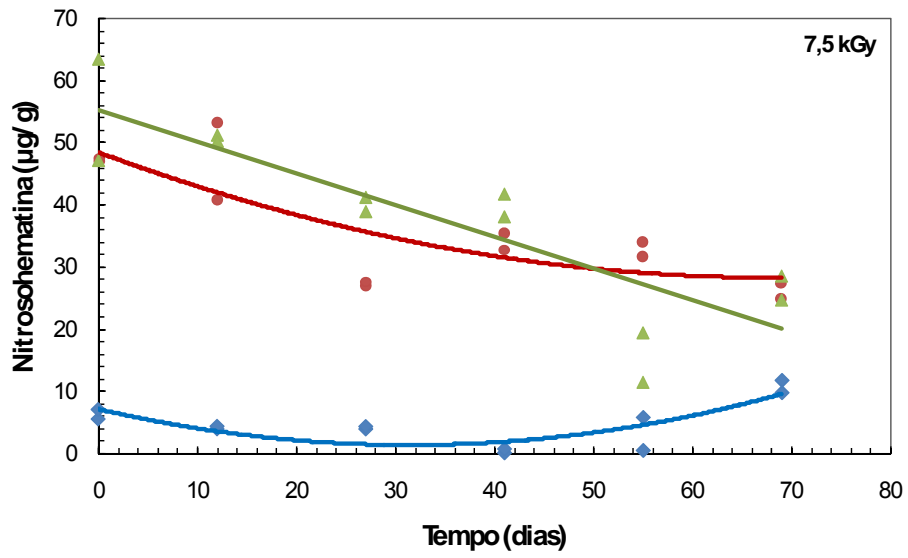


TABELA 5 Equações ajustadas e respectivos coeficientes de regressão (R^2) para valores de pigmentos heme nitrosos (\hat{y} , em μg de nitrosohematina/g), durante armazenamento refrigerado (x , em dias) de mortadelas elaboradas com diferentes níveis de nitrito e submetidas a diferentes doses de irradiação

Irrad. (kGy)	NO ₂ (mg/kg)	Equação ajustada	R ² (%)
0	0	$\hat{y} = 0,0104.x^2 + 0,5794.x + 9,64$	0,8440
0	75	$\hat{y} = 0,0074.x^2 + 0,8295.x + 50,82$	0,7092
0	150	$\hat{y} = -0,4463.x + 56,461$	0,6483
7,5	0	$\hat{y} = -0,0058.x^2 + 0,3626.x + 7,22$	0,6762
7,5	75	$\hat{y} = 0,0043.x^2 - 0,5877.x + 48,49$	0,6539
7,5	150	$\hat{y} = -0,5102.x + 55,394$	0,7432
15	0	$\hat{y} = 4,82$	-
15	75	$\hat{y} = 0,0076.x^2 - 0,8678.x + 51,88$	0,7365
15	150	$\hat{y} = -0,501.x + 55,547$	0,8091

Significativas, a 5% de probabilidade pelo teste “t”.

Na Figura 5, o gráfico que representa o efeito dos níveis de nitrito nas dose de irradiação de 0, 7,5 e 15 kGy durante o armazenamento refrigerado ilustra uma redução dos pigmentos heme nitrosos com o tempo. Isso ocorre porque os pigmentos nitrosomioglobina e nitrosoemcromo são fotossensíveis, ocorrendo dissociação do óxido nítrico (NO) da molécula da mioglobina na presença de luz. Assim, se, nas condições de armazenamento, o produto curado for exposto à luz e ao oxigênio, o óxido nítrico dissociado será rapidamente oxidado a nitrito (NO₂) e o produto sofrerá descoloração, conhecida como *fading*. Se, no entanto, não houver oxigênio presente, o óxido nítrico não é oxidado e pode recombinar com o grupamento heme. Por isso é que, no presente experimento, as mortadelas foram contidas em embalagens apropriadas, que conferem proteção contra a luz e o oxigênio, como uma forma de minimizar o

fading sofrido pelos produtos curados durante o armazenamento (Ramos & Gomide, 2007).

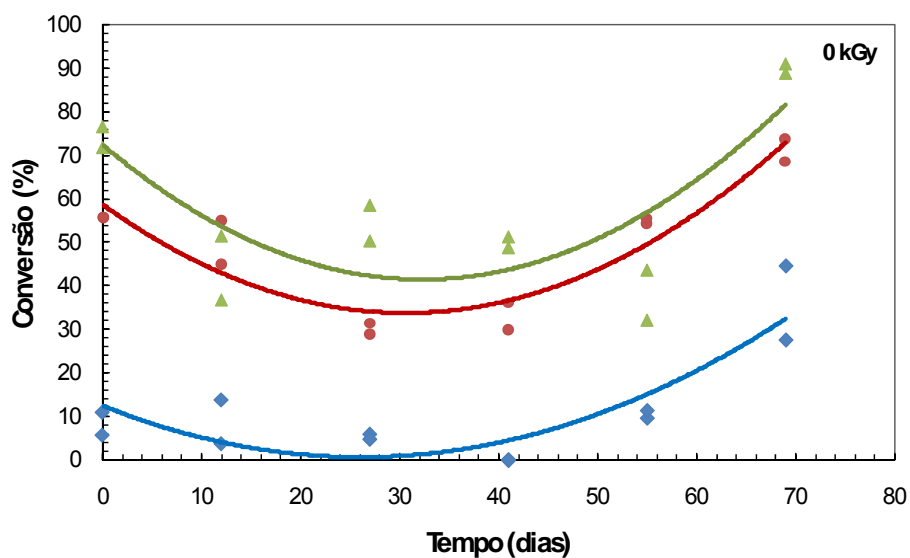


FIGURA 6 Efeito dos níveis de nitrito e doses de irradiação gama sobre os percentuais de pigmentos heme totais convertidos a nitrosos em mortadelas, durante o armazenamento refrigerado (4°C): (◆) controle (sem adição de nitrito); (●) 75 mg de NO₂/kg; e (▲) 150 mg de NO₂/kg. (...continua...)

“Figura 6, Cont.”

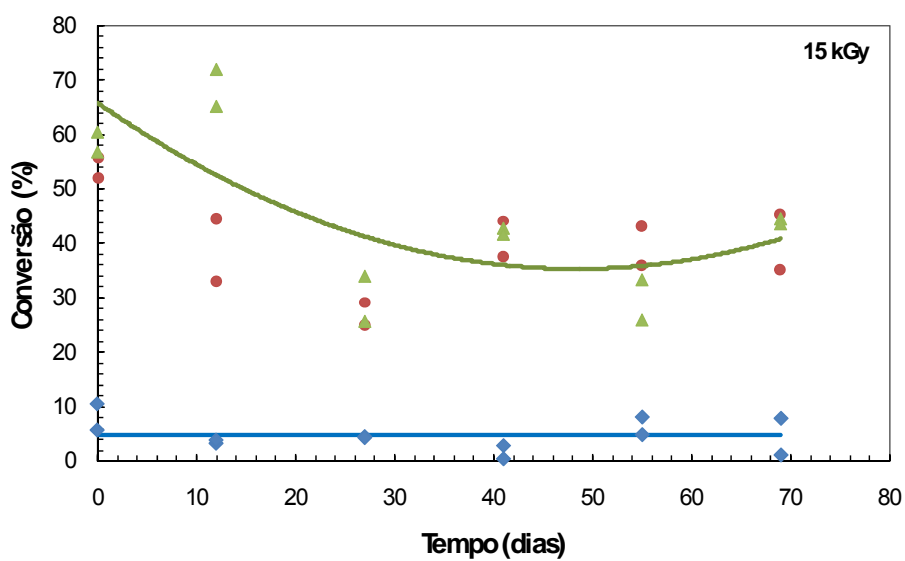
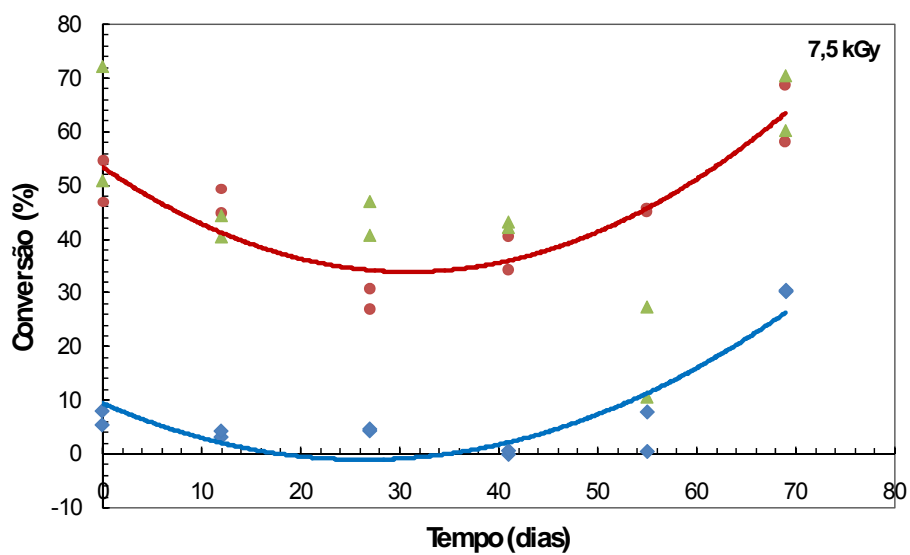


TABELA 6 Equações ajustadas e respectivos coeficientes de regressão (R^2) para os percentuais de pigmentos heme totais convertidos a nitrosos em (\hat{y} , %), durante armazenamento refrigerado (x , em dias) de mortadelas elaboradas com diferentes níveis de nitrito e submetidas a diferentes doses de irradiação

Irrad. (kGy)	NO₂ (mg/kg)	Equação ajustada	R² (%)
0	0	$\hat{y} = 0,017. x^2 - 0,904. x + 12,54$	0,8549
0	75	$\hat{y} = 0,026. x^2 - 1,623. x + 58,75$	0,8994
0	150	$\hat{y} = 0,030. x^2 - 1,923. x + 72,55$	0,6367
7,5	0	$\hat{y} = 0,015. x^2 - 0,794. x + 9,49$	0,8158
7,5	75	$\hat{y} = 0,020. x^2 - 1,262. x + 53,43$	0,8953
7,5	150	<i>Não significativo</i>	-
15	0	$\hat{y} = 4,81$	-
15	75	<i>Não significativo</i>	-
15	150	$\hat{y} = 0,013. x^2 - 1,260. x + 65,92$	0,5659

Significativas, a 5% de probabilidade, pelo teste “t”.

Na Figura 6, o gráfico que representa o efeito dos níveis de nitrito e das doses de radiação sobre os pigmentos heme totais convertidos a nitrosos em mortadelas durante o armazenamento refrigerado é uma hipérbole (redução seguida de aumento). A queda dos pigmentos heme totais foi mais acentuada do que dos pigmentos nitrosos, o que fez a conversão se comportar dessa maneira praticamente constante. Isso significa que o teor de pigmentos, neste caso, não fez efeito, pois o percentual de conversão foi mantido.

É raro apenas uma forma química de pigmento estar presente na superfície do produto cárneo. Geralmente, duas ou mais formas estarão presentes, mas a cor resultante será aquela característica da forma química predominante (Ramos & Gomide, 2007).

5.4 Cor objetiva

Houve efeito significativo ($P < 0,05$) da interação tripla entre os tratamentos (níveis de nitrito \times doses de irradiação \times tempo de armazenamento) para o índice de vermelho (a^*) e para o ângulo de tonalidade (h^*).

Os efeitos para o índice de vermelho (a^*) foram decompostos, bem como cada interação entre os níveis de nitrito e as doses de irradiação avaliadas com o tempo de estocagem por meio da análise de regressão (Figuras 7 e 8). Os coeficientes de inclinação das curvas de regressão de cada interação estão representados nas Tabelas 7 e 8.

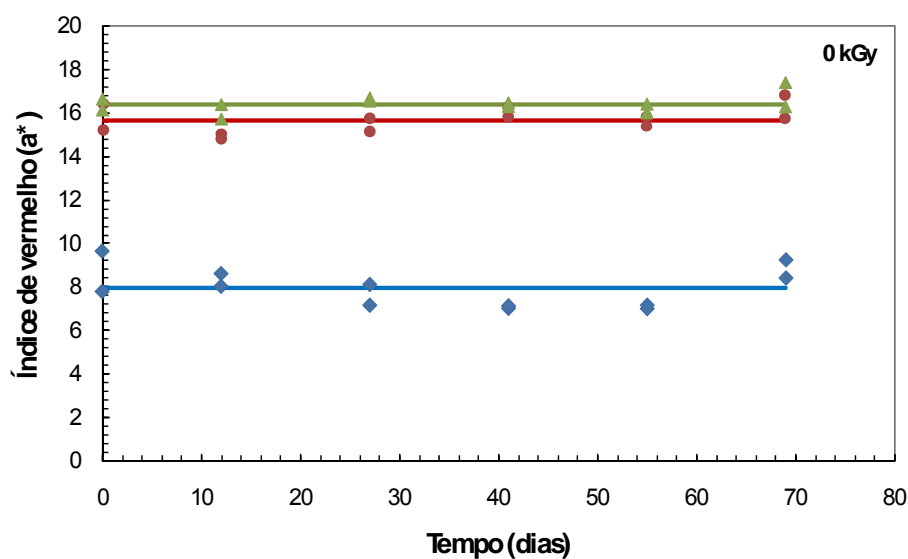


FIGURA 7 Efeito dos níveis de nitrito e doses de irradiação gama sobre os índices de vermelho (a^*) de mortadelas, durante o armazenamento refrigerado (4°C): (♦) controle (sem adição de nitrito); (●) 75 mg de NO_2/kg ; e (▲) 150 mg de NO_2/kg . (...continua...)

“Figura 7, Cont.”

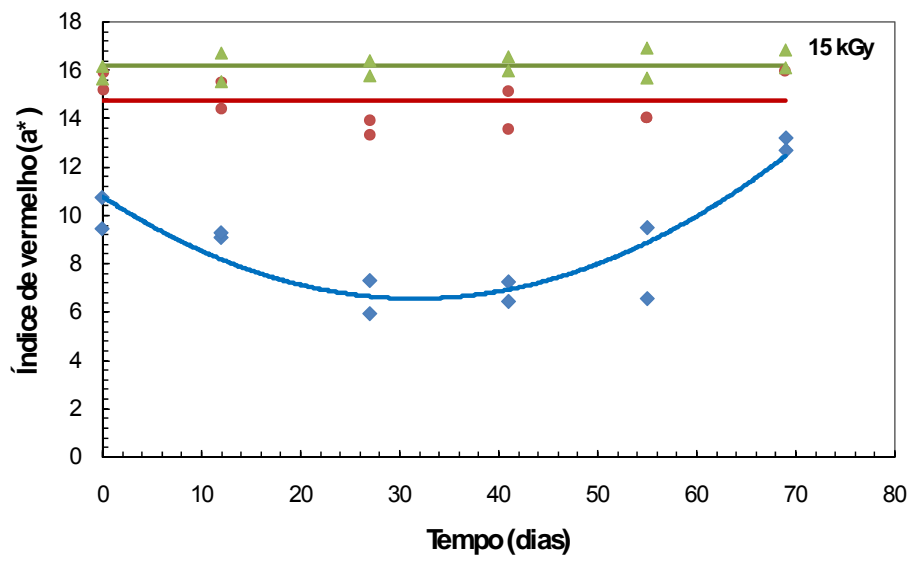
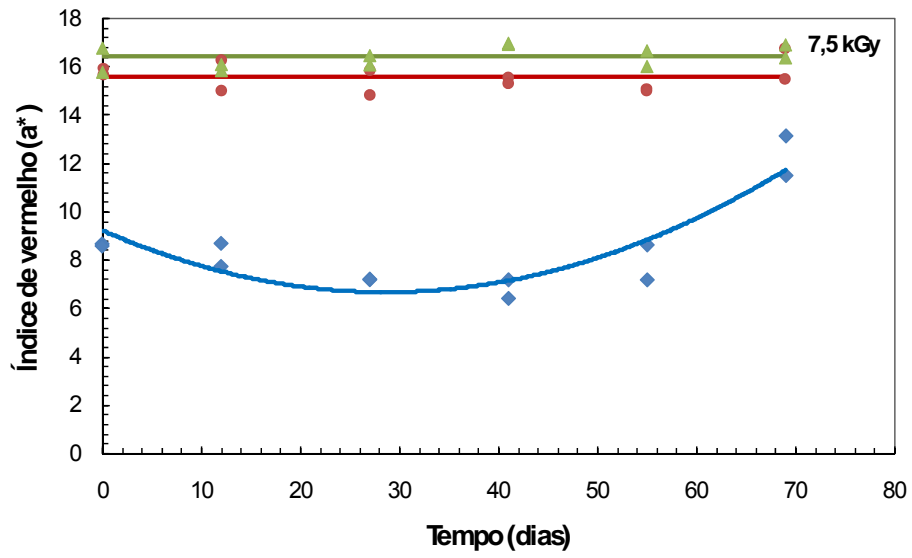


TABELA 7 Equações ajustadas e respectivos coeficientes de regressão (R^2) para os índices de vermelho (\hat{y}), durante armazenamento refrigerado (x , em dias) de mortadelas elaboradas com diferentes níveis de nitrito e submetidas a diferentes doses de irradiação

Irrad. (kGy)	NO ₂ (mg/kg)	Equação ajustada	R ² (%)
0	0	$\hat{y} = 7,96$	-
0	75	$\hat{y} = 15,69$	-
0	150	$\hat{y} = 16,42$	-
7,5	0	$\hat{y} = 0,003.x^2 - 0,177.x + 9,23$	0,8772
7,5	75	$\hat{y} = 15,60$	-
7,5	150	$\hat{y} = 16,42$	-
15	0	$\hat{y} = 0,004.x^2 - 0,266.x + 10,76$	0,9138
15	75	$\hat{y} = 14,77$	-
15	150	$\hat{y} = 16,22$	-

Significativas, a 5% de probabilidade, pelo teste “t”.

Na Figura 7, o gráfico que representa o efeito dos níveis de nitrito na dose de irradiação de 0 kGy durante o armazenamento refrigerado ilustra que o índice de vermelho (a^*) se manteve constante com o tempo. Na mesma figura, observa-se que a aplicação da dose de 7,5 kGy nas amostras não adicionadas de nitrito favoreceu a interação sobre as proteínas (radiólise) e, conseqüentemente, reduziu o índice de vermelho até o período de 30 dias de armazenamento. Posteriormente, o índice de vermelho foi aumentando gradativamente, o que pode estar associado ao monóxido de carbono produzido na radiólise; a ligação do monóxido de carbono com a globinaemocromo origina a carboxiemocromo, que aumenta a cor vermelha (Ramos & Gomide, 2007). Nas amostras adicionadas de nitrito, verificou-se que o nitrito conferiu um efeito protetor mantendo o índice de vermelho constante com o tempo. Ainda na mesma figura,

observa-se que a aplicação de 15k produz efeitos similares às doses de irradiação de 7,5 kGy, porém, numa intensidade maior, como consequência de a dose utilizada também ser maior.

Em estudo modelo com carnes curadas irradiadas, embaladas a vácuo e armazenadas a 4°C por 21 dias, Shahidi et al. (1991) observaram queda nos valores de a^* para as amostras controle (sem nitrito) irradiadas com 5 e 10 kGy, o que é condizente com os resultados deste experimento, no período estudado. Jo et al. (2003) também observaram redução nos valores de a^* de salsichas elaboradas sem nitrito e submetidas à irradiação (5 kGy) durante 21 dias de estocagem.

Entretanto, diferentemente deste trabalho, nas amostras sem nitrito e não irradiadas, Shahidi et al. (1991) observaram aumento consistente nos valores de a^* com o tempo de armazenamento. O mesmo foi observado por Jo et al. (2003), em salsichas controle (sem nitrito e não irradiadas).

Com relação à adição de nitrito, ambos os trabalhos de Shahidi et al. (1991) e Jo et al. (2003) reportaram que nenhuma alteração acontece nos valores de a^* durante três semanas de estocagem (embaladas à vácuo) nas amostras contendo 156 mg/kg de nitrito, quando submetidas à irradiação. Esse comportamento também foi observado no presente experimento e por Ahn et al. (2004a) que, embora tenham relatado, logo após a irradiação, o efeito proporcional da dose aplicada (0, 5, 10 e 20 kGy) na redução dos valores de a^* (*redness*), não observaram alterações durante quatro semanas de estocagem.

Por fim, nas amostras contendo nitrito (156 mg/kg) porém, não irradiadas, os dados são controversos, ou seja, enquanto Shahidi et al. (1991) observaram uma queda significativa nos valores de a^* , Jo et al. (2003), assim como no presente experimento, não observaram nenhuma alteração durante o armazenamento.

Mudanças na cor vermelha de produtos cárneos irradiados ocorrem devido à utilização de diferentes embalagens ou tipos das carnes, visto que formam diferentes pigmentos. Os níveis de nitrosomioglobina de salsichas irradiadas variaram de acordo com a embalagem. A redução dos índices de nitrosomioglobina na salsicha é muito consistente com a perda do *redness*, o que pode ser atribuído à denitrosilação da nitrosomioglobina, ocasionada pela irradiação gama.

Da mesma forma que para o índice de vermelho (a^*), os efeitos da interação tripla observada para o ângulo de tonalidade foram decompostos e cada interação entre os níveis de nitrito e as doses de irradiação avaliada com o tempo de estocagem por meio da análise de regressão (Figura 7). Os coeficientes de regressão de cada interação estão representados nas Tabela 7.

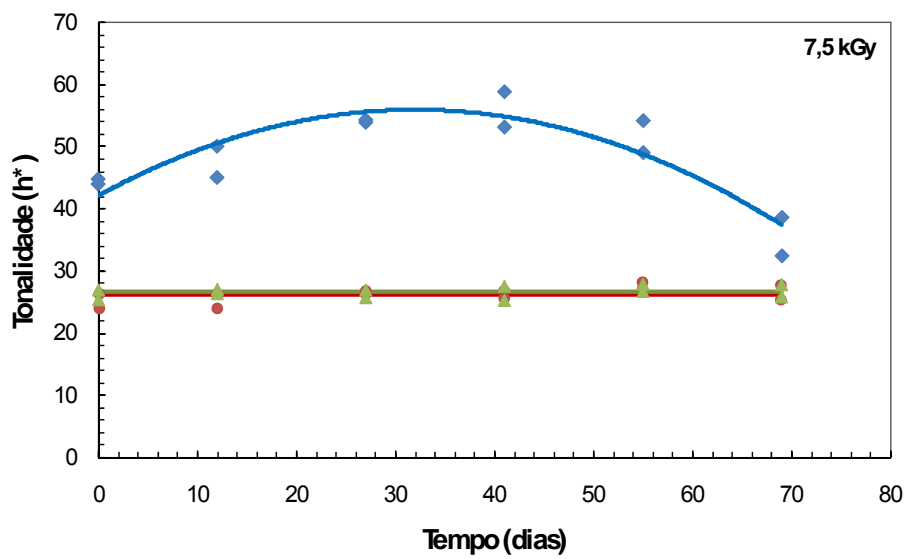
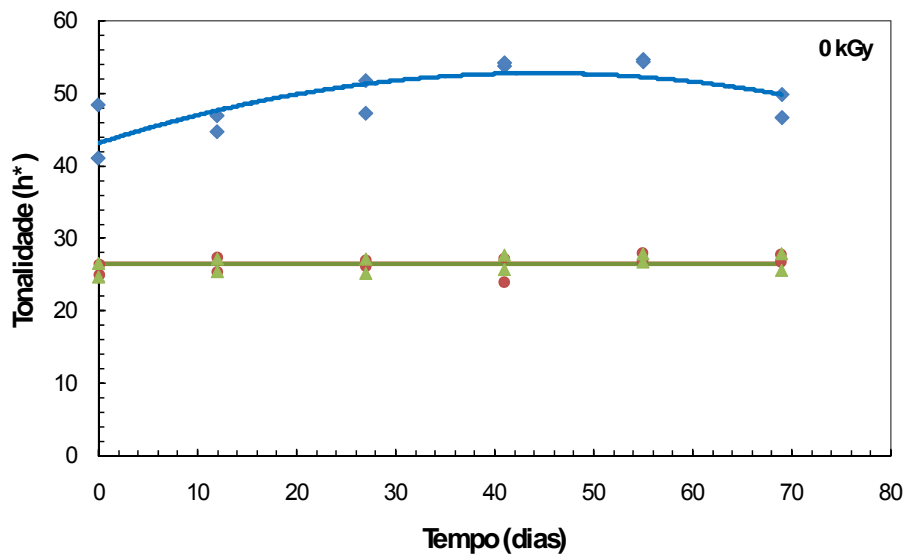


FIGURA 8 Efeito dos níveis de nitrito e doses de irradiação gama sobre o ângulo de tonalidade (h*) de mortadelas, durante o armazenamento refrigerado (4°C): (♦) controle (sem adição de nitrito); (●) 75 mg de NO₂/kg; e (▲) 150 mg de NO₂/kg. (...continua...)

“Figura 8, Cont.”

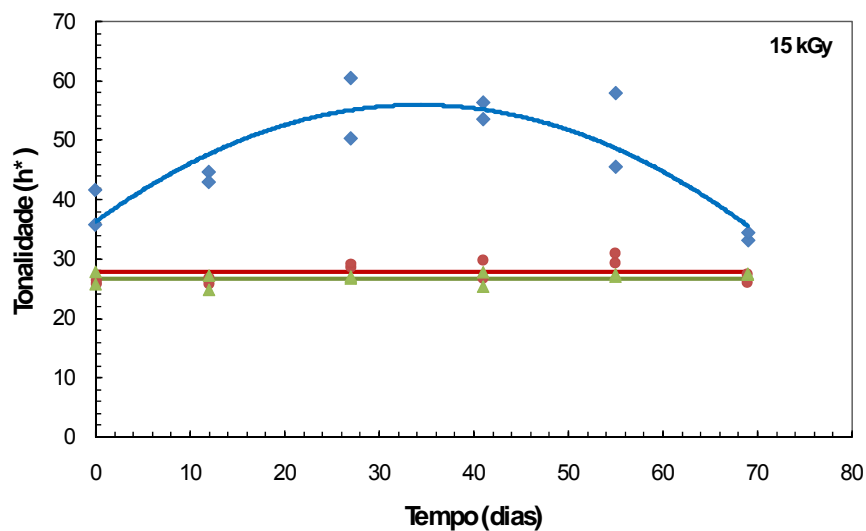


TABELA 8 Equações ajustadas e respectivos coeficientes de regressão (R^2) para ângulo de tonalidade (\hat{y}), durante armazenamento refrigerado (x , em dias) de mortadelas elaboradas com diferentes níveis de nitrito e submetidas a diferentes doses de irradiação

Irrad. (kGy)	NO ₂ (mg/kg)	Equação ajustada	R ² (%)
0	0	$\hat{y} = -0,005 \cdot x^2 + 0,434 \cdot x + 43,20$	0,7785
0	75	$\hat{y} = 26,50$	-
0	150	$\hat{y} = 26,57$	-
7,5	0	$\hat{y} = -0,013 \cdot x^2 + 0,861 \cdot x + 42,15$	0,8967
7,5	75	$\hat{y} = 26,25$	-
7,5	150	$\hat{y} = 26,75$	-
15	0	$\hat{y} = -0,017 \cdot x^2 + 1,145 \cdot x + 36,36$	0,9180
15	75	$\hat{y} = 27,83$	-
15	150	$\hat{y} = 26,77$	-

Significativas, a 5% de probabilidade, pelo teste “t”.

Na Figura 8, é possível observar que não houve diferença nos valores da tonalidade nas amostras adicionadas de nitrito. Apenas as amostras sem adição de nitrito apresentaram maiores valores de tonalidade, podendo-se afirmar que o aumento do ângulo de tonalidade implicou em amostras mais amareladas, o que é consistente, pois o a^* reduziu e, no presente experimento, observou-se que as amostras controle apresentavam tonalidades esverdeadas. Visto que h^* depende de a^* , as alterações em a^* explicam o observado para h^* .

Para o índice de amarelo (b^*) houve efeito significativo ($P < 0,05$) apenas para a interação entre os níveis de nitrito e o tempo de armazenamento, sendo esta decomposta e o efeito do tempo avaliado para cada nível de nitrito por meio da análise de regressão (Figura 9). Os coeficientes de inclinação das curvas de regressão de cada interação estão representados na Tabela 9.

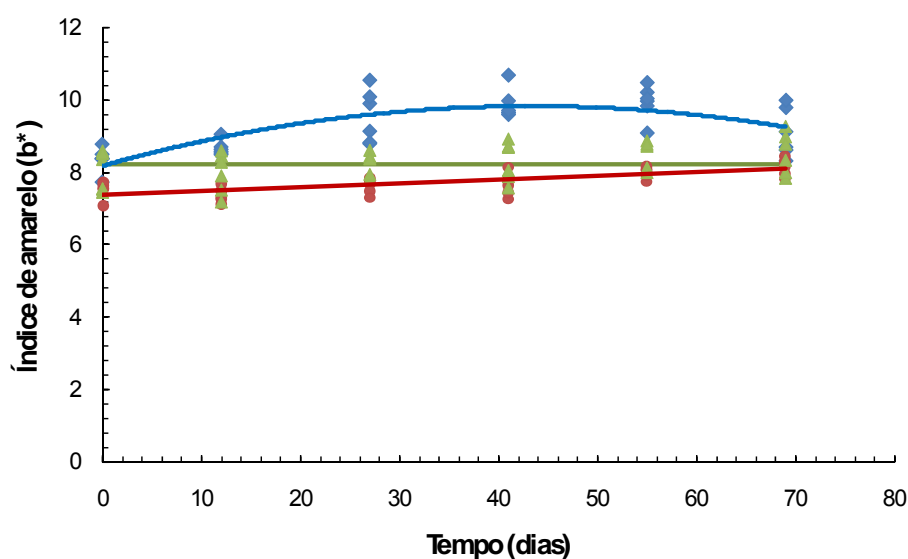


FIGURA 9 Efeito dos níveis de nitrito sobre os índices de amarelo (b^*) de mortadelas, durante o armazenamento refrigerado (4°C): (♦) controle (sem adição de nitrito); (●) 75 mg de NO_2/kg ; e (▲) 150 mg de NO_2/kg .

TABELA 9 Equações ajustadas e respectivos coeficientes de regressão (R^2) para valores de índice de amarelo (\hat{y}), durante o armazenamento refrigerado (x , em dias) de mortadelas elaboradas com diferentes níveis de nitrito

Nitrito adicionado	Equação ajustada	R^2 (%)
0 mg/kg (Controle)	$\hat{y} = -0,001 \cdot x^2 + 0,076 \cdot x + 8,19$	0,9038
75 mg/kg	$\hat{y} = 0,010 \cdot x + 7,403$	0,8500
150 mg/kg	$\hat{y} = 8,23$	-

Significativas, a 5% de probabilidade, pelo teste “t”.

Ahn et al. (2004), estudando o efeito da irradiação e da embalagem em salsichas armazenadas durante 4 semanas, verificaram que houve efeito proporcional da dose aplicada (0, 5, 10 e 20 kGy) na redução dos valores de b^* (*yellowness*). Entretanto, os autores não observaram alterações no valor de b^* durante quatro semanas de estocagem. Em estudo modelo com carne curada irradiada, Shahidi et al. (1991) reportaram que a irradiação em até 10 kGy causou pequenas alterações nos índices de cor b^* das amostras.

Para a saturação (C^*), houve efeito significativo ($P < 0,05$) da interação do tempo de armazenamento com os níveis de nitrito e com as doses de irradiação, sendo estas decompostas e o efeito do tempo avaliado dentro de cada parâmetro por meio da análise de regressão (Figuras 10 e 11). Os coeficientes de regressão de cada interação estão representados nas Tabelas 10 e 11.

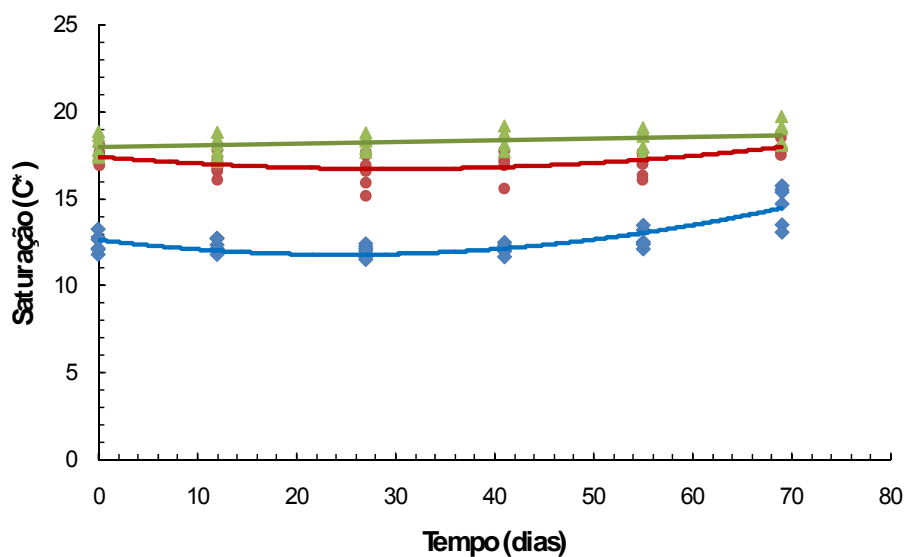


FIGURA 10 Efeito dos níveis de nitrito sobre a saturação (C*) de mortadelas, durante o armazenamento refrigerado (4°C): (◆) controle (sem adição de nitrito); (●) 75 mg de NO₂/kg; e (▲) 150 mg de NO₂/kg.

TABELA 10 Equações ajustadas e respectivos coeficientes de regressão (R²) para a saturação (\hat{y}), durante armazenamento refrigerado (x , em dias) de mortadelas elaboradas com diferentes níveis de nitrito durante

Nitrito adicionado	Equação ajustada	R ² (%)
0 mg/kg (Controle)	$\hat{y} = 0,0013 \cdot x^2 - 0,067 \cdot x + 12,67$	0,9038
75 mg/kg	$\hat{y} = 0,0008 \cdot x^2 - 0,048 \cdot x + 17,44$	0,8523
150 mg/kg	$\hat{y} = 0,0013 \cdot x + 17,978$	0,7989

Significativas, a 5% de probabilidade, pelo teste “t”.

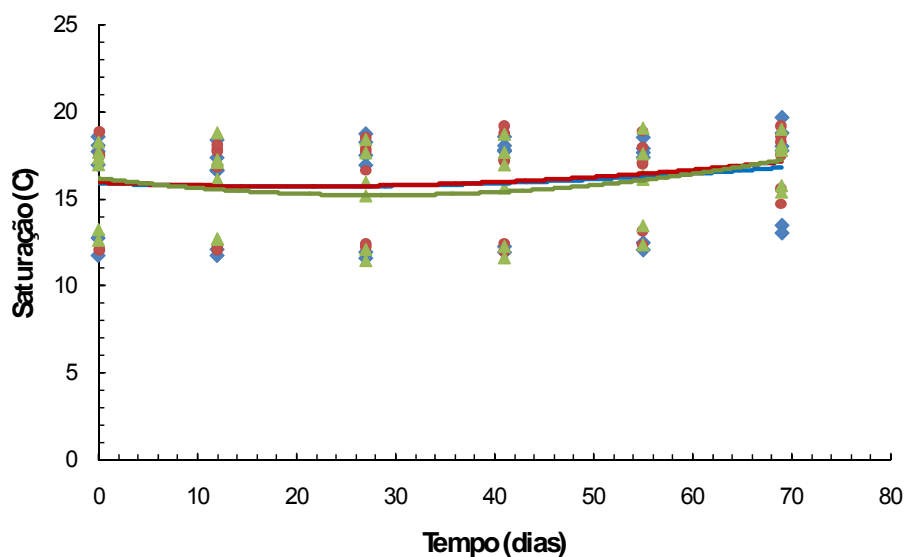


FIGURA 11 Efeito das doses de irradiação (kGy) sobre a saturação (C*) de mortadelas, durante o armazenamento refrigerado (4°C): (◆) controle (não irradiada); (●) 7,5 kGy; e (▲) 15 kGy.

TABELA 11 Equações ajustadas e respectivos coeficientes de regressão (R²) para a saturação (\hat{y}), durante armazenamento refrigerado (x , em dias) de mortadelas irradiadas com diferentes doses

Irradiação	Equação ajustada	R ² (%)
0 kGy (Controle)	$\hat{y} = 0,0004 \cdot x^2 - 0,018 \cdot x + 15,92$	0,8231
7,5 kGy	$\hat{y} = 0,0006 \cdot x^2 - 0,022 \cdot x + 15,99$	0,8668
15 kGy	$\hat{y} = 0,0012 \cdot x^2 - 0,068 \cdot x + 16,20$	0,9399

Significativas, a 5% de probabilidade, pelo teste “t”.

Para os valores de luminosidade (L*), houve efeito significativo (P<0,05) apenas para os fatores isolados de doses de irradiação e do tempo de armazenamento refrigerado.

Durante o armazenamento, os valores de L^* das amostras aumentaram ligeiramente (Figura 12), o que condiz com o reportado por Shahidi et al. (1991), que observaram um ligeiro, porém significativo, aumento da luminosidade de produtos curados, irradiados (5 e 10 kGy) ou não, durante o armazenamento refrigerado.

Ahn et al. (2004), estudando o efeito da irradiação e da embalagem em salsichas armazenadas durante 4 semanas, não verificaram efeito da irradiação (0, 5, 10 e 20 kGy) nos valores de L^* (luminosidade). Os autores também não observaram alterações no valor de L^* , durante quatro semanas de estocagem.

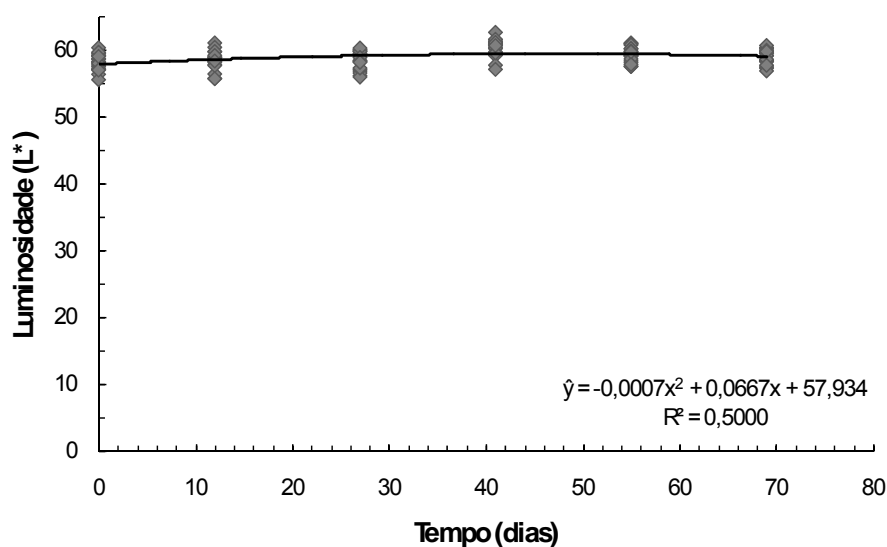


FIGURA 12 Variação dos valores de luminosidade (L^*) de mortadelas, durante o período de armazenamento refrigerado (4°C).

Este aumento na luminosidade das amostras pode, no entanto, ser considerado favorável para a aceitação do produto. Embora o índice de vermelho (a^*) seja o parâmetro de cor mais sensível na caracterização da cor vermelha e sua estabilidade (Ramos & Gomide, 2007), a luminosidade é considerada o parâmetro de cor que governa a qualidade da carne e de produtos cárneos (Garcia-Esteban et al., 2003), sendo, segundo Brewer et al. (2001), o que melhor prediz a intensidade visual da cor rósea. Válková et al. (2007) e Scarpa et al. (2009), avaliando a aceitação de produtos curados comerciais, observaram que a luminosidade foi o atributo de cor que mais influenciou a aceitação do produto, sendo preferidas amostras mais claras.

Byun et al. (2002), trabalhando com presuntos adicionados ou não de nitrito de sódio (NaNO_2), observaram que a irradiação reduziu ligeiramente os valores de L^* , enquanto a adição de nitrito induziu um aumento nestes valores. Embora, no presente experimento, não tenha sido observado o efeito da irradiação sobre os valores de L^* , foi observado um aumento nestes valores com a adição de nitrito (Tabela 12).

TABELA 12 Luminosidade (L^*) de mortadelas elaboradas com diferentes níveis de nitrito de sódio

Nitrito adicionado (mg/kg)	L^*
0	59,99±1,28 a
75	58,12±1,60 b
150	58,84±1,62 c

Médias seguidas de uma mesma letra, na mesma coluna, não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

De forma geral, Byun et al. (2002), trabalhando com presuntos sem a adição de nitrito de sódio (NaNO_2), observaram que a cor do presunto curado desejada poderia ser obtida pela irradiação gama. Isso não foi observado no presente experimento.

5.5 Oxidação lipídica (índice de TBARS)

Não houve efeito significativo ($P>0,05$) para nenhuma das interações entre os fatores (doses de irradiação, níveis de nitrito e tempo de armazenamento). Também não houve ($P>0,05$) efeito isolado dos níveis de nitrito, sendo, no entanto, significativos ($P<0,05$) os efeitos isolados das doses de irradiação e do tempo de armazenamento refrigerado para o índice de TBARS.

Jo et al. (2002, 2003), estudando salsichas embaladas em sistema aeróbio, observaram que os valores de TBARS aumentaram com o tempo de armazenamento e a dose de irradiação aplicada (0, 2,5, 4,5 e 5 kGy). No entanto, diferentemente do observado no presente experimento, Jo et al. (2003) reportaram que os valores de TBARS de salsichas elaboradas com 156 mg/kg de nitrito de sódio (NaNO_2) e irradiadas a 5 kGy foram menores do que as controle (sem adição de nitrito), quando embaladas em sistema aeróbio. Em ambos os experimentos (Jo et al., 2002, 2003), o efeito da irradiação sobre a oxidação lipídica persistiu por todo armazenamento (7 e 21 dias), a 4°C.

Por outro lado, Jo et al. (2003) também observaram que, quando embaladas a vácuo, os valores de TBARS entre as amostras irradiadas a 5 kGy e controle não foram significativamente diferentes, com ou sem a adição de 156 mg/kg de nitrito. Esses resultados refletem exatamente o observado no presente experimento, uma vez que não foi observado efeito significativo ($P>0,05$) dos níveis de nitrito.

O efeito da irradiação na oxidação dos lipídios na presença do oxigênio é bem conhecido e a exclusão do oxigênio durante a irradiação ajuda a reduzir o desenvolvimento da oxidação lipídica (Lee et al., 2005).

Neste contexto, o sistema de armazenamento das mortadelas elaboradas no presente experimento pode ser considerado similar ao sistema de embalagem a vácuo, uma vez que o oxigênio é eliminado da massa durante o processamento e as tripas utilizadas no embutimento são altamente impermeáveis a gases e à umidade.

No entanto, diferentemente do observado por Jo et al. (2002, 2003), nas salsichas embaladas a vácuo, as mortadelas irradiadas apresentaram valores maiores que as mortadelas controle (Tabela 13). E, enquanto estes autores não observaram mudanças nos valores de TBARs durante o armazenamento a vácuo, nas mortadelas este índice aumentou de forma linear (Figura 13), durante o armazenamento refrigerado.

TABELA 13 Índice de TBARs (mg MDA/kg) de mortadelas submetidas a diferentes doses de irradiação

Irradiação (kGy)	Índice de TBARs
0	0,865±0,469 c
7,5	1,175±0,424 b
15	1,328±0,410 a

Médias seguidas de uma mesma letra, na mesma coluna, não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

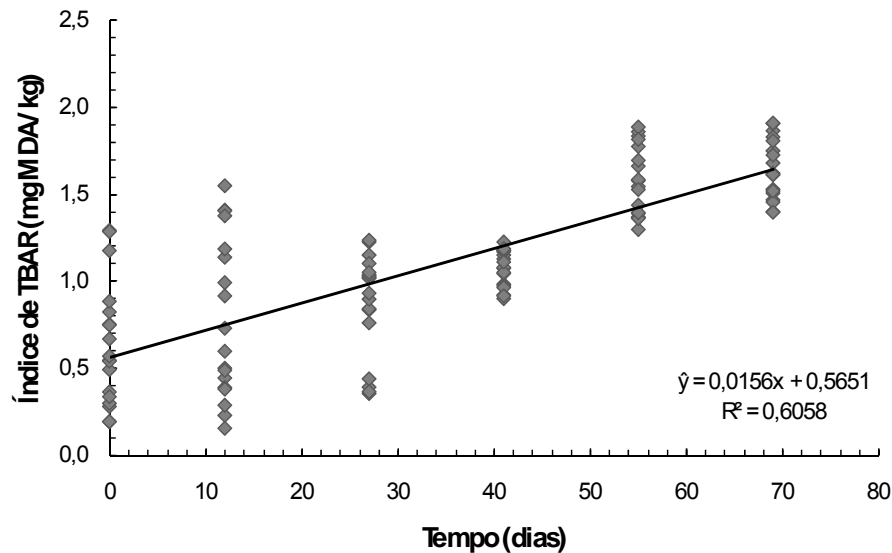


FIGURA 13 Variação dos índices de TBARs (mg MDA/kg) de mortadelas, durante o período de armazenamento refrigerado (4°C).

Zhu et al. (2004), estudando os efeitos da irradiação por feixe de elétrons na qualidade de presuntos de peru embalados a vácuo, observaram que, no tempo zero, os valores de TBARs foram significativamente ($P < 0,05$) maiores nas amostras irradiadas a 2 kGy (0,74 mg MDA/kg) do que nas amostras controle (0,60 mg MDA/kg). No entanto, quando avaliadas após 7 e 14 dias de armazenamento refrigerado (4°C), esta diferença entre as amostras desapareceu. Esses resultados são similares ao observado no presente experimento.

Os valores de TBARs observado por Zhu et al. (2004) são ligeiramente menores do que os observados no presente experimento, o que se deve ao tipo de carne utilizada e à menor dose de irradiação utilizada por estes autores. No entanto, da mesma forma que se pode considerar no presente experimento, Zhu et al. (2004) consideraram que a diferença entre as amostras irradiadas e a controle era pequena. Houser et al. (2003) também relataram um aumento

relativamente pequeno nos valores de TBARs de presuntos cozidos irradiados a 4,5 kGy (0,13 mg MDA/kg) em relação ao controle (0,094 mg MDA/kg).

Jo et al. (2004), estudando o potencial antioxidante do extrato da casca de limão liofilizado e sua ação sobre diferentes carnes armazenadas durante oito dias à temperatura de 20°C, verificaram que, nas amostras controle (sem adição do extrato da casca de limão), a carne bovina e os salmões apresentaram valores mais elevados de TBARS (1,27 e 1,20 mg de malonaldeído/kg), respectivamente. As carnes suínas e de frango apresentaram sob as mesmas condições, valores de TBARS iguais a 0,85 e 0,50 mg de malonaldeído/kg, respectivamente.

Embora as diferenças observadas quanto aos valores de TBARs, durante o armazenamento refrigerado das amostras entre o trabalho de Jo et al. (2003) e este experimento possam ser devido às menores doses de irradiação aplicadas no primeiro, os resultados reportados na literatura quanto aos efeitos da irradiação sobre a oxidação lipídica em sistemas a vácuo são controversos. Em alguns trabalhos foi relatado que a irradiação aumentou a oxidação lipídica de produtos cárneos embalados a vácuo (Dempster et al., 1985) enquanto em outros, a irradiação não aumentou a oxidação lipídica (Ahn et al., 1999; Jo & Ahn, 2000a).

Shahidi et al. (1991), ao estudarem o efeito da adição de nitrito e de outros aditivos, juntamente com a aplicação de diferentes doses de irradiação gama em produtos curados suínos, reportaram que a irradiação, mesmo em doses tão elevadas quanto 10 kGy, teve efeito benéfico na redução dos valores de TBARs, tendo as amostras irradiadas sempre apresentado valores abaixo da amostra controle (não irradiada). Segundo os mesmos autores, proteínas e, possivelmente, produtos da interação de proteínas e carboidratos têm sido reportados como capazes de exercer um efeito antioxidante, que aumenta com o

aumento da dose de irradiação, protegendo, dessa forma, os lipídeos da carne das mudanças oxidativas induzidas pela irradiação.

Kuo & Chen (2004), estudando o efeito combinado do lactato do sódio e da irradiação na qualidade de salsichas durante o armazenamento (25°C), observaram que os valores de TBARS aumentaram em todos os tratamentos com o tempo de armazenamento. Nas amostras controle (não adicionadas de lactato) submetidas à irradiação de 3 e 5 kGy, os valores de TBARS foram mais elevados do que as amostras não irradiadas, nos primeiros seis dias de armazenamento. Entretanto, durante os dias seguintes de armazenamento (12, 18, 24 e 30 dias), os valores de TBARS foram mais elevados nas amostras controle.

5.6 Textura objetiva

Não foi observado efeito significativo ($P>0,05$) para a interação entre os níveis de nitrito e doses de irradiação, em conjunto ou isolados, com o tempo de estocagem refrigerada para nenhum dos parâmetros de textura avaliados. Entretanto, todos os parâmetros foram afetados significativamente ($P<0,05$) pelo o tempo de armazenamento. Além disso, houve efeito significativo ($P<0,05$) das doses de irradiação para os parâmetros de coesividade e adesividade.

A aplicação da irradiação reduziu a coesividade e a adesividade das amostras (Tabela 14), independentemente dos níveis de nitrito utilizados.

TABELA 14 Valores de coesividade (COES) e adesividade (ADES) de mortadelas submetidas a diferentes doses de irradiação gama

Irradiação	COES	ADES (kg.mm)
0 kGy (Controle)	0,6058±0,0410 a	0,0129±0,0059 a
7,5 kGy	0,5717±0,0786 b	0,0127±0,0063 b
15 kGy	0,5565±0,0951 c	0,0101±0,0073 c

Médias seguidas de uma mesma letra, na mesma coluna, não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

O processo de irradiação interferiu na funcionalidade das proteínas, alterando a coesividade e a adesividade, o que também foi verificado para a atividade de água e oxidação lipídica. Sabe-se que a funcionalidade da proteína está diretamente ligada à capacidade de retenção de água em produtos cárneos, o que pode implicar diretamente em alterações na textura do produto.

Dessa forma, exceto pelos parâmetros de coesividade e adesividade, o uso de irradiação e de diferentes níveis de nitrito na formulação de mortadela não altera a textura objetiva dos produtos, sendo esta afetada pelo armazenamento refrigerado (4°C), da mesma forma que o controle. Os efeitos do tempo de armazenamento sobre os parâmetros de textura foram analisados por regressão (Figuras 14 e 15), estando os coeficientes representados na Tabela 15.

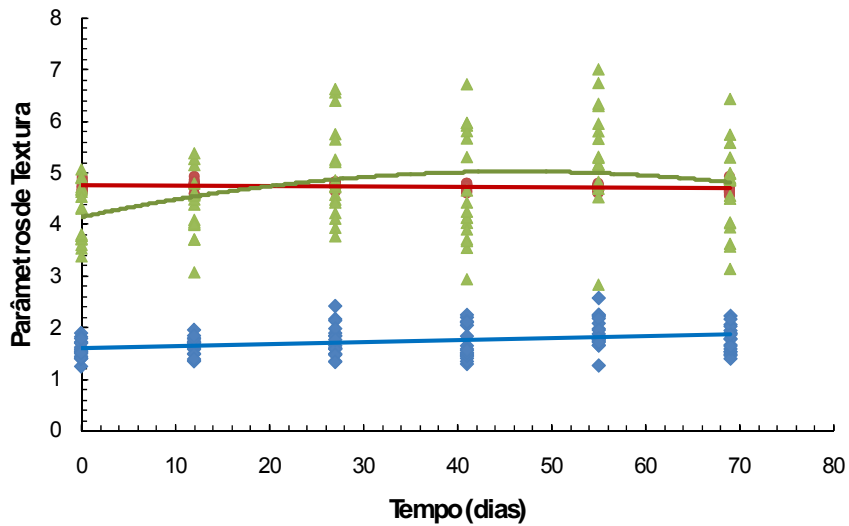


FIGURA 14 Variação dos parâmetros de textura objetiva de mortadelas, durante o armazenamento refrigerado (4°C): (♦) dureza (kg); (●) flexibilidade (mm) e (▲) mastigabilidade (kg.mm).

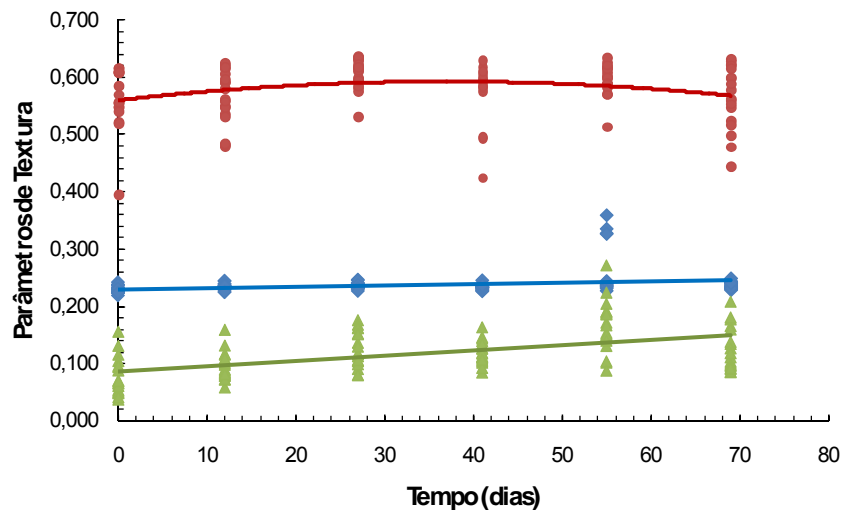


FIGURA 15 Variação dos parâmetros de textura objetiva de mortadelas, durante o armazenamento refrigerado (4°C): (♦) fraturabilidade (10⁻².kg); (●) coesividade e (▲) adesividade (10⁻².kg.mm).

TABELA 15 Equações ajustadas e respectivos coeficientes de regressão (R^2) para ângulo de tonalidade (\hat{y}), durante armazenamento refrigerado (x , em dias) de mortadelas elaboradas com diferentes níveis de nitrito e submetidas a diferentes doses de irradiação

Parâmetro de textura	Equação ajustada	R^2 (%)
Dureza	$\hat{y} = 3,7.10^{-3}.x + 1,609$	0,6747
Fraturabilidade	$\hat{y} = 2,2.10^{-5}.x + 0,023$	0,2828
Coesividade	$\hat{y} = -2,4.10^{-5}.x^2 + 1,8.10^{-3}.x + 0,56$	0,4993
Adesividade	$\hat{y} = 9,2.10^{-5}.x + 0,0088$	0,6267
Flexibilidade	$\hat{y} = -9,8.10^{-4}.x + 4,78$	0,6149
Mastigabilidade	$\hat{y} = -4,1.10^{-4}.x^2 + 3,8.10^{-2}.x + 4,16$	0,6462

Significativas, a 5% de probabilidade, pelo teste “t”.

Diferente deste estudo, outros autores verificaram o efeito de diferentes adições do nitrito de sódio, como foi o caso de Dong et al. (2007) que, estudando salsichas cozidas com diferentes adições do nitrito de sódio (0, 50, 100 e 150 mg/kg) e armazenadas sob refrigeração, observaram que o índice do nitrito foi correlacionado negativamente com a dureza e a adesividade e correlacionado positivamente com coesividade, flexibilidade e fraturabilidade.

Uma explicação para a ausência deste efeito na dureza pode ser obtida da observação de Ramos et al. (2007) de que o valor absoluto deste atributo torna-se maior em testes de TPA que utilizam níveis de compressão maiores, especialmente em valores acima de 50%. Assim, também é possível que, pela escolha da compressão utilizada nos testes deste trabalho, a sensibilidade para a dureza não tenha sido suficiente para detectar tal variação.

Botega et al. (2009), estudando os efeitos do armazenamento (56 dias) refrigerado (4°C) na textura objetiva de apesuntados elaborados com soro de leite líquido, verificaram que não houve interação dos tratamentos (níveis de

adição de soro de leite). Entretanto, o tempo de estocagem refrigerada aumentou linearmente os parâmetros de textura objetiva flexibilidade e mastigabilidade.

É importante salientar que as mudanças dos outros índices químicos, como valor do pH, durante o armazenamento, puderam conduzir à mudança da textura das mortadelas, além do efeito da irradiação sobre a atividade de água (radiólise) e da adição de nitrito sobre proteínas.

Segundo Dong et al. (2007), as mudanças em outros índices químicos, como proteína, umidade e valor de pH durante o armazenamento, podem conduzir a mudanças na textura de salsichas cozidas, além também do efeito do nitrito. Os mesmos autores relataram que a umidade de salsicha cozida diminuiu com o tempo de armazenamento e promoveu diminuição da dureza.

A correlação negativa entre o índice de umidade e a dureza da salsicha cozida encontrada por Dong et al. (2007) foi similar à do trabalho com presuntos secos curados conduzido por Virgili et al. (1995) e por Monin et al. (1997). Entretanto, Ruiz-Carrascal et al. (2000) não encontraram correlação significativa entre o índice de água e a dureza sensorial, em presuntos secos curados ibéricos. O índice de gordura e o valor de pH foram descritos como fatores efetivos responsáveis pela mudança de textura em salsichas armazenadas com o tempo, segundo Gregg et al. (1993), que encontraram alta correlação ($R^2 = 0,86$) entre o índice de gordura e a dureza em salsichas bologna. Além disso, Gimeno et al. (2000) concluíram que a coesividade de uma salsicha fermentada seca mostrou correlações negativas significativas com o pH.

6 CONCLUSÕES

De forma geral, a irradiação em até 15 kGy não promoveu efeitos deletérios nas propriedades físico-químicas de mortadelas, independente da adição de nitrito de sódio ou não.

Não houve interação entre os níveis de nitrito e doses de irradiação aplicada para nenhum dos parâmetros avaliados. A irradiação em até 15 kGy, independente da adição de nitrito de sódio, não promoveu efeitos deletérios nas propriedades físico-químicas e nos níveis de nitrito residual de mortadelas, embora tenha reduzido a coesividade e a adesividade das amostras. Conclui-se que, mesmo sem a aplicação da irradiação, é possível se produzir mortadelas com metade dos níveis (75 mg/kg) de adição de nitrito recomendados pela legislação brasileira, sem que a cor seja afetada ou a segurança quanto ao *C. botulinum* comprometida.

7 CONCLUSÃO GERAL

A irradiação de produtos cárneos pode funcionar como mais um fator preservativo (tecnologia alternativa), permitindo a redução dos níveis de nitrito adicionados, sem sacrificar qualidade do produto, no que diz respeito à composição química, ao pH, à atividade de água, à textura, à cor e à oxidação lipídica. No entanto, é necessário avaliar os efeitos da sua aplicação, em conjunto com a redução de nitrito, referente à análise sensorial, à formação de N-nitrosaminas, bem como a realização de estudos microbiológicos efetivos utilizando esporos de *C. botulinum* de vários tipos.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AHN, D.U.; NAM, K.C. Carbon monoxide-heme pigment is responsible for the pink color in irradiated raw turkey breast meat. **Meat Science**, Oxford, v.60, n., p.25-33, Jan. 2002.

AHN, D.U.; OLSON, D.G.; JO, C.; LOVE, J.; JIN, S.K. Volatiles production and lipid oxidation in irradiated cooked sausage as related to packaging and storage. **Journal of Food Science**, Chicago, v.64, n.2, p.226-229, Mar. 1999.

AHN, H.J.; JO, C.R.; KIM, J.H.; CHUNG, Y.J.; LEE, C.H.; BYUN, M.W. Monitoring of nitrite and N-Nitrosamine levels in irradiated pork sausage. **Journal of Food Protection**, Ames, v.65, n.9, p.1493-1497, 2002a.

AHN, H.J.; JO, C.R.; LEE, J.W.; KIM, J.H.; KIM, K.H.; BYUN, M.W. Irradiation and modified atmosphere packaging effects on residual nitrite, ascorbic acid, nitrosomyoglobin, and color in sausage. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v.51, n.5, p.1249-1253, 2003.

AHN, H.J.; KIM, J.H.; JO, C.; KIM, M.J.; BYUN, M.W. Comparison of irradiated phytic acid and other antioxidants for antioxidant activity. **Food Chemistry**, Oxford, v.88, n.2, p.173-178, Nov. 2004.

AHN, H.J.; KIM, J.H.; JO, C.; LEE, C.H.; BYUN, M.W. Reduction of carcinogenic N-nitrosamines and residual nitrite in model system sausage by irradiation. **Journal of Food Science**, Chicago, v.67, n.4, p.1370-1373, May 2002b.

AHN, H.J.; KIM, J.H.; JO, C.; LEE, J.W.; YOOK, H.S.; BYUN, M.W. Effects of gamma irradiation on residual nitrite, residual ascorbate, color, and N-nitrosamines of cooked sausage during storage. **Food Control**, Oxford, v.15, n.3, p.197-203, Apr. 2004a.

AHN, H.J.; KIM, J.H.; JO, C.; LEE, J.W.; YOOK, H.S.; KIM, H.Y.; BYUN, M.W. Combined effects of gamma irradiation and a modified atmospheric packaging on the physicochemical characteristics of sausage. **Radiation Physics and Chemistry**, Oxford, v.71, n.1/2, p.51-54, Sept./Oct. 2004b.

AHN, H.J.; YOOK, H.S.; RHEE, M.S.; LEE, C.H.; CHO, Y.J.; BYUN, M.W. Application of gamma irradiation on breakdown of hazardous volatile N-nitrosamines. **Journal of Food Science**, Chicago, v.67, n.4, p.596-599, May 2002c.

AKAMITTATH, J.G.; BREKKE, C.J.; SCHANUS, E.G. Lipid oxidation and color stability in restructured meat systems during frozen storage. **Journal of Food Science**, Chicago, v.55, n.6, p.1513-1517, Nov. 1990.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official methods of analysis of AOAC international**. 16. ed. Virginia, 1995.

BINGOL, E.B.; BOSTAN, K. Effect of sodium lactate on the microbiological quality and shelf life of sausages. **Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences**, Ankara, v.31, n.5, p.333-339, 2007.

BOTEGA, L.M.G.; RAMOS, E.M.; GONÇALVES, C.S.; RETTORE, D.M.; RAMOS, A.L.S.; TEIXEIRA, J.T. Apresuntados elaborados com soro de leite líquido: efeitos do armazenamento refrigerado na textura objetiva. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE CARNES, 4., 2007, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ITAL, 2009. CD-ROM.

BREWER, M.S. Irradiation effects on meat flavor: a review. **Meat Science**, Oxford, v.81, n.1, p.1-14, Jan. 2009.

BREWER, M.S.; ZHU, L.G.; BIDNER, B.; MEISINGER, D.J.; MCKEITH, F.K. Measuring pork color: effects of bloom time, muscle, pH and relationship to instrumental parameters. **Meat Science**, Oxford, v.57, n.2, p.176-196, Feb. 2001.

BREWER, S. Irradiation effects on meat color: a review. **Meat Science**, Oxford, v.68, n.1, p.1-17, Sept. 2004.

BYUN, M.W.; LEE, J.W.; YOOK, H.S.; LEE, K.H.; KIM, H.Y. Improvement of shelf stability and processing properties of meat products by gamma irradiation. **Radiation Physics and Chemistry**, Oxford, v.63, n.3/6, p.361-364, Mar. 2002.

BYUN, M.W.; LEE, J.W.; YOOK, H.S.; LEE, K.H.; KIM, S.; KIM, W.J.; KIM, K.S. Effect of gamma irradiation on the raw meat in Bologna sausage production. **International Journal of Food Science and Technology**, Oxford, v.35, n.6, p.599-601, 2000.

CAMMACK, R.; JOANNOU, C.L.; CUI, X.Y.; TORRES MARTINEZ, C.; MARAJ, S.R.; HUGHES, M.N. Nitrite and nitrosyl compounds in food preservation. **Biochimica et Biophysica Acta**, Amsterdam, v.1411, n.2/3, p.475-488, 1999.

CASSENS, R.G. Residual nitrite in cured meat. **Food Technology**, Chicago, v.51, n.2, p.53-55, Feb. 1997.

CASSENS, R.G. Use of sodium-nitrite in cured meats today. **Food Technology**, Chicago, v.49, n.7, p.72-80, July 1995.

CASSENS, R.G.; GREASER, M.L.; ITO, T.; LEE, M. Reactions of nitrite in meat. **Food Technology**, Chicago, v.33, n.7, p.46-57, July 1979.

CAVA, R.; TÁRREGA, R.; RAMIREZ, M.R.; MINGOARRANZ, F.J.; CARRASCO, A. Effect of irradiation on colour and lipid oxidation of dry-cured hams from free-range reared and intensively reared pigs. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, Amsterdam, v.6, n.2, p.135-141, June 2005.

CHOULIARA, I.; SAMELIS, J.; KAKOURI, A.; BADEKA, A.; SAVVAIDIS, I.N.; RIGANAKOS, K.; KONTOMINAS, M.G. Effect of irradiation of frozen meat/fat trimmings on microbiological and physicochemical quality attributes of dry fermented sausages. **Meat Science**, Oxford, v.74, n.2, p.303-311, Oct. 2006.

DEMPSTER, J.F.; HAWRYSH, Z.J.; SHAND, P.; LAHOLA-CHOMIAK, L.; CORLETTO, L. Effect of low-dose irradiation (radurization) on the shelf life of beef burgers stored at 3 °C. **Journal of Food Technology**, Oxford, v.20, n.2, p.145-154, 1985.

DENIZ, E.E.; SERDAROÇŞLU, M. Effects of nitrite levels, endpoint temperature and storage on pink color development in turkey rolls. **European Food Research and Technology**, Berlin, v.217, n.6, p.471-474, Dec. 2003.

DONG, Q.L.; TU, K.; GUO, L.Y.; YANG, J.L.; WANG, H.; CHEN, Y.Y. The effect of sodium nitrite on the textural properties of cooked sausage during cold storage. **Journal of Texture Studies**, Westport, v.38, n.5, p.537-554, Oct. 2007.

DU, M.; AHN, D.U.; NAM, K.C.; SELL, J.L. Influence of dietary conjugated linoleic acid on volatile profiles, color and lipid oxidation of irradiated raw chicken meat. **Meat Science**, Oxford, v.56, n.4, p.387-395, Dec. 2000.

DU, M.; AHN, D.U. Effect of antioxidants on the quality of irradiated sausages prepared with turkey thigh meat. **Poultry Science**, Champaign, v.81, n.8, p.1251-1256, Aug. 2002.

EICHHOLZER, M.; GUTZWILLER, F. Dietary nitrates, nitrites, and N-nitroso compounds and cancer risk with special emphasis on the epidemiological evidence. In: D'MELLO, J.P.F. **Food Safety: contaminants and toxins**. Edinburgh: Scottish Agricultural College, 2003. p.217-234.

FREYBLER, L.A.; GRAY, J.I.; ASGHAR, A.; BOOREN, A.M.; PEARSON, A.M.; BUCKLEY, D.J. Nitrite stabilization of lipids in cured pork. **Meat Science**, Oxford, v.33, n.1, p.85-96, 1993.

GARCIA-ESTEBAN, M.; ANSORENA, D.; GIMENO, O.; ASTIASARAN, I. Optimization of instrumental colour analysis in dry-cured ham. **Meat Science**, Oxford, v.63, n.3, p.287-292, Mar. 2003.

GIMENO, O.; ANSORENA, D.; ASTIASARÁN, I.; BELLO, J. Characterization of chorizo de Pamplona: Instrumental measurements of color and texture. **Food Chemistry**, Washington, v.69, n.2, p.195-200, May 2000.

GREGG, L.L.; CLAUS, J.R.; HACKNEY, C.R.; MARRIOTT, N.G. Low fat, high added water bologna from massaged, minced batter. **Journal of Food Science**, Chicago, v.58, n.2, p.259-264, Mar. 1993.

HORNSEY, H.C. The colour of cooked cured pork. I. Estimation of the nitric oxide-haem pigments. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, London, v.7, n.8, p.534-540, Aug. 1956.

HOUSER, T.A.; SEBRANEK, J.G.; LONERGAN, S.M. Effects of irradiation on properties of cured ham. **Journal of Food Science**, Chicago, v.68, n.7, p.2362-2365, Sept. 2003.

HOUSER, T.A.; SEBRANEK, J.G.; MAISONET, W.N.; CORDRAY, J.C.; AHN, D.U.; DIXON, P.M. Irradiation-induced cured ham color fading and regeneration. **Journal of Food Science**, Chicago, v.70, n.4, p.281-285, May 2005.

IGENE, J.O.; YAMAUCHI, K.; PEARSON, A.M.; GRAY, J.I.; AUST, S.D. Mechanisms by which nitrite inhibits the development of warmed-over flavour (WOF) in cured meat. **Food Chemistry**, Washington, v.18, n.1, p.1-18, 1985.

JO, C.; AHN, D.U. Production of volatile compounds from irradiated oil emulsion containing amino acids of proteins. **Journal of Food Science**, Chicago, v.65, n.4, p.612-616, June 2000.

JO, C.; AHN, D.U. Volatiles and oxidative changes in irradiated pork sausage with different fatty acid composition and tocopherol content. **Journal of Food Science**, Chicago, v.65, n.2, p.270-275, Mar. 2000.

JO, C.; AHN, D.U.; BYUN, M.W. Irradiation-induced oxidative changes and production of volatile compounds in sausages prepared with vitamin E-enriched commercial soybean oil. **Food Chemistry**, Oxford, v.76, n.3, p.299-305, Mar. 2002.

JO, C.; AHN, H.J.; SON, J.H.; LEE, J.W.; BYUN, M.W. Packaging and irradiation effect on lipid oxidation, color, residual nitrite content, and nitrosamine formation in cooked pork sausage. **Food Control**, Oxford, v.14, n.1, p.7-12, Jan. 2003.

JO, C.; JIN, S.K.; AHN, D.U. Color changes in irradiated cooked pork sausage with different fat sources and packaging during storage. **Meat Science**, Oxford, v.55, n.1, p.107-113, May 2000.

JO, C.; KANG, H.J.; LEE, M.; LEE, N.Y.; BYUN, M.W. The antioxidant potential of lyophilized citrus peel extract in different meat model systems during storage at 20C. **Journal of Muscle Foods**, Trumbull, v.15, n.2, p.95-107, June 2004.

JO, C.; LEE, J.I.; AHN, D.U. Lipid oxidation, color changes and volatiles production in irradiated pork sausage with different fat content and packaging during storage. **Meat Science**, Oxford, v.51, n.4, p.355-361, Apr. 1999.

KANNER, J.; HAREL, S.; SHAGALOVICH, J.; BERMAN, S. Antioxidative effect of nitrite in cured meat products: Nitric oxide-iron complexes of low molecular weight. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v.32, n.3, p.512-515, May 1984.

KILIC, B.; CASSENS, R.G.; BORCHERT, L.L. Influence of turkey meat on residual nitrite in cured meat products. **Journal of Food Protection**, Des Moines, v.64, n.2, p.235-239, Feb. 2001.

KUO, J.C.C.; CHEN, H.L. Combination effect of sodium lactate and irradiation on color, lactic acid bacteria, lipid oxidation and residual nitrite in Chinese sausages during storage at 25 degrees C. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, London, v.84, n.8, p.903-908, June 2004.

LANORE, D.; GRASSO, F. Chemical and structural changes in dry-cured hams (Bayonne Hams) during processing and effects of dehairing technique. **Meat Science**, Oxford, v.47, n.1/2, p.29-47, Sept./Oct. 1997.

LEE, J.W.; PARK, K.S.; KIM, J.G.; OH, S.H.; LEE, Y.S.; KIM, J.H.; BYUN, M.W. Combined effects of gamma irradiation and rosemary extract on the shelf-life of a ready-to-eat hamburger steak. **Radiation Physics and Chemistry**, Oxford, v.72, n.1, p.49-56, Jan. 2005.

LIU, D.C.; TSAU, R.T.; LIN, Y.C.; JAN, S.S.; TAN, F.J. Effect of various levels of rosemary or Chinese mahogany on the quality of fresh chicken sausage during refrigerated storage. **Food Chemistry**, Oxford, v.117, n.1, p.106-113, Nov. 2009.

MARCO, A.; NAVARRO, J.L.; FLORES, M. The influence of nitrite and nitrate on microbial, chemical and sensory parameters of slow dry fermented sausage. **Meat Science**, Oxford, v.73, n.4, p.660-673, Aug. 2006.

MOHLER, K. **El Curado**. Zaragoza: Acribia, 1982. 116p.

MOLLER, J.K.S.; JENSEN, J.S.; SKIBSTED, L.H.; KNOCHEL, S. Microbial formation of nitrite-cured pigment, nitrosylmyoglobin, from metmyoglobin in model systems and smoked fermented sausages by *Lactobacillus fermentum* strains and a commercial starter culture. **European Food Research and Technology**, Berlin, v.216, n.6, p.463-469, June 2003.

MONIN, G.; MARINOVA, P.; TALMANT, A.; MARTIN, J.F.; CORNET, M.; LANORE, D.; GRASSO, F. Chemical and structural changes in dry-cured hams (bayonne hams) during processing and effects of the dehairing technique. **Meat Science**, Oxford, v.47, n.1/2, p.29-47, 1997.

MORRISSEY, P.A.; TICHIVANGANA, J.Z. The antioxidant activities of nitrite and nitrosylmyoglobin in cooked meats. **Meat Science**, Oxford, v.14, n.3, p.175-190, 1985.

OLESEN, P.T.; STAHNKE, L.H.; TALON, R. Effect of ascorbate, nitrate and nitrite on the amount of flavour compounds produced from leucine by *Staphylococcus xylosus* and *Staphylococcus carnosus*. **Meat Science**, Oxford, v.68, n.2, p.193-200, Oct. 2004.

PÉREZ-RODRÍGUEZ, M.L.; BOSCH-BOSCH, N.; GARCÍA-MATA, M. Monitoring nitrite and nitrate residues in frankfurters during processing and storage. **Meat Science**, Oxford, v.44, n.1/2, p.65-73, Sept./Oct. 1996.

PIERSON, M.D.; SMOOT, L.A. Nitrite, nitrite alternatives, and the control of *Clostridium botulinum* in cured meats. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, Boca Raton, v.17, n.2, p.141-187, July 1982.

RAHARJO, S.; SOFOS, J.N.; SCHMIDT, G.R. Improved speed, specificity, and limit of determination of an aqueous acid extraction thiobarbituric acid-C18 method for measuring lipid peroxidation in beef. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v.40, n.11, p. 2182-2185, Nov. 1992.

RAMOS, E.M.; GOMIDE, L.A.M. **Avaliação da qualidade de carnes: fundamentos e metodologias**. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2007. 599p.

RAMOS, E.M.; RAMOS, A.L.S.; VIOLIN, L.M.; BISPO, K.C.; FONTES, P.R. Influência da deformação e da velocidade de compressão na textura objetiva de produtos curados. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE CARNES, 4., 2007, Campinas. **Anais...** Campinas: ITAL, 2007. p.423-426.

RUIZ-CARRASCAL, J.; VENTANAS, J.; CAVA, R.; ANDRÉS, A.; GARCÍA, C. Texture and appearance of dry cured ham as affected by fat content and fatty acid composition. **Meat Science**, Oxford, v.33, n.2, p.91-95, Mar. 2000.

RYWOTYCKI, R. The effect of selected functional additives and heat treatment on nitrosamine content in pasteurized pork ham. **Meat Science**, Oxford, v.60, n.4, p.335-339, Apr. 2002.

SANZ, Y.; VILA, R.; TOLDRÁ, F.; FLORES, J. The effects of nitrate and nitrite curing salts on microbial changes and sensory quality of non-fermented sausages. **International Journal of Food Microbiology**, Amsterdam, v.42, n.3, p.213-217, July 1998.

SCANNELL, A.G.M.; HILL, C.; ROSS, R.P.; SCHWARZ, G.; ARENDT, E.K. Effect of nitrite on a bacteriocinogenic *Lactococcus lactis* transconjugant in fermented sausage. **European Food Research and Technology**, Berlin, v.213, n.1, p.48-52, July 2001.

SCARPA, A.B.O.; RAMOS, E.M.; MARQUES, A.C.P.; CHINAIT, T.M.N.; PALHARES, P.C.; RAMOS, A.L.S. Caracterização de presuntos e apresuntados comerciais: avaliação sensorial e instrumental da cor. In: SIMPÓSIO LATINO AMERICANO DE CIÊNCIA DE ALIMENTOS, 8., 2009, São Paulo. **Anais...** São Paulo: UNICAMP, 2009. 1 CD-ROM.

SEBRANEK, J.G.; SEWALT, V.J.H.; ROBBINS, K.L.; HOUSER, T.A. Comparison of a natural rosemary extract and BHA/BHT for relative antioxidant effectiveness in pork sausage. **Meat Science**, Oxford, v.69, n.2, p.289-296, Feb. 2005.

SHAHIDI, F.; PEGG, R.B. Encapsulation of the pre-formed cooked cured-meat pigment. **Journal of Food Science**, Chicago, v.56, n.6, p.1500-1504, Nov. 1991.

SHAHIDI, F.; PEGG, R.B.; SHAMSUZZAMAN, K. Color and oxidative stability of nitrite-free cured meat after gamma irradiation. **Journal of Food Science**, Chicago, v.56, n.5, p.1450-1452, Sept. 1991.

SIMIE, M.C. Radiolysis of aqueous components of food. In: JOSEPHSON, E.S.; PETERSON, M.S. **Preservation of Food by Ionizing Radiation**. New York: CRC, 1983. v.2, p.8.

SINDELAR, J.J.; CORDRAY, J.C.; OLSON, D.G.; SEBRANEK, J.G.; LOVE, J.A. Investigating quality attributes and consumer acceptance of uncured, no-nitrate/nitrite-added commercial hams, bacons, and frankfurters. **Journal of Food Science**, Chicago, v.72, n.8, p.551-559, Oct. 2007.

SOMMERS, C.H.; FAN, X. Antioxidant power, lipid oxidation, color, and viability of *listeria monocytogenes* in beef bologna treated with gamma radiation and containing various levels of glucose. **Journal of Food Protection**, Ames, v.65, n.11, p.1750-1755, Nov. 2002.

SOMMERS, C.H.; FAN, X.; NIEMIRA, B.A.; HANDEL, A.P. Effect of ionizing radiation on beef bologna containing soy protein concentrate. **Journal of Food Safety**, New Brunswick, v.21, n.3, p.151-165, Nov. 2001.

STEVANOVIĆ, M.; SENTJURC, M.E.P.R. Studies of alternative cooked cured meat pigment (CCMP). **Acta Chimica Slovenica**, Ljubljana, v.47, p.47-53, 2000.

THAKUR, B.R.; ARYA, S.S. Effect of sorbic acid on irradiation induced sensory and chemical changes in sweetened orange juice and mango pulp. **International Journal Food Science Technology**, Oxford, v.28, n.4, p.371-376, Aug. 1993.

TOMPKIN, R.B. Microbiology of ready-to-eat meat and poultry products. **Advances in Meat Research**, Westport, v.2, p.89-121, 1986.

VÁLKOVÁ, V.; SALÁKOVÁ, A.; BUCHTOVÁ, H.; TREMLOVA, B. Chemical, instrumental and sensory characteristics of cooked pork ham. **Meat Science**, Oxford, v.77, n.4, p.608-615, Dec. 2007.

VIGNOLO, G.; FADDA, S.; DE KAIRUZ, M.N.; DE HOLGADO, A.P.R.; OLIVER, G. Effects of curing additives on the control of *Listeria monocytogenes* by lactocin 705 in meat slurry. **Food Microbiology**, London, v.15, n.3, p.259-264, June 1998.

VIRGILI, R.; PAROLARI, G.; SCHIVAZAPPA, C.; BORDINI, C.S.; BORRI, M. Sensory and texture quality of dry-cured ham as affected by endogenous cathepsin B activity and muscle composition. **Journal of Food Science**, Chicago, v.60, n.6, p.1183-1186, Nov. 1995.

WALTERS, C.L. Nitrosamineas en productos carnicos. In: LAWRIE, R. (Ed.). **Advances de la ciencia de la carne**. Zaragoza: Acribia, 1984. p.240-266.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **High-dose irradiation**: wholesomeness of food irradiated with doses above 10 kGy: report of a Joint FAO/IAEA/WHO Study Group. Geneva, 1999. 890p.

ZHANG, G.; HOLLEY, R.A. Development and PFGE monitoring of dominance among spoilage lactic acid bacteria from cured meats. **Food Microbiology**, London, v.16, n.6, p.633-644, Dec. 1999.

ZHU, M.J.; MENDONCA, A.; MIN, B.; LEE, E.J.; NAM, K.C.; PARK, K.; DU, M.; ISMAIL, H.A.; AHN, D.U. Effects of electron beam irradiation and antimicrobials on the volatiles, color, and texture of ready-to-eat turkey breast roll. **Journal of Food Science**, Chicago, v.69, n.5, June 2004.

ANEXOS

ANEXO A

		Página
TABELA 1A	Resumo da análise de variância para a composição centesimal e atividade de água (aa) de mortadelas elaboradas com diferentes níveis de nitrito e diferentes doses de irradiação.....	144
TABELA 2A	Resumo da análise de variância para o pH e a oxidação lipídica de mortadelas elaboradas com diferentes níveis de nitrito e diferentes doses de irradiação avaliados durante o armazenamento refrigerado a 4°C.....	144
TABELA 3A	Resumo da análise de variância para o nitrito residual, pigmentos heme totais, pigmentos heme nitrosos e conversão de pigmentos heme totais em pigmentos heme nitrosos de mortadelas elaboradas com diferentes níveis de nitrito e diferentes doses de irradiação avaliados durante o armazenamento refrigerado a 4°C...	146
TABELA 4A	Resumo da análise de variância para a cor de mortadelas elaboradas com diferentes níveis de nitrito e diferentes doses de irradiação avaliados durante o armazenamento refrigerado a 4°C.....	147
TABELA 5A	Resumo das curvas e coeficiente de regressão ajustados do índice de vermelho (valor a) e tonalidade (hue) de mortadelas elaboradas com diferentes níveis de nitrito e diferentes doses de irradiação avaliados durante o	

	armazenamento refrigerado a 4°C.....	149
TABELA 6A	Resumo da análise de variância para as curvas e o coeficiente de regressão ajustados do índice de amarelo (valor b) de mortadelas elaboradas com diferentes níveis de nitrito e diferentes doses de irradiação avaliados durante o armazenamento refrigerado a 4°C...	149
TABELA 7A	Resumo das curvas e o coeficiente de regressão ajustados do índice de amarelo (valor b) de mortadelas elaboradas com diferentes níveis de nitrito e diferentes doses de irradiação avaliados durante o armazenamento refrigerado a 4°C.....	150
TABELA 8A	Resumo da análise de variância para as curvas e o coeficiente de regressão ajustados do índice de amarelo (valor b) e o croma (c) de mortadelas elaboradas com diferentes níveis de nitrito e diferentes doses de irradiação avaliados durante o armazenamento refrigerado a 4°C.....	150
TABELA 9A	Resumo das curvas e o coeficiente de regressão ajustados do índice de amarelo (valor b) e o croma (c) de mortadelas elaboradas com diferentes níveis de nitrito e diferentes doses de irradiação avaliados durante o armazenamento refrigerado a 4°C.....	151
TABELA 10A	Resumo das curvas e o coeficiente de regressão ajustados da luminosidade (valor L) de mortadelas elaboradas com diferentes níveis de nitrito e diferentes doses de irradiação avaliados durante o armazenamento refrigerado a 4°C.....	151
TABELA 11A	Resumo da análise de variância para a textura de	

	mortadelas elaboradas com diferentes níveis de nitrito e diferentes doses de irradiação avaliados durante o armazenamento refrigerado a 4°C.....	152
TABELA 12A	Resumo das curvas e o coeficiente de regressão ajustados para os parâmetros de textura de mortadelas elaboradas com diferentes níveis de nitrito e diferentes doses de irradiação avaliados durante o armazenamento refrigerado a 4°C.....	154

TABELA 1A Resumo da análise de variância para a composição centesimal e atividade de água (aa) de mortadelas elaboradas com diferentes níveis de nitrito e diferentes doses de irradiação

FV	GL	QM				
		Umidade	Proteína	Cinzas	Gordura	aa
IRRAD	2	0,1023 ^{ns}	0,0805 ^{ns}	0,0260 ^{ns}	0,6134 ^{ns}	0,0003*
NO2	2	0,2170 ^{ns}	0,6434*	0,0003 ^{ns}	0,0742 ^{ns}	0,0000 ^{ns}
IRRAD*NO2	4	0,1147 ^{ns}	0,1293 ^{ns}	0,0291 ^{ns}	0,9567 ^{ns}	0,0000 ^{ns}
ERRO	9	0,1014 ^{ns}	0,0852 ^{ns}	0,0071 ^{ns}	0,1451 ^{ns}	0,0000 ^{ns}

aa = Atividade de água

* Significativo pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

^{ns} Não-significativo pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

TABELA 2A Resumo da análise de variância para o pH e a oxidação lipídica de mortadelas elaboradas com diferentes níveis de nitrito e diferentes doses de irradiação avaliados durante o armazenamento refrigerado a 4°C

FV	GL	QM	
		pH	TBA
IRRAD	2	0,0128 ^{ns}	0,0384*
NO2	2	0,0012 ^{ns}	0,0001 ^{ns}
IRRAD*NO2	4	0,3554*	0,0004 ^{ns}
ERRO (a)	9	0,0001 ^{ns}	0,0019
TEMPO	5	0,0000 ^{ns}	0,0586*
TEMPO*IRRAD	10	0,0015 ^{ns}	0,0013 ^{ns}
TEMPO*NO2	10	0,0003 ^{ns}	0,0009 ^{ns}
TEMPO*IRRAD*NO2	20	0,0005 ^{ns}	0,0004 ^{ns}
ERRO (b)	45	0,0009 ^{ns}	0,0007
Tempo 0			
IRRAD	2	0,0057 ^{ns}	0,0128*

...continua...

“TABELA 2, Cont.”

NO2	2	0,0005 ^{ns}	0,0027*
IRRAD*NO2	4	0,0017 ^{ns}	0,0012*
Tempo = 12 dias			
IRRAD	2	0,0012 ^{ns}	0,0120 ^{ns}
NO2	2	0,0017 ^{ns}	0,0005 ^{ns}
IRRAD*NO2	4	0,0003 ^{ns}	0,0006 ^{ns}
Tempo = 27 dias			
IRRAD	2	0,0003 ^{ns}	0,0104*
NO2	2	0,0021 ^{ns}	0,0007 ^{ns}
IRRAD*NO2	4	0,0003 ^{ns}	0,0003 ^{ns}
Tempo = 41 dias			
IRRAD	2	0,0002 ^{ns}	0,0009*
NO2	2	0,0022 ^{ns}	0,0000 ^{ns}
IRRAD*NO2	4	0,0000 ^{ns}	0,0002*
Tempo = 55 dias			
IRRAD	2	0,0012 ^{ns}	0,0046*
NO2	2	0,0026*	0,0003 ^{ns}
IRRAD*NO2	4	0,0001 ^{ns}	0,0001 ^{ns}
Tempo = 69 dias			
IRRAD	2	0,0002 ^{ns}	0,0040*
NO2	2	0,0054*	0,0003 ^{ns}
IRRAD*NO2	4	0,0004 ^{ns}	0,0000 ^{ns}

TBA = Índice de ácido tiobarbitúrico (utilizado para medir oxidação lipídica)

* Significativo pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

^{ns} Não-significativo pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

TABELA 3A Resumo da análise de variância para o nitrito residual, pigmentos heme totais, pigmentos heme nitrosos e conversão de pigmentos heme totais em pigmentos heme nitrosos de mortadelas elaboradas com diferentes níveis de nitrito e diferentes doses de irradiação avaliados durante o armazenamento refrigerado a 4°C

FV	GL	QM			
		Nitrito Residual	PHT	PHN	Conversão
IRRAD	2	11,72 ^{ns}	1194,20*	47,98 ^{ns}	873,43*
NO2	2	2673,99*	1,62 ^{ns}	12256,86*	18677,70*
IRRAD*NO2	4	9,82 ^{ns}	86,54 ^{ns}	17,45 ^{ns}	89,35*
ERRO (a)	9	5,58	147,97	19,32	18,91
TEMPO	5	1399,45*	6531,46*	983,06*	1657,58*
TEMPO*IRRAD	10	18,08*	310,97*	21,91 ^{ns}	328,92*
TEMPO*NO2	10	306,09*	77,58 ^{ns}	415,57*	321,00*
TEMPO*IRRAD*NO2	20	8,73 ^{ns}	124,53*	38,19*	81,53*
ERRO (b)	45	6,95	66,33	13,24	28,15
Tempo 0					
IRRAD	2	34,00 ^{ns}	194,05*	23,66 ^{ns}	76,46 ^{ns}
NO2	2	3071,49*	30,82 ^{ns}	4487,33*	5472,16*
IRRAD*NO2	4	25,28 ^{ns}	3,40 ^{ns}	15,30 ^{ns}	37,60 ^{ns}
Tempo = 12 dias					
IRRAD	2	44,84*	603,77*	16,50 ^{ns}	49,81 ^{ns}
NO2	2	538,55*	14,82 ^{ns}	3538,70*	3784,25*
IRRAD*NO2	4	11,16*	332,69 ^{ns}	66,03 ^{ns}	230,10*
Tempo = 27 dias					
IRRAD	2	3,93*	601,19*	20,38*	139,40*
NO2	2	176,74*	135,88 ^{ns}	1996,18*	2210,52*
IRRAD*NO2	4	11,71*	68,28 ^{ns}	31,84*	86,10*
Tempo = 41 dias					
IRRAD	2	3,54 ^{ns}	35,46 ^{ns}	0,82 ^{ns}	2,74 ^{ns}
NO2	2	138,09*	26,71 ^{ns}	2739,27*	3357,70*

...continua...

“TABELA 3, Cont.”

IRRAD*NO2	4	2,05 ^{ns}	16,77 ^{ns}	27,99*	34,17*
Tempo = 55 dias					
IRRAD	2	1,21*	239,83 ^{ns}	43,43 ^{ns}	225,48 ^{ns}
NO2	2	175,68*	39,50 ^{ns}	1128,26*	2360,46*
IRRAD*NO2	4	1,81*	83,64 ^{ns}	12,45 ^{ns}	47,99 ^{ns}
Tempo = 69 dias					
IRRAD	2	14,62*	1074,74*	52,74*	2024,16*
NO2	2	103,92*	141,79 ^{ns}	444,97*	3097,58*
IRRAD*NO2	4	1,48 ^{ns}	204,42 ^{ns}	54,79*	61,04 ^{ns}

PHT = Teor de pigmentos heme totais

PHN = Teor de pigmentos heme nitrosos

Conversão = Conversão dos pigmentos heme totais em pigmentos heme nitrosos

* Significativo pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

^{ns} Não-significativo pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

TABELA 4A Resumo da análise de variância para a cor de mortadelas elaboradas com diferentes níveis de nitrito e diferentes doses de irradiação avaliados durante o armazenamento refrigerado a 4°C

FV	GL	QM				
		L	a*	b*	C	H
IRRAD	2	7,29 ^{ns}	0,41 ^{ns}	0,15 ^{ns}	0,54 ^{ns}	3,04 ^{ns}
NO2	2	31,71*	659,55*	21,64*	316,18*	5442,75*
IRRAD*NO2	4	0,22 ^{ns}	2,95 ^{ns}	0,11 ^{ns}	1,82 ^{ns}	17,54 ^{ns}
ERRO (a)	9	5,64	0,84	0,90	0,96	11,07
TEMPO	5	12,31*	9,63*	2,06*	5,55*	102,37*
TEMPO*IRRAD	10	0,76 ^{ns}	1,06*	0,14 ^{ns}	0,42*	12,67*
TEMPO*NO2	10	0,32 ^{ns}	4,26*	0,64*	1,24*	77,32*
TEMPO*IRRAD*NO2	20	0,48 ^{ns}	0,71*	0,11 ^{ns}	0,26 ^{ns}	9,72*
ERRO (b)	45	0,43	0,34	0,096	0,19	4,76
IRRAD	2	7,29 ^{ns}	0,41 ^{ns}	0,15 ^{ns}	0,54 ^{ns}	3,04 ^{ns}
IRRAD	2	31,71*	659,55*	21,64*	316,18*	5442,75*
NO2	4	0,22 ^{ns}	2,95 ^{ns}	0,11 ^{ns}	1,82 ^{ns}	17,54 ^{ns}
IRRAD*NO2	9	5,64	0,84	0,90	0,96	11,07

...continua...

“TABELA 4, Cont.”

Tempo 0						
IRRAD	2	1,28 ^{ns}	0,13 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,02 ^{ns}	4,31 ^{ns}
NO2	2	4,06 ^{ns}	93,02*	1,02*	56,84*	557,57*
IRRAD*NO2	4	0,25 ^{ns}	0,69 ^{ns}	0,08 ^{ns}	0,24 ^{ns}	9,85 ^{ns}
Tempo = 12 dias						
IRRAD	2	3,90 ^{ns}	0,17 ^{ns}	0,04 ^{ns}	0,17 ^{ns}	2,15 ^{ns}
NO2	2	5,22 ^{ns}	100,22*	2,48*	53,81*	766,55*
IRRAD*NO2	4	0,54 ^{ns}	0,37 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,20 ^{ns}	2,98 ^{ns}
Tempo = 27 dias						
IRRAD	2	0,23 ^{ns}	2,02*	0,13 ^{ns}	1,08*	13,03 ^{ns}
NO2	2	8,59*	144,79*	5,89*	63,86*	1365,72*
IRRAD*NO2	4	0,50 ^{ns}	0,37 ^{ns}	0,22 ^{ns}	0,50 ^{ns}	5,04 ^{ns}
Tempo = 41 dias						
IRRAD	2	3,77 ^{ns}	0,78 ^{ns}	0,08 ^{ns}	0,77 ^{ns}	1,99 ^{ns}
NO2	2	5,05*	163,88*	7,79*	67,56*	1608,52*
IRRAD*NO2	4	0,98 ^{ns}	0,48 ^{ns}	0,05 ^{ns}	0,36 ^{ns}	2,07 ^{ns}
Tempo = 55 dias						
IRRAD	2	1,50 ^{ns}	0,15 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,09 ^{ns}	1,47 ^{ns}
NO2	2	6,01*	127,99*	6,31*	52,05*	1231,04*
IRRAD*NO2	4	0,26 ^{ns}	0,81 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,49 ^{ns}	4,65 ^{ns}
Tempo = 69 dias						
IRRAD	2	0,42 ^{ns}	2,47*	0,54 ^{ns}	0,49 ^{ns}	43,46*
NO2	2	4,38 ^{ns}	50,96*	1,33*	28,25*	299,97*
IRRAD*NO2	4	0,08 ^{ns}	3,77 ^{ns}	0,25 ^{ns}	1,31 ^{ns}	41,56*

*Significativo pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

^{ns}Não-significativo pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

TABELA 5A Resumo das curvas e coeficiente de regressão ajustados do índice de vermelho (valor a) e tonalidade (hue) de mortadelas elaboradas com diferentes níveis de nitrito e diferentes doses de irradiação avaliados durante o armazenamento refrigerado a 4°C

Tratamento (NO ₂ x Irrad)	Equação (R ² ajustado)	
	Valor a	Valor H
Trat 1 – 0 x 0	Y = 7,96	Y = -0,005.X ² +0,434.X+43,20 (R ² =0,7785)
Trat 2 – 0 x 7,5	Y = 15,69	Y = 26,50
Trat 3 – 0 x 15	Y = 16,42	Y = 26,57
Trat 4 – 75 x 0	Y = 0,003.X ² -0,177.X+9,232 (R ² =0,8772)	Y = -0,013.X ² +0,861.X+42,15 (R ² =0,8967)
Trat 5 – 75 x 7,5	Y = 15,60	Y = 26,25
Trat 6 – 75 x 15	Y = 16,42	Y = 26,75
Trat 7 – 150 x 0	Y = 0,004.X ² -0,266.X+10,76 (R ² =0,9138)	Y = -0,017.X ² +1,145.X+36,36 (R ² =0,9180)
Trat 8 – 150 x 7,5	Y = 14,77	Y = 27,83
Trat 9 – 150 x 15	Y = 16,22	Y = 26,77

TABELA 6A Resumo da análise de variância para as curvas e o coeficiente de regressão ajustados do índice de amarelo (valor b) de mortadelas elaboradas com diferentes níveis de nitrito e diferentes doses de irradiação avaliados durante o armazenamento refrigerado a 4°C

FV	GL	QM
NO ₂	2	0,54 ^{ns}
IRRAD	2	316,18*
NO ₂ *IRRAD	4	1,82 ^{ns}
ERRO(a)	9	0,96
TEMPO	(5)	5,55*
NO ₂ *TEMPO	(10)	0,42*
TEMPO/NO ₂ =0	5	2,53*
TEMPO/NO ₂ =75	5	0,50*
TEMPO/NO ₂ =150	5	0,30 ^{ns}
IRRAD*TEMPO	10	1,24*
NO ₂ *IRRAD*TEMPO	20	0,26 ^{ns}
ERRO(b)	45	0,19

* Significativo pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

^{ns} Não-significativo pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

TABELA 7A Resumo das curvas e o coeficiente de regressão ajustados do índice de amarelo (valor b) de mortadelas elaboradas com diferentes níveis de nitrito e diferentes doses de irradiação avaliados durante o armazenamento refrigerado a 4°C

TRATAMENTO	Equação	R2
NO2 = 0	$Y = 0,016.X + 8,73$	0,41
	$Y = -0,0009.X^2 + 0,076.X + 8,$	0,90
NO2 = 75	$Y = 0,010.X + 7,403$	0,85
NO2 = 150	$Y = 8,23$	-

Embora a regressão linear para NO2=0 tenha sido significativo, a regressão de 2º grau descreve melhor os dados

TABELA 8A Resumo da análise de variância para as curvas e o coeficiente de regressão ajustados do índice de amarelo (valor b) e o croma (c) de mortadelas elaboradas com diferentes níveis de nitrito e diferentes doses de irradiação avaliados durante o armazenamento refrigerado a 4°C

FV	GL	QM	
		B	C
NO2	2	0,15 ^{ns}	0,54 ^{ns}
IRRAD	2	21,64*	316,18*
NO2*IRRAD	4	0,11 ^{ns}	1,82 ^{ns}
ERRO(a)	9	0,90	0,96
TEMPO	(5)	2,06*	5,55*
NO2*TEMPO	10	0,14 ^{ns}	0,42*
IRRAD*TEMPO	(10)	0,64*	1,24*
TEMPO/Irrad=0	5	1,00*	1,12*
TEMPO/Irrad=7,5	5	0,69*	1,83*
TEMPO/Irrad=15	5	0,64*	3,44*
NO2*IRRAD*TEMPO	20	0,11 ^{ns}	0,26 ^{ns}
ERRO(b)	45	0,096	0,19

* Significativo pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

^{ns} Não-significativo pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

TABELA 9A Resumo das curvas e o coeficiente de regressão ajustados do índice de amarelo (valor b) e o croma (c) de mortadelas elaboradas com diferentes níveis de nitrito e diferentes doses de irradiação avaliados durante o armazenamento refrigerado a 4°C

TRATAMENTO	Equação (R²)	
	Valor b	Valor c
Irrad = 0	Y = 0,015.X+7,94 (R ² =0,9548)	Y = 0,0004.X ² - 0,018.X+15,92 (R ² =0,8231)
Irrad = 7,5	Y = -0,0004.X ² +0,038.X+7,88 (R ² =0,9124)	Y = 0,0006.X ² - 0,022.X+15,99 (R ² =0,8668)
Irrad = 15,0	Y = -0,0003.X ² +0,03.X+7,82 (R ² =0,8690)	Y = 0,0012.X ² - 0,068.X+16,20 (R ² =0,9399)

TABELA 10A Resumo das curvas e o coeficiente de regressão ajustados da luminosidade (valor L) de mortadelas elaboradas com diferentes níveis de nitrito e diferentes doses de irradiação avaliados durante o armazenamento refrigerado a 4°C

Variável	Equação	R²
L	Y = 0,017.X+58,37	0,30
	Y = -0,0007.X ² +0,067.X+57,93	0,50

TABELA 11A Resumo da análise de variância para a textura de mortadelas elaboradas com diferentes níveis de nitrito e diferentes doses de irradiação avaliados durante o armazenamento refrigerado a 4°C

FV	GL	QM					
		DUR	FRAT	COES	ADES	FLEX	MAST
IRRAD	2	0,2971 ^{ns}	0,0000 ^{ns}	0,0229*	0,0001*	0,0176 ^{ns}	5,0316*
NO2	2	0,0925 ^{ns}	0,0000 ^{ns}	0,0010 ^{ns}	0,0000 ^{ns}	0,0142 ^{ns}	1,4344 ^{ns}
IRRAD*NO2	4	0,0167 ^{ns}	0,0000 ^{ns}	0,0015 ^{ns}	0,0000 ^{ns}	0,0087 ^{ns}	0,1617 ^{ns}
ERRO (a)	9	0,06791	0,0000	0,0013	0,0000	0,0130	0,3458
TEMPO	5	0,2428*	0,0000*	0,0059*	0,0002*	0,0191*	3,1208*
TEMPO*IRRAD	10	0,1004 ^{ns}	0,0000 ^{ns}	0,0018 ^{ns}	0,0000 ^{ns}	0,0022 ^{ns}	0,9544*
TEMPO*NO2	10	0,0343 ^{ns}	0,0000 ^{ns}	0,0013 ^{ns}	0,0000 ^{ns}	0,0024 ^{ns}	0,3110 ^{ns}
TEMPO*IRRAD*NO2	20	0,0449 ^{ns}	0,0000 ^{ns}	0,0019 ^{ns}	0,0000 ^{ns}	0,0041 ^{ns}	0,5666 ^{ns}
ERRO (b)	45	0,0491	0,0000	0,0015	0,0000	0,0048	0,4398
Tempo 0							
IRRAD	2	0,0590 ^{ns}	6,9E-7 ^{ns}	0,0049 ^{ns}	0,0000 ^{ns}	0,0002 ^{ns}	0,2590 ^{ns}
NO2	2	0,0135 ^{ns}	3,1E-7 ^{ns}	0,0006 ^{ns}	0,0000 ^{ns}	0,0093 ^{ns}	0,0308 ^{ns}
IRRAD*NO2	4	0,0419 ^{ns}	7,3E-7 ^{ns}	0,0021 ^{ns}	0,0000 ^{ns}	0,0073 ^{ns}	0,5580 ^{ns}
Tempo = 12 dias							
IRRAD	2	0,0234 ^{ns}	4,8E-7 ^{ns}	0,0057 ^{ns}	0,0000 ^{ns}	0,0170 ^{ns}	0,1901 ^{ns}
NO2	2	0,0182 ^{ns}	4,2E-7 ^{ns}	0,0023 ^{ns}	0,0000 ^{ns}	0,0057 ^{ns}	0,6903 ^{ns}
IRRAD*NO2	4	0,0263 ^{ns}	9,4E-7 ^{ns}	0,0019 ^{ns}	0,0000 ^{ns}	0,0038 ^{ns}	0,1609 ^{ns}
Tempo = 27 dias							
IRRAD	2	0,1361 ^{ns}	1,2E-7 ^{ns}	0,0008 ^{ns}	0,0000 ^{ns}	0,0054 ^{ns}	1,5410
NO2	2	0,1633 ^{ns}	2,7E-7 ^{ns}	0,0001 ^{ns}	0,0000 ^{ns}	0,0005 ^{ns}	1,4657
IRRAD*NO2	4	0,0266 ^{ns}	2,0E-7 ^{ns}	0,0003 ^{ns}	0,0000 ^{ns}	0,0023 ^{ns}	0,1695
Tempo = 41 dias							

...continua...

“TABELA 11, Cont.”

IRRAD	2	0,2251 ^{ns}	4,6E-7 ^{ns}	0,0080*	0,0000 ^{ns}	0,0027 ^{ns}	3,3400 ^{ns}
NO2	2	0,0483 ^{ns}	6,2E-8 ^{ns}	0,0032 ^{ns}	0,0000 ^{ns}	0,0028 ^{ns}	0,3960 ^{ns}
IRRAD*NO2	4	0,0556 ^{ns}	2,3E-7 ^{ns}	0,0035 ^{ns}	0,0000 ^{ns}	0,0066 ^{ns}	0,6839 ^{ns}
Tempo = 55 dias							
IRRAD	2	0,3507*	0,0000 ^{ns}	0,0021 ^{ns}	0,0000 ^{ns}	0,0009 ^{ns}	3,4958*
NO2	2	0,0078 ^{ns}	0,0000 ^{ns}	0,0006 ^{ns}	0,0000 ^{ns}	0,0032 ^{ns}	0,0980 ^{ns}
IRRAD*NO2	4	0,0354 ^{ns}	0,0000 ^{ns}	0,0004 ^{ns}	0,0000 ^{ns}	0,0034 ^{ns}	0,5157 ^{ns}
Tempo = 69 dias							
IRRAD	2	0,0050 ^{ns}	6,1E-7	0,0108*	0,0000*	0,0025 ^{ns}	0,9778 ^{ns}
NO2	2	0,0130 ^{ns}	2,5E-7	0,0009 ^{ns}	0,0000 ^{ns}	0,0049 ^{ns}	0,3088 ^{ns}
IRRAD*NO2	4	0,0553 ^{ns}	9,6E-8	0,0030 ^{ns}	0,0000 ^{ns}	0,0059 ^{ns}	0,9068 ^{ns}

*Significativo pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

^{ns}Não-significativo pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

TABELA 12A Resumo das curvas e o coeficiente de regressão ajustados para os parâmetros de textura de mortadelas elaboradas com diferentes níveis de nitrito e diferentes doses de irradiação avaliados durante o armazenamento refrigerado a 4°C

Variável	Equação	R2
DUREZA	$Y = 3,7 \cdot 10^{-3} \cdot X + 1,609$	0,6747
FRATURABILIDADE	$Y = 2,2 \cdot 10^{-5} \cdot X + 0,023$	0,2828
COESIVIDADE	$Y = -5,9 \cdot 10^{-5} \cdot X^2 + 7,7 \cdot 10^{-3} \cdot X + 1,57$	0,3169
	$Y = -2,4 \cdot 10^{-5} \cdot X^2 + 1,8 \cdot 10^{-3} \cdot X + 0,56$	0,4993
ADESIVIDADE	$Y = 9,2 \cdot 10^{-5} \cdot X + 0,0088$	0,6267
FLEXIBILIDADE	$Y = -9,8 \cdot 10^{-4} \cdot X + 4,78$	0,6149
MASTIGABILIDADE	$Y = 9,9 \cdot 10^{-3} \cdot X + 4,397$	0,3856
	$Y = -4,1 \cdot 10^{-4} \cdot X^2 + 3,8 \cdot 10^{-2} \cdot X + 4,16$	0,6462

ANEXO B

	Página
FIGURA 1B Fotografia das mortadelas formuladas com diferentes níveis de nitrito (mg/kg) e doses de radiação (kGy).....	156

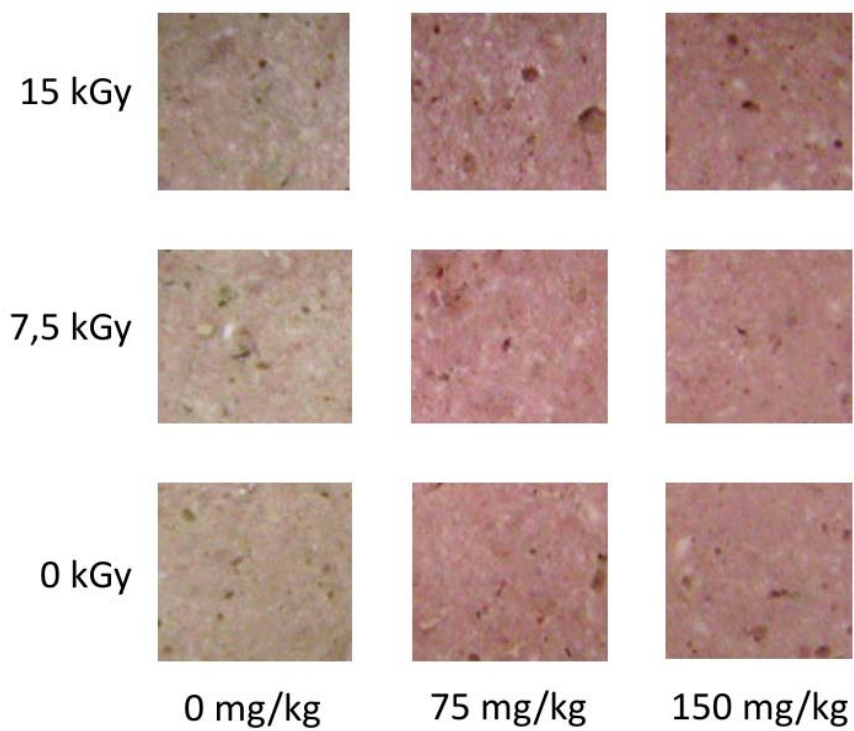


FIGURA 1B Fotografia das mortadelas formuladas com diferentes níveis de nitrito (mg/kg) e doses de radiação (kGy)