AUTARQUIA ASSOCIADA À UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

Efeitos da radiação gama visando tratamento quarentenário e análise do índice de capacidade de expansão de sementes do milho pipoca (Zea mays L. var.everta)

BIANCA GUIMARÃES NEGRÃO

Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção do Grau de Mestre em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear - Aplicações

**Orientador:
Prof. Dr. Valter Arthur**

**São Paulo
2019**

INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES
Autarquia associada à Universidade de São Paulo

Efeitos da radiação gama visando tratamento quarentenário e análise do índice de capacidade de expansão de sementes de milho pipoca (*Zea mays* L. var. *everta*)

BIANCA GUIMARÃES NEGRÃO

**Dissertação apresentada como parte dos
requisitos para obtenção do Grau de
Mestre em Ciências na Área
de Tecnologia Nuclear - Aplicações**

**Orientador:
Prof. Dr. Valter Arthur**

Versão Corrigida
Versão Original disponível no IPEN

São Paulo
2019

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho,
para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte

Como citar:

NEGRAO, B. G. . ***Efeitos da radiação gama visando o tratamento quarentenário e a análise do índice de capacidade de expansão de sementes do milho pipoca***. 2019. 65 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Nuclear), Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, IPEN-CNEN/SP, São Paulo. Disponível em: <www.teses.usp.br> (data de consulta no formato: dd/mm/aaaa)

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de geração automática da Biblioteca IPEN/USP,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Negrao, Bianca Guimarães

Efeitos da radiação gama visando o tratamento quarentenário e análise do índice de capacidade de expansão de sementes do milho pipoca / Bianca Guimarães Negrao; orientador Valter Arthur. -- São Paulo, 2019.
65 p.

Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Nuclear (Aplicações) -- Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, São Paulo, 2019.

1. Desinfestação. 2. Sitophilus zeamais. 3. Tratamento fitossanitário. 4. Grãos armazenados. 5. Pragas primárias. I. Arthur, Valter , orient. II. Título.

Dedico às minhas maiores
incentivadoras: Margareth e
Letícia.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por me fazer forte e decidida a realizar meus sonhos.

Agradeço ao meu Orientador Professor Dr. Valter Arthur por ter me aceitado como aluna, pela orientação, paciência, dedicação e por todo o aprendizado.

Agradeço a Prof. Dra. Anna Lucia C. H. Villavicencio, por toda ajuda, conselhos e carinho.

Ao Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares pela oportunidade de fazer parte deste Programa de Pós-Graduação que me fez conhecer um mundo novo.

Agradeço imensamente à minha prima Letícia e aos meus tios Uile (*in memoriam*) e Margareth que são minha fonte de inspiração. Mais uma etapa concluída graças a vocês. Grata por todo o suporte, confiança, amor incondicional e, principalmente por acreditarem no meu potencial.

Aos meus pais, João Bosco (*in memoriam*) e Leonilda e às minhas irmãs Brenda e Luana. Obrigada pelo amor e apoio.

Aos meus familiares que acreditam no meu sucesso. Em especial aos meus tios: Betânia e Marcelo, Janete, Goreth e minha avó Maria de Jesus. Aos meus primos; Camila e Eduardo. Eu amo todos vocês.

Ao meu amigo e namorado Antonio Castagnino pelo apoio e companheirismo durante mais esta etapa. À Família Castagnino: Naiana, Fátima e Dagoberto pelo carinho.

Aos amigos que fiz durante o mestrado no IPEN. Obrigada Andressa Albano, Ana Paula Nunes, Monise Brito, Bruna Cortez, João Victor e Amanda Koike por toda ajuda e palavras de conforto.

Aos amigos que fiz ao longo desses anos, agradeço pelo companheirismo e todas as palavras amigas e de incentivo. Obrigada Adrianne Brito, Diego Travasso, Larissa Gabrielly, Keven Mescouto, Heloise Helene, Aline Brunelly, Sabrina Barros, Fabrício Diogo (*in memoriam*).

A técnica Cristina, do Laboratório de Radiobiologia do CENA, pelo auxílio na realização das análises. A Elizabeth Somessari e Carlos Gaia da Silveira do Centro de Tecnologia das Radiações do IPEN, pela gentileza e ajuda nas irradiações das amostras.

A todos que torceram por mim, muito obrigada!

“Mesmo quando a vida é desafiadora, o presente sempre representa uma oportunidade para aprendermos, crescermos e nos tornarmos melhores do que jamais fomos.”
- Hal Elrod

RESUMO

NEGRÃO, Bianca G. ***Efeitos da radiação gama visando o tratamento quarentenário e análise do índice de capacidade de expansão de sementes do milho pipoca (Zea mays L. Var. Everta)***. 2018. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Nuclear) – Instituto Pesquisas Energéticas e Nucleares – IPEN-CNEN/SP. São Paulo.

O tratamento quarentenário visa eliminar ou reduzir o nível de população de pragas que podem estar presentes em alimentos como grãos ou frutas, pois, durante o período de armazenamento, é comum ocorrer a degradação e deterioração de produtos por insetos, o que resulta em muitas perdas pós-colheita. Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos da radiação gama em sementes de milho-pipoca, e em seu índice de capacidade de expansão (ICE). Os grãos foram infestados com inseto-praga *Sitophilus zeamais* no Laboratório de Irradiação de Alimentos no IPEN-CNEN/SP, sendo então submetidos a diferentes doses de radiação gama de 0,025; 0,050; 0,075 e 0,100 kGy para fins fitossanitários e doses de 1, 5, 10 e 15 kGy para análise de Índice de Capacidade de Expansão (ICE). As amostras foram irradiadas no irradiador de Cobalto-60, modelo Gammacell 220 no Centro de Tecnologia de Radiação (CTR) IPEN-CNEN/SP. Para os ensaios com insetos, cada tratamento consistiu em 3 repetições com 100 gramas de grãos de milho. As amostras foram acondicionadas e armazenadas a uma temperatura de $25 \pm 2^\circ\text{C}$ e umidade relativa de $70 \pm 5\%$ e, em seguida, foram realizadas as contagens de insetos emergidos. Para medir o ICE, foram utilizados pipoqueira elétrica e micro-ondas. Todas as fases: ovo, larva e pupa revelaram-se sensíveis à radiação gama, sendo a dose de 0,050 kGy suficiente para controlar o surgimento de adultos. Portanto, doses maiores que 0,075 kGy devem ser utilizadas para garantir o tratamento quarentenário do *Sitophilus zeamais*. A dose de 15 kGy foi a única que apresentou valores de Índice de capacidade de expansão (26,7 mL/g) abaixo do estipulado pela legislação (30 mL/g). Concluiu-se, então, que, para fins de tratamento quarentenário e melhoramento tecnológico, a dose adequada é de 0,1 kGy.

Palavras-chave: Desinfestação, *Sitophilus zeamais*, tratamento fitossanitário, grãos armazenados, pragas primárias.

ABSTRACT

NEGRÃO, Bianca G. ***Effects of gamma radiation for quarantine treatment and analysis of seed popping expansion index (Zea mays L. Var Everta)***. 2018. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Nuclear) – Instituto Pesquisas Energéticas e Nucleares – IPEN-CNEN/SP. São Paulo.

The quarantine treatment aims to eliminate or reduce the level of pest population that can be associated with products such as grains or fruits. Many post-harvest losses in stored products result from the degradation and deterioration caused by insects. Considering this context, the objective of this work was to evaluate the effects of gamma radiation on popcorn seeds and on the popping expansion index. The grains were purchased in the retail trade of the city of São Paulo, later infested in the Laboratory of Food Irradiation at IPEN-CNEN/SP, and then submitted to different doses of gamma radiation: 0,025; 0,050; 0,075 and 0,100 kGy for phytosanitary purposes and doses of 1, 5, 10 and 15 kGy for Popping Expansion Index (PEI) analysis. The samples were irradiated in the Cobalt-60 irradiator; model Gammacell 220 with a dose rate of 1.4 kGy/h at the IPEN-CNEN/SP Radiation Technology Center (CTR). Each treatment consisted of 3 replicates with 100 grams of corn grains. The samples were conditioned and stored at a temperature of $25 \pm 2^{\circ}\text{C}$ and relative humidity of $70 \pm 5\%$. Then, the counts of emerged insects were carried out. All phases: egg, larva and pupa were sensitive to gamma radiation. A dose of 0.100 kGy was sufficient to control the emerged of adult and should be used to ensure quarantine treatment of *Sitophilus zeamais* on stored popcorn grains. The 15 kGy dose was the only one that presented values of expansion capacity index (26.7 mL/g) below that stipulated by the Brazilian legislation (30 mL/g). It Was concluded that, for the purpose of quarantine treatment and technological improvement, for popping index the appropriate dose is 0,1 kGy in popcorn seeds.

Keywords: Disinfestations, *Sitophilus zeamais*, Phytosanitary treatment, stored grains, pests.

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 1 - Médias do número de insetos adultos emergidos de ovos irradiados com radiação gama após 40 dias da irradiação	45
Tabela 2 - Médias do número de insetos adultos que emergiram na geração F-1 quando a geração paterna foi irradiada com doses de radiação gama após 40 dias da irradiação	49
Tabela 3 - Resultados de umidade em diferentes doses de radiação gama em grãos de milho pipoca	51
Tabela 4 - Resultados dos parâmetros L*, C* e h das amostras irradiadas.	53
Tabela 5 - Pipoqueira : efeito da radiação gama em relação ao ICE de grãos de milho pipoca..	55
Tabela 6 - Micro-ondas: efeito da radiação gama em relação ao ICE de grãos de milho pipoca	56

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1 - Principais produtores de milho do País (estimativa de safra 2017/2018).....	19
Figura 2 - Produção da safra brasileira de milho em 2017/2018.....	20
Figura 3 - Grão de milho pipoca.....	21
Figura 4 - Safra de milho pipoca no estado do Mato Grosso ao longo dos últimos quatro anos.....	22
Figura 5 - Grãos de milho pipoca depois de aquecidos.....	23
Figura 6 - Tipos de milho e as relativas proporções do endosperma farináceo e vítreo.....	24
Figura 7 - Endosperma e Pericarpo do milho pipoca.....	25
Figura 8 - Principais pragas de grãos armazenados.....	26
Figura 9 - Adulto de <i>Sitophilus zeamais</i>	31
Figura 10 - Ciclo evolutivo do gorgulho de milho <i>Sitophilus zeamais</i> Motschulsky, 1855.	32
Figura 11 - Grãos de milho pipoca infestados (A) e inseto praga <i>Sitophilus zeamais</i> (B).....	33
Figura 12 - Símbolo da Radura.....	37
Figura 13 - Substrato.....	39
Figura 14 - Representação das análises que foram realizadas e suas respectivas doses.....	40
Figura 15 - Metodologia utilizada para determinar as doses letais para os estágios de ovos, larvas e pupas de <i>Sitophilus zeamais</i>	41
Figura 16 - Modelo da Pipoqueira elétrica utilizada na análise de ICE.....	44
Figura 17 - Mensuração do volume de pipocas expandidas.....	45
Figura 18 - Micro-ondas e pipoqueira de silicone utilizada na análise de ICE.....	46
Figura 19 - Chroma Portátil da marca MINOLTA (modelo CR400) e sistema CIELAB.....	47
Figura 20 - Alteração dos parâmetros da análise de cor em relação à dose de irradiação.....	54
Figura 21 - Gráfico comparativo dos resultados obtidos do ICE da pipoqueira elétrica e micro-ondas em relação de doses altas.....	57
Figura 22 - Gráfico comparativo dos resultados obtidos do ICE da pipoqueira elétrica e micro-ondas em relação de doses baixas.....	58

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 OBJETIVOS.....	17
2.1 Objetivo Geral.....	17
2.2 Objetivos Específicos	17
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
3.1 Milho.....	18
3.1.1 Milho-pipoca	21
3.1.1.1 Capacidade de Expansão.....	23
3.2 Pragas de grãos armazenados	27
3.2.2 - Aspectos gerais do <i>Sitophilus zeamais</i>	30
3.3 Tratamento Quarentenário.....	33
3.4 Irradiação de Alimentos.....	36
4 MATERIAL E MÉTODOS	39
4.1 Coleta dos insetos da espécie <i>Sitophilus zeamais</i>.....	39
4. 2 Irradiação de amostras	40
4.3 Contagem de insetos (dose letal e esterilização de adultos): Ensaio ovos, larva e pupa	41
4.4 Análise Físico-químicas.....	42
4.5 Índice de Capacidade de Expansão (ICE).....	42
4.5.1 Pipoqueira elétrica.....	43
4.5.2 Pipoqueira de silicone e forno Micro-ondas	44
4.6. Análises de Cor	45
4.7 Análise Estatística.....	47
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	48
5.1 Tratamento Quarentenário: Ensaios ovos, larva e pupa	48
5.2 Análise Físico-Química	52
5.3 Análise de Cor	53
5.4 Índice de Capacidade de Expansão (ICE).....	55
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	60

1 INTRODUÇÃO

O milho é um cereal fácil de ser plantado e colhido, seja ele milho duro, doce ou de pipoca e após o descobrimento da América, o milho difundiu-se por outras regiões e continentes. Cristóvão Colombo levou as primeiras sementes do milho para a Europa e os portugueses as levaram até a Ásia. Sendo assim, existem hoje aproximadamente 150 variedades de milho, com grande diversidade de cor e formato dos grãos. (ANUÁRIO BRASILEIRO DO MILHO, 2015).

Os grãos de milho pipoca destacam-se, pois quando submetidos a uma fonte qualquer de calor, são capazes de estourar, podendo multiplicar até mais de 40 vezes o volume inicial dos grãos utilizados, originando um alimento saboroso. Nesse fenômeno de expansão; a película que reveste o grão, o pericarpo, tem papel fundamental, pois é da sua integridade que resulta a capacidade de suportar a pressão interna criada pela vaporização da umidade contida no endosperma. A importância em estimar Índice de capacidade de expansão (ICE) está na existência de uma forte correlação positiva entre este índice e a qualidade da pipoca. Ou seja, quanto maior o ICE mais macia a pipoca e menor a quantidade de piruás (grãos que não conseguiram estourar) (PEREIRA FILHO; PACHECO; CRUZ, 2010)

É importante enfatizar que os fatores que controlam o fenômeno de expansão são principalmente a umidade no núcleo e um pericarpo intacto. Qualquer coisa que altere uma dessas duas características de seu estado ideal reduz o volume de estouro.

Contudo, os trabalhos envolvendo a cultura do milho pipoca são escassos, principalmente aqueles relacionados à incidência de pragas, pois atribui-se que as pragas que afetam a cultura do milho comum tragam os mesmos danos às culturas da pipoca. Além disso, sabe-se que diversas espécies de insetos podem infestar as plantações de milho, causando danos desde ao plantio até a colheita (SILVA et al., 2000)

Neste contexto, as infestações por insetos podem ser ocasionadas por pragas primárias ou secundárias, classificação esta que depende da forma agem. As primárias são aquelas que atacam grãos inteiros e saudáveis e, dependendo

de que partes do grão afetam, podem ser denominadas pragas primárias internas ou externas. As primárias internas perfuram os grãos e as sementes e penetram neles para completar seu desenvolvimento. Eles se alimentam de todo o interior do grão ou semente e permitem a instalação de outros agentes deteriorantes. Exemplos dessas pragas são as espécies *Rhyzopertha dominica*, *Sitophilus oryzae* e *Sitophilus zeamais*. Já as pragas primárias externas são aquelas que não conseguem atacar grãos inteiros, mas se multiplicam rapidamente e causam prejuízos elevados que destroem a parte externa do grão ou semente (LORINI, 2008).

É importante lembrar que esses insetos causam danos tanto no milho, como no sorgo, arroz e outros cereais em armazenamento. A infestação geralmente começa no campo e depois é levada para os depósitos onde ficam os grãos. Seus ovos são brancos e ovais e a fêmea perfura os grãos, fazendo um buraco minúsculo no qual ela deposita seus ovos, seguido pela selagem do buraco com uma secreção. Os ovos eclodem em larvas minúsculas que ficam e se alimentam dentro do grão e são responsáveis pela maioria dos danos. As larvas maduras são brancas e possuem cerca de 4 mm. A pupação também ocorre dentro do grão (HILL, 1983).

No Brasil, o gorgulho-do-milho, *Sitophilus zeamais* Motschulsky (Coleoptera: Curculionidae), é uma das principais pragas do milho armazenado. Tem cerca de 2,0 mm a 3,5 mm de comprimento, é marrom escuro com manchas mais claras no élitro (asas anteriores), visíveis logo após a emergência. Já o período de oviposição é de 104 dias e a longevidade das fêmeas é de 140 dias (LORINI, 2001; LORINI, 2008).

Assim, a desinfestação de insetos como tratamento de quarentena, também chamada de medida fitossanitária, é provavelmente uma das aplicações mais úteis da irradiação de alimentos, uma vez que, em regiões tropicais e subtropicais, muitas espécies de insetos atacam frutas, legumes, nozes, alimentos secos e grãos. Deve-se observar ainda que, para exportar esses alimentos que podem ser de uma área infestada para um mercado não infestado, o produto deve primeiro ser tratado. A fumigação química com dibrometo de etileno não é mais permitida ou usada em muitos países e os tratamentos de calor e frio podem ser

usados em algumas mercadorias, mas sempre levando em conta os diferentes graus de tolerância ao calor e ao frio do produto (MOY, 2005).

Quanto ao uso de radiação para desinfestações, destaca-se que, tal como acontece com outros organismos, para as células de insetos, a sensibilidade à radiação é diretamente proporcional à atividade reprodutiva das células e inversamente proporcional ao seu grau de diferenciação. Além disso, para cada mercadoria em particular, as espécies de insetos que a infestam devem ser conhecidas. Assim, como a sensibilidade à radiação varia nas ordens dos insetos, mesmo nos estágios de desenvolvimento das mesmas espécies, uma dose de desinfestação deve ser estabelecida somente após considerar as espécies de insetos, seus estágios de desenvolvimento no produto e as condições ambientais durante o tratamento (AHMED, 2001).

Sendo assim, a irradiação é uma tecnologia versátil para desinfestar produtos agrícolas frescos e duráveis de pragas quarentenárias. Desta forma, pode ser aplicada como um método de quarentena ou de tratamentos fitossanitários pois esteriliza ou elimina pragas reguladoras em produtos exportados para evitar sua introdução e estabelecimento em novas áreas. Consequentemente, o objetivo da irradiação como tratamento fitossanitário é fornecer segurança de quarentena para qualquer praga regulamentada que resida em ou esteja associada ao produto (FOLLET & GRIFFINS, 2006).

Portanto, a relação entre o controle de insetos durante o armazenamento de grãos de milho pipoca está principalmente ligada com a integridade física dos grãos e sua capacidade de expansão, uma vez que danos no pericarpo, mesmo que superficiais, têm o poder de fazer com que o grão suporte menor pressão, refletindo em reduções drásticas no ICE e na aceitação do consumidor.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Avaliar os efeitos da radiação gama visando o tratamento quarentenário e análise do índice de capacidade de expansão de sementes do milho pipoca (*Zea mays* L. var. *everta*)

2.2 Objetivos Específicos

- Estudar o tratamento quarentenário do inseto-praga *Sitophilus zeamais* em sementes de milho pipoca.
- Avaliar os efeitos da radiação gama no índice de capacidade de expansão, umidade e análise de cor em sementes do milho pipoca.
- Verificar a alteração na umidade.
- Verificar a alteração na coloração dos grãos de milho pipoca.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Milho

O milho é um conhecido cereal cultivado em grande parte do mundo. Pertence à Família Poaceae e da espécie *Zea mays*. Comumente, o termo se refere à semente, um cereal de alta qualidade nutritiva. Originária da América Central apresenta grande capacidade de adaptação a diversos climas, sendo plantado em praticamente todas as regiões do mundo, nos hemisférios norte e sul, ao nível do mar, regiões montanhosas, em climas úmidos e regiões secas (MATOS, 2007).

Alem disso, é uma das culturas mais importantes do mundo, seja do ponto de vista econômico ou do ponto de vista social, pois a utilização do milho é ampla, abrangendo seu emprego como alimento, assim como para uso industrial e energético. Seu destino é, principalmente, a produção de rações para uso animal. No entanto, o leque de destinos industriais do milho é também muito vasto. O cereal pode ser utilizado na produção de alimentos básicos, como fubás, farinhas, canjicas e óleos, como pode ser empregado em produtos mais elaborados, como xarope de glucose, maltodextrinas e corantes caramelo (SOLOGUREN, 2015).

A produção de milho no Brasil é caracterizada pelo plantio em duas épocas: primeira safra (ou safra de verão) e segunda safra (ou safrinha). Os plantios de verão são realizados em todos os Estados, na época tradicional, durante o período chuvoso, que ocorre no fim de agosto, na região Sul, até os meses de outubro/novembro, no Sudeste e Centro-Oeste. Entretanto, na região Nordeste, esse período ocorre no início do ano (Figura 1). A Conab (Companhia Nacional de Abastecimento) classifica como segunda safra a safrinha propriamente dita, que é a safra de inverno plantada em Rondônia, Tocantins e em determinadas regiões da Bahia (EMBRAPA MILHO E SORGO, 2010).

Figura 1 – Principais produtores de milho do País (estimativa de safra 2017/2018)

ESTADOS	PRODUÇÃO (mil t)
Mato Grosso	26.132,4
Paraná	13.541,9
Goiás	8.480,8
Minas Gerais	7.281,9
Mato Grosso do Sul	6.900,8
Rio Grande do Sul	4.827,8
São Paulo	4.706,8
Santa Catarina	2.551,0
Bahia	2.400,8
Maranhão	2.021,3

Fonte: CONAB, junho/2018.

O Brasil demonstra um grande potencial como produtor de milho atingindo resultados expressivos em suas colheitas, provocados pelo bom momento do cereal nos mercados interno e externo. Assim, no ciclo 2011/12, por exemplo, obteve-se a maior safra da história, com 72,979 milhões de toneladas, de acordo com a Conab. Nesse contexto, a cultura do milho pipoca, de acordo com o órgão público que apura os números desde 2010, tem registrado volumes crescentes no Mato Grosso, tendo mais que dobrada a produção em 2012. Assim, segundo dados oficiais, a produção foi de 43.403 milhões de toneladas de grãos em 2010, 44.575 milhões de toneladas em 2011 e 95.073 milhões em 2012 (ANUÁRIO BRASILEIRO DO MILHO, 2013).

Presente em todos os Estados brasileiros e um dos pilares do agronegócio nacional, o milho cresceu bastante na última década e chegou próximo de 100 mil toneladas no País na safra 2016/17. No ciclo 2017/2018, baixou de patamar produtivo em virtude da concorrência com a soja na primeira safra (Figura 2). Deste modo, também o Valor Bruto da Produção (VBP), que atingiu quase R\$ 50 bilhões em 2017, deve diminuir, para cerca de R\$ 45 bilhões

na safra de 2019. No entanto, o milho ainda mantém a posição de terceira lavoura de maior renda total no Brasil (ANUÁRIO BRASILEIRO DO MILHO, 2018).

Figura 2- Produção da safra brasileira de milho em 2017/2018

NÚMEROS DA SAFRA BRASILEIRA (TOTAL) DE MILHO 2017/18
(E VARIAÇÃO PERCENTUAL EM RELAÇÃO À ANTERIOR)

Área – mil ha	16.664,8		(-5,3)
Produtividade – kg/ha	5.101		(-8,3)
Produção – mil t	85.003,5		(-13,1)
PRIMEIRA SAFRA/Regiões	Área – mil ha		Produção – mil t
Sul	1.377,4	(-19,6)	10.265,6 (-26,6)
Sudeste	1.195,6	(-8,1)	7.721,7 (-5,7)
Nordeste	1.936,5	(+7,2)	5.548,7 (+24,4)
Centro Oeste	284,7	(-18,7)	2.289,3 (-18,8)
Norte	294,8	(-5,5)	961,8 (-3,4)
Brasil	5.089,0	(-7,2)	26.787,1 (-12,1)
SEGUNDA SAFRA/Regiões			
Centro Oeste	7.429,5	(-3,1)	39.719,3 (-13,8)
Sul	2.144,3	(-11,0)	10.655,0 (-18,9)
Sudeste	871,0	(+4,0)	4.315,3 (+1,4)
Nordeste	753,9	(-5,3)	1.963,1 (-11,6)
Norte	377,1	(-6,0)	1.563,5 (-8,4)
Brasil	11.575,8	(-4,4)	58.216,2 (-13,6)

Fonte: CONAB, junho/2018.

Vale ressaltar ainda que, apesar da queda em 2017/2018, a Conab estima um incremento de 4,4% em 2019, frente a 2018, com o consumo doméstico saindo de 59,84 milhões de toneladas este ano para as 62,50 milhões de toneladas no ano que vem. Para as exportações, a previsão é de um forte aumento, de 34,8% na comparação anual. Sendo assim, o país deverá embarcar 31 milhões de toneladas em 2018/2019, frente as 23 milhões de toneladas exportadas em 2017/2018 (ANUÁRIO BRASILEIRO DO MILHO, 2018)

Quanto ao valor nutritivo do milho, este é um dos principais motivos da sua utilização tanto na alimentação humana quanto animal. Pois, o milho é especialmente rico em carboidratos, essencialmente o amido (em média 72%) bem como lipídios (óleo) e as fibras alimentares, que constituem 4,5% e 2,0% dos grãos, respectivamente. Algumas vitaminas também são encontradas no milho, com destaque para a B1, a B2, a vitamina E e o ácido pantotênico, além de

alguns minerais, principalmente o fósforo e o potássio. No entanto, o milho não constitui fonte essencial desses nutrientes, especialmente devido à baixa biodisponibilidade de alguns desses componentes. Outro nutriente que se destaca como constituinte dos grãos do milho são as proteínas, cujos teores chegam, em média, a 9,5%, assim como pigmentos carotenóides que conferem a cor amarela aos grãos (PAES, 2011).

3.1.1 Milho-pipoca

Os milhos especiais são todos aqueles que não são cultivados para a produção de grãos secos, que envolve a produção de milho verde comum, milho verde doce, milho pipoca e milho destinado à produção de minimilho, milho para alto teor de óleo, milho de alta qualidade proteica, milho para canjica, dentre outros, que possuem nichos de mercado próprios, com grande valor agregado (PEREIRA FILHO; CRUZ, 2009).

O milho utilizado para preparar a pipoca parte de um tipo especial de espiga, que tem como principal característica os grãos pequenos, contendo amido duro ou cristalino, com propriedade de expansão quando submetidos ao aquecimento, originando a pipoca (Figura 3). O milho pipoca atinge maturação fisiológica em, aproximadamente, 100 a 110 dias após o plantio. A partir deste período, deve-se monitorar a umidade dos grãos para determinação do ponto de colheita (16% a 17% de umidade) (REGITANO-D'ARCE; SPOTO; CASTELLUCCI, 2015)

Figura 3 - Grão de milho pipoca

Fonte: SILVA, 2010

O milho pipoca, de grãos amarelos ou brancos, é consumido em todo o território nacional. Em consequência, o cultivo deste tipo de milho vem crescendo rapidamente no Brasil, especialmente nos Estados de Mato Grosso e Goiás, demandado pelas indústrias alimentícias que trabalham com o produto. O mercado de sementes, ainda pequeno, é representado pelos híbridos IAC 112 e 125, Zélia, Jade e as variedades RS 20, BRS Ângela e UFVM2 Barão de Viçosa e, mais seis híbridos (P608, P608 HT, P618, P621 e P625) registrados pela Yoki Alimentos através de parceiros da empresa. No cultivo, recomenda-se o espaçamento de 70 a 80 cm entre linhas e densidade de semeadura com 60.000 plantas por hectare. Além disso, a produção do milho pipoca pode chegar a 3 toneladas por hectare e a capacidade de expansão deve ser ao redor de 35mL/g (PEREIRA FILHO; CRUZ, 2009).

Por ser uma das opções para os produtores que procuram diversificar os plantios na segunda safra, em busca de melhor rentabilidade, o cultivo do milho pipoca está ganhando espaço no Centro-Oeste e também pode se expandir no Sudeste. Atualmente, Mato Grosso continua se destacando como o maior produtor de milho pipoca do Brasil (Figura 4). Em 2017, o Estado produziu 225,136 mil toneladas, em 53.673 hectares, de acordo com o Levantamento Sistemático da Produção Agrícola (LSPA), da unidade estadual do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) (ANUÁRIO BRASILEIRO DO MILHO, 2018).

Figura 4 – Safra de milho pipoca no estado do Mato Grosso ao longo dos últimos quatro anos.

ANO	Área (ha)	Produção (t)
2018	59.982	251.984*
2017	53.673	225.136
2016	20.715	82.975
2015	34.939	145.211
2014	56.507	255.719

Fonte: IBGE, jun/2018

*Estimativa.

3.1.1.1 Capacidade de Expansão

A principal diferença estrutural entre o milho comum e o milho pipoca está no fato de que, quando aquecidos, os grãos de milho pipoca estouram transformando-se em uma massa branca chamada pipoca, floco ou flor expandida (Figura 5) e existem três opções para obtenção da pipoca: ar quente, óleo aquecido ou por meio do uso de micro-ondas (ZIEGLER, 2001).

Figura 5 – Grãos de milho pipoca depois de aquecidos.

Fonte: acervo da autora.

A “explosão” da pipoca nada mais é do que o estouro da casca externa, pela pressão exercida no interior do grão, durante a conversão de sua umidade interna em vapor de água, transformando a parte interna numa massa pouco consistente de amidos e fibras, maior do que o grão original (Figura 6) (CRUZ, 2011).

O milho pipoca tem a proporção certa de endosperma macio a duro, com um pericarpo forte o suficiente para confinar a pressão interna do vapor até que seja grande o suficiente para fornecer a força motriz ideal para expandir os grânulos de amido do endosperma translúcido. Assim, o fenômeno do estouro é uma função da estrutura física de todo o núcleo e da estrutura microscópica do endosperma. Durante o “estalo”, os grânulos de amido não explodem de imediato, somente após a liberação da pressão interna do vapor que eles são gelatinizados expandidos pelo calor. O endosperma sofre pouca alteração durante o processo de abertura, exceto para se afastar um do outro. Portanto, a produção de pipoca

está associada à proporção de endosperma vítreo e o endosperma (opaco) dos grãos. Sendo assim, a pipoca é derivada da porção translúcida do endosperma.

Figura 6 - Tipos de milho e as relativas proporções do endosperma farináceo e vítreo.

Fonte: PAES, 2006.

Durante a colheita, o armazenamento e o processamento, deve-se ter cuidado com os danos no grão por ação mecânica, pois isso compromete a capacidade de expansão do milho, assim como deve-se evitar a secagem rápida com altas temperaturas, que causam trincamento do endosperma, depreciando a qualidade e a capacidade de expansão da pipoca. Recomenda-se, então, o processo de secagem lenta, utilizando baixas temperaturas (menores que 35°C) (REGITANO-D´ARCE; SPOTO; CASTELLUCCI, 2015).

Assim, a cultura do milho pipoca constitui-se numa boa opção econômica para os produtores e sua venda gera divisas em todo o mundo. Seu índice de capacidade de expansão (ICE) é calculado pela relação entre o volume de pipoca obtido e o volume de grãos utilizados, e constitui o principal parâmetro de qualidade do milho-pipoca. Vale destacar que o ICE do milho-pipoca está condicionada tanto a fatores genéticos quanto extragenéticos, como as condições de desenvolvimento em campo, condições de colheita e do pré-processamento (RUFFATO et al., 1998).

Segundo CRUZ (2011), os grãos devem ser colhidos com umidade em

torno de 16% a 17%, podendo ser armazenados em silos areados até atingir 14%. Depois, devem ser armazenados à sombra em local ventilado até atingir de 12% a 13%. Em ambientes de baixa umidade relativa, podem ser utilizados processos que envolvam apenas ventilação sem fonte de calor. Por outro lado, para manter a estrutura do pericarpo, deve-se ter cuidado com a debulha, a embalagem, o manuseio e o transporte do milho de pipoca, desde o campo até a residência do consumidor (Figura 7).

Figura 7 - Endosperma e Pericarpo do milho pipoca.

Fonte: SILVA, 2010.

Portanto, o principal parâmetro para avaliação da qualidade dos grãos do milho pipoca é o índice de capacidade de expansão (ICE), que tem relação direta com a maciez da pipoca e com o número de piruás (número de grãos que não expandem). Deste modo, segundo SAWAZAKI (1995), os seguintes fatores afetam a capacidade de expansão:

- Umidade dos grãos: o endosperma do milho-pipoca é maior parte vítrea, com grãos de amido concentrados, circundados por uma matriz proteica dura e elástica, sem espaço entre as estruturas, enquanto que o endosperma farináceo, constitui uma pequena porção na parte central do grão, onde os grânulos de amidos estão dispersos, formando espaços vazios entre as estruturas, que são ocupados pela água.
- Danos no pericarpo e endosperma: os danos mecânicos, causados na trilhagem das espigas e no processo de secagem, afetam a capacidade de

expansão dos grãos do milho-pipoca.

- Grãos imaturos e ataque de fungos nos grãos: os grãos de milho-pipoca imaturos, em razão da morte precoce da planta, ocasionada por seca ou doenças foliares ou de colmo, apresentam menor tamanho e densidade dos grãos. Neles, pode haver ataque de fungos nos pericarpos, e isso também afeta a capacidade de expansão, por diminuir sua resistência.

Sendo assim, para obter uma boa expansão da pipoca e pequena quantidade de piruás, é necessário que os grãos estejam com o pericarpo íntegro e o teor de umidade em torno de 13,5 % a 14,5 %. Se o teor de umidade dos grãos for superior ao percentual mencionado, o floco de pipoca produzido apresentará uma textura umedecida, sentida na boca como ausência de crocância. Já os grãos com baixa umidade não estourarão, formando grande volume de piruás. Assim, é fundamental que o produto tenha boa aparência e alta capacidade de expansão, para ter boa aceitação num mercado que é muito exigente. Além disso, a qualidade visual é dada pela limpeza e brilho dos grãos, ausência de grãos danificados mecanicamente (CRUZ, 2011).

Vale ressaltar ainda que o teor de umidade na ocasião da colheita apresenta uma influência bastante significativa na qualidade do milho-pipoca colhido mecanicamente e a secagem, dentre outras operações de pós-colheita, tem sido considerada um importante fator que influencia a qualidade dos grãos. Desta forma há a necessidade de maiores informações a respeito do efeito prejudicial da secagem na qualidade do milho-pipoca, o que poderá afetar diretamente a capacidade de expansão (RUFFATO et al., 1998).

Nesse contexto, quando comparadas as culturas de milho, constata-se que as plantações de milho-pipoca são delicadas. Assim, em comparação às cultivares de milho, as plantas do milho-pipoca são mais suscetíveis a pragas e a doenças mais prolíficas, superprecoces na maturação e na secagem dos grãos, além de produzirem perfílios com maior frequência, tem um sistema radicular menos desenvolvido, sofrendo maior dano com ataque de larvas de diabrótica e nematoides, o que torna a planta mais suscetível ao acamamento e à seca (SAWAZAKI, 2010).

Além disso, os danos relativos às doenças foliares e pragas agrícolas ocorrem principalmente em razão do mau funcionamento do tecido fotossintético, decorrente da destruição da área foliar, pelo crescimento do número de lesões desencadeadas por pragas ou doenças, podendo ocorrer a morte prematura da folha, limitando a interceptação da radiação solar e a translocação dos açúcares para o enchimento dos grãos (HENRIQUES, 2015).

Desta forma, para a indústria, são extremamente importantes as pesquisas que garantam cada vez mais a proteção à produção de milho-pipoca uma vez que, no que se refere à qualidade da pipoca, o consumidor espera um produto que tenha boa aparência, sabor, textura e sem grãos não estourados (piruás) e a indústria de alimentos essas mesmas características, mas também a capacidade do grão de se expandir (ZIEGLER, 2001).

3.2 Pragas de grãos armazenados

Uma característica positiva dos grãos é a possibilidade de serem armazenados por longo período de tempo, sem perdas significativas da qualidade. Entretanto, o armazenamento prolongado só pode ser realizado quando se adotam corretamente as práticas de colheita, limpeza, secagem, combate a insetos e prevenção de fungos. Assim, pesquisas no segmento da colheita e armazenagem são muito importantes para a conservação de grãos obtidos pelos agricultores. Desta forma, é fundamental que a qualidade dos grãos seja preservada, mantendo-os sadios, limpos e livres de resíduos de agrotóxicos utilizados para combater as pragas que sempre atacam os grãos armazenados (SANTOS, 2009).

Segundo SANTOS (1993), em se tratando de controle de insetos durante o armazenamento do milho, tem-se que considerar a armazenagem a granel, em sacaria e em espiga com palha, de modo que:

- No armazenamento em silos, em graneleiros ou em sacaria, é mais fácil a preservação dos grãos contra o ataque dos insetos, porque há tecnologia adequada para ser posta em prática. O que se necessita, entretanto, é a aquisição ou a atualização dos conhecimentos sobre os métodos de controle de pragas por parte dos responsáveis por unidades armazenadoras.

- Para ser armazenado a granel, o milho precisa estar, basicamente, bem seco (13% de umidade), livre de pragas e de impurezas.
- Já no armazenamento de milho em espiga, os maiores problemas são o controle dos insetos e dos roedores, pois as maiores dificuldades relacionam-se com a rusticidade das estruturas armazenadoras. Isso ressalta a importância de uma fusão de práticas de controle de insetos que sejam ao mesmo tempo eficientes, de baixo custo e de execução simples, além da disponibilidade de estruturas que poderão reduzir as perdas no armazenamento de milho em espiga.

Estima-se ainda que, no Brasil, a perda devido ao ataque de pragas em grãos armazenados seja da ordem de 10%. E os insetos-praga mais comumente encontrados danificando grãos durante o armazenamento pertencem às ordens Coleoptera e Lepidoptera (Figura 7) (NARDI, 2003).

Outro fator importante na conservação dos grãos armazenados diz respeito ao clima. Assim, considerando as condições climáticas e ecológicas do Brasil, as pragas que ocorrem no armazenamento se desenvolvem com bastante facilidade, comprometendo a preservação e qualidade dos grãos. Neste contexto, destaca-se o caruncho do milho *Sitophilus zeamais* Mots. (Coleóptera: Curculionidae), em razão de seu elevado potencial reprodutivo, ampla distribuição no território nacional, existência de populações resistentes aos inseticidas e principalmente aos danos ocasionados ao arroz, milho e trigo armazenados (POTENZA, 2004).

Portanto, devido às diversas operações realizadas pelas quais passam os grãos de milho, e também aos fatores físicos, químicos e biológicos que atuam sobre eles, torna-se necessário o estudo e o planejamento de ações que reduzam os índices de perdas ao mínimo, para que se possa obter um produto de melhor qualidade e maior preço final (ANTUNES, 2011).

3.2.1 Pragas primárias e secundárias

Segundo Santos (1993), de acordo com a biologia e hábitos alimentares, os insetos-pragas dos grãos armazenados são classificados como pragas primárias, que são aquelas capazes de danificar grãos inteiros, e pragas

secundárias, que infestam grãos já previamente danificados (Figura 8):

- **Pragas Primárias:** Pragas primárias internas: incluem os insetos cujas fases de desenvolvimento ocorrem no interior dos grãos, alimentando-se deles e destruindo-os. São exemplos: Caruncho ou gorgulho do milho (*Sitophilus zeamais*), Traça dos cereais (*Sitotroga cerealella*). Pragas primárias externas: incluem os insetos cujas diversas fases de desenvolvimento alimentam-se da parte externa dos grãos, embora, esporadicamente, também possam atacar as partes internas dos grãos. São exemplos: Broca pequena do grão (*Rhyzopertha dominica*), Broca grande do grão (*Prostephanus truncatus*), Traça da farinha (*Plodia interpunctella*).

- **Pragas Secundárias:** Essas pragas são chamadas de secundárias não por serem menos importantes, mas porque somente conseguem atacar aqueles grãos que já foram danificados pelas pragas primárias ou que estejam quebrados. São exemplos: Tribólio (*Tribolium castaneum* e *T. Confusum*), Criptolestes (*Criptolestes ferrugineus*), Ácaros (*Acarus Sirus*, *Glycypagus*).

Figura 8 - Principais pragas de grãos armazenados.

Ordens	Nome científico/ Nome comum	Família	Hospedeiros
Coleóptera	<i>Lasioderma serricorne</i> Bicho do fumo	Anobiidae	Soja
	<i>Rhyzoperta Dominica</i> Besourinho dos cereais	Bostrichidae	Trigo e arroz
	<i>Sitophilus zeamais</i> Caruncho do milho	Curculionidae	Milho e trigo
	<i>Sitophilus oryzae</i> Caruncho do arroz	Curculionidae	Arroz e trigo
	<i>Cryptolestes ferrugineus</i> Criptolestes	Laemophloeidae	Milho, soja e sorgo
	<i>Oryzaephilus surinamensis</i> Besouro da cevada	Silvanidae	Milho, soja e girassol
	<i>Tribolium castaneum</i> Tribolium	Tenebrionidae	Milho, girassol e soja
	<i>Sitotroga cerealella</i> Traça dos cereais	Gelechiidae	Trigo, arroz e milho
	<i>Plodia interpunctella</i> Traça	Pyalidae	Soja, milho e trigo
	<i>Ephestia</i> sp. Traça das farinhas	Pyalidae	Soja, milho e arroz
	<i>Corcyra cephalonica</i> Traça	Pyalidae	Soja, trigo e arroz

Fonte: QUIRINO, 2008

3.2.2 - Aspectos gerais do *Sitophilus zeamais*

O gorgulho de milho, *Sitophilus zeamais*, é um besouro de 3mm de comprimento, coloração castanho-escuro, com quatro manchas avermelhadas nos élitros bastante visíveis logo após a emergência. Uma cabeça prolongada para a frente com o rostro recurvado, onde estão as peças bucais (Figura 9). As larvas são de coloração amarelo-clara, com a cabeça mais escura e as pupas brancas. No milho debulhado, os ovos são colocados principalmente na ponta do grão e proximidades. Assim, pode-se considerar o gorgulho como a praga mais

importante dos grãos armazenados no Brasil, por uma série de características como o elevado potencial biótico, infestação cruzada, praga de profundidade, elevado número de hospedeiros e pelo fato das larvas como adultos danificarem os grãos, atacando o fruto na região do pedúnculo (GALLO et al., 2002).

Figura 9 - Adulto de *Sitophilus zeamais*

Fonte: ANTUNES, 2010

O besouro ou gorgulho adulto emerge, abrindo um buraco circular através das camadas externas do grão. São pequenos e marrons, praticamente indistinguíveis um do outro. Cada fêmea é capaz de colocar 300-400 ovos, e os adultos vivem por até cinco meses. O ciclo de vida do inseto é de cerca de cinco semanas a 30°C e 70% de umidade relativa, sendo a condição ótima para o desenvolvimento; 27-31°C e mais de 60% UR (umidade relativa do ar); e abaixo de 17°C o desenvolvimento do inseto-praga cessa (HILL, 1983).

Figura 10 – Ciclo evolutivo do gorgulho de milho *Sitophilus zeamais* Motschulsky, 1855.

Fonte: SANTOS, 1993

Assim que a infestação começa, o gorgulho continua a se reproduzir e destruir os grãos armazenados (Figura 10 e 11). As atividades de desenvolvimento do gorgulho frequentemente levam a uma intensa pulverização e contaminação dos grãos com seus excrementos. Os grãos infestados tornam-se perfurados e são muitas vezes tornados suscetíveis à formação de borbulhas e mofo, reduzindo assim o seu valor de mercado e os potenciais de germinação. O efeito destrutivo do gorgulho é mais pronunciado em milho seco sem casca desprotegido e milho em espiga, armazenado em silos entre outros (LONGE, 2014).

A correta identificação de pragas que atacam os diferentes tipos de grãos deve ser realizada taxonomicamente, pois a partir dessa identificação dependerão as medidas de controle a ser tomadas e a consequente

potencialidade de destruição de grãos. Desta forma, as pragas de grãos armazenados podem ser divididas em dois grupos de maior importância econômica, que são besouros e traças. No primeiro grupo, as espécies que causam maior prejuízo são *R. dominica*, *S. oryzae*, *Sitophilus zeamais* e *T. castaneum*, e, no segundo, *S. cerealella* é a traça de maior importância (LORINI, 2010).

Figura 11 – Grãos de milho pipoca infestados (A) e inseto praga *Sitophilus zeamais* (B)

Fonte: acervo da autora.

3.3 - Tratamento Quarentenário

Um tratamento quarentenário genérico é aquele que fornece segurança de quarentena para um amplo grupo de pragas. Assim, um tratamento genérico poderia ser aplicado a todos os Diptera (moscas), ou moscas da família Tephritidae (moscas da fruta), ou moscas da fruta Tephritid no gênero *Bactrocera*, por exemplo. Entretanto, antes que os tratamentos genéricos possam ser recomendados, é necessária antes uma maior informação sobre a dose de irradiação eficaz para uma ampla gama de insetos dentro de sua própria taxonomia (HALLMAN, 2010).

Sendo assim, em relação às doses de radiação ionizante aplicadas para insetos pragas de produtos armazenados da Ordem Coleoptera, a escala de dose utilizada para esterilizar a fase adulta ativa é na faixa de 50-400 Gy e, para a

família Tephritidae, é estabelecida uma dose de 150 Gy.

Contudo, segundo HALLMAN (2012), é importante que haja o desenvolvimento de estudos de tratamentos genéricos adicionais para que assim, possa-se reduzir a dose de tratamento genérico de 400 Gy para doses específicas referentes a cada tipo de família e espécie de insetos nos alimentos que eles se desenvolvem.

Portanto, as quarentenas visam fornecer proteção ao produto contra pragas e doenças que possam afetar animais, plantas e seres humanos. Atualmente, os tratamentos quarentenários são empregados a fim de eliminar todos os estágios do ciclo evolutivo de pragas que possam estar associadas a certo alimento. Nesse sentido, há hoje um número bastante extenso de leis, normas, padrões e regulamentos estaduais, regionais, nacionais e internacionais que regulam o movimento de plantas, frutas e seus derivados, da região onde foi produzida para outra região. Consequentemente, esse tipo de tratamento é adotado para produtos regulados como uma forma de mitigação de risco (MALASAVI; MARTINS, 2005).

Segundo HALLMAN (2001), o tratamento quarentenário visa atingir a infestação de uma praga quarentenária a um determinado nível de controle. Superando uma barreira de quarentena, além de eliminar ou reduzir o nível da população de uma praga, também esteriliza os insetos para evitar danos continuados à mercadoria.

Isso porque, sabe-se que produtos armazenados como grãos, farelos, farinhas, frutas secas, especiarias, comumente são infestadas por pragas como traças, besouros, ácaros entre outros, depreciando visualmente e promovendo a deterioração do produto (ALVES, 2007).

Além disso, os tratamentos quarentenários ou fitossanitários reduzem o risco do transporte de pragas de quarentena invasivas e a níveis insignificantes ou não, para outros países. Nesse sentido, o processamento por radiação ionizante em frutas e vegetais frescos para prevenir a infestação é bem sucedida e está crescendo em uso comercial em diversos países, porque fornece soluções seguras para quarentenas e é tolerado por mais produtos frescos do que qualquer

tratamento alternativo em uso, ao contrário de todos os outros tratamentos fitossanitários comerciais como calor, frio e fumigação (HALLMAN; LOAHARANU, 2016).

A propósito, a infestação de insetos é uma das principais causas de perda de alimentos pós-colheita. E, mesmo sendo prejudiciais à saúde humana, a utilização de pesticidas químicos ainda é um dos principais processos para controlar perdas de armazenamento causadas por inseto no mundo. Em contrapartida, já existem pesquisas que enfatizam a relevância da irradiação de alimentos em produtos agrícolas e confirmam que este método pode ser uma alternativa para o tratamento químico dos alimentos (IAEA, 1991).

Além disso, a irradiação tem várias vantagens importantes sobre outros tratamentos pós-colheita. Considerando que os tratamentos de calor, frio e fumigação envolvem a geração de dados para cada combinação de peste de frutas, os tratamentos de irradiação são desenvolvidos para uma espécie de praga. Isso é possível porque a maioria das commodities pode tolerar a irradiação em doses que matam a praga, enquanto o desenvolvimento de outros tratamentos envolve encontrar o equilíbrio entre matar a praga e minimizar os efeitos adversos do processo na qualidade da mercadoria (IAEA, 2002) .

HUNTER (1912) foi o pioneiro na utilização de radiação ionizante em entomologia, empregando raio-X no controle de *Sitophilus oryzae*, praga do arroz. Já Wiendl, em 1969, irradiou todas as fases do ciclo evolutivo de *Zabrotes subfasciatus*, com doses crescentes de radiação gama e concluiu que uma dose de 80 Gy foi suficiente para controlar todas as fases do ciclo evolutivo do inseto (ARTHUR, 2018).

ARTHUR et. al., (2012) ressaltaram a importância do tratamento quarentenário de pragas de importância agrícola pelas radiações ionizantes e, em seus estudos com inseto-pragas, concluíram que uma dose de 400 Gy é suficiente para controlar a população de insetos. Ainda, segundo ARTHUR e SILVA (2007), entre os tratamentos utilizados para desinfestação de grãos, a radiação gama vem se destacando pela sua eficiência.

3.4- Irradiação de Alimentos

A irradiação é um processo físico que vem sendo estudado há vários anos, tendo o seu emprego regulamentado pela *Food and Drug Administration* (FDA) desde 1963, para farinha de trigo, destinadas à alimentação humana e, posteriormente, nas décadas de 80 e 90, novas regulamentações surgiram com intuito de estender a utilização dessa tecnologia para outros alimentos.

No Brasil, existem duas legislações a respeito de alimentos irradiados: o Decreto nº 72.718, de 29 de agosto de 1973, o qual estabelece normas gerais sobre irradiação de alimentos e a Resolução RDC nº 21, de 26 de janeiro de 2001 que aprovou o Regulamento Técnico para Irradiação de Alimentos.

A resolução RDC nº 21 de 26 de janeiro de 2001, “Regulamento Técnico para Irradiação de Alimentos”, permite que “qualquer alimento pode ser irradiado desde que observados os limites mínimos e máximos da dosagem aplicada. A dose mínima deve ser suficiente para alcançar a finalidade pretendida; a máxima, inferior àquela que comprometeria as propriedades funcionais e/ou atributos sensoriais do alimento”.

Esta resolução também estabelece que, no rótulo dos alimentos irradiados, deve constar a frase “Alimento tratado por processo de irradiação”, em letras de tamanho não inferior a um terço do da letra de maior tamanho nos dizeres de rotulagem.

A *Food and Drug Administration* exige que os alimentos irradiados a granel, como frutas e legumes, devem ser rotulados individualmente com o símbolo internacional da irradiação, a radura (Figura 11), ou ter uma etiqueta ao lado do recipiente. Contudo, a FDA não exige que ingredientes individuais em alimentos com vários ingredientes (por exemplo, especiarias) sejam rotulados com este símbolo (FOOD AND DRUG ADMINISTRATION, 2016).

Figura 12 – Símbolo da Radura

Fonte: ULMAN, 1972

O processamento por radiação é uma das poucas tecnologias capazes de manter a qualidade dos alimentos e resolver os problemas de segurança, conservação e proteção, sem afetar significativamente suas características organolépticas ou nutricionais, quando usada adequadamente e com objetivos bem definidos. Além disso, a irradiação tem também a capacidade de retardar a maturação e inibir a germinação em bulbos e tubérculos, o tratamento não eleva a temperatura do alimento, não deixa resíduos nocivos e pode ser aplicado em alimentos embalados, o que limita as possibilidades de reinfestação ou recontaminação (IAEA, 2017).

A irradiação de alimentos consiste na exposição de dado material de origem vegetal e/ou animal à radiação ionizante, proveniente tanto de uma máquina de feixes de elétrons como de fontes radioativas. É uma das tecnologias de tratamento de alimentos aplicada a diversos tipos de produtos como especiarias, grãos, carnes, frutas e tubérculos que já são tratados por esse processo há bastante tempo em alguns países (SILVA & ROZA, 2010).

Por isso, para cada produto a ser irradiado, são estabelecidos procedimentos específicos, inclusive diferentes doses de radiação.

Ademais, através da aplicação da radiação ionizante nos alimentos, pode-se ter vários benefícios, como uma redução sobre as perdas induzidas por processos fisiológicos como brotamento de bulbo e tubérculos; proteção sobre os alimentos contra danos causados por bactérias e microorganismos deteriorantes,

ou inseto pragas durante o armazenamento. De tal forma que, como resultado, pode-se aumentar a vida de prateleira e garantir a segurança dos alimentos (MOLINS, 2001).

É importante lembrar que a irradiação não substitui as práticas adequadas de manipulação de alimentos por produtores, processadores e consumidores. Assim, os alimentos irradiados devem ser armazenados, manipulados e tratados da mesma forma que os alimentos não irradiados, porque eles ainda podem ser contaminados com organismos causadores de doenças após a irradiação (FOOD AND DRUG ADMINISTRATION, 2016).

Assim, em comparação aos métodos convencionais de conservação, a irradiação gama apresenta a vantagem de o alimento poder ser tratado já embalado e/ou congelado e ainda eliminar ou reduzir microrganismos, parasitas e pragas sem ação do calor e sem causar qualquer prejuízo ao alimento, tornando-o também mais seguro ao consumidor (GONÇALVES et al., 2006).

Além disso, o processo por irradiação visando tratamento quarentenário tem demonstrado ser capaz de garantir a segurança e conservação de diversos alimentos, principalmente por não gerar resíduos no alimento ou no meio ambiente, em comparação aos fumegantes químicos (DICKSON, 2001).

Contudo, apesar de, ao longo dos anos, a preocupação dos consumidores ter crescido contra o uso de pesticidas, eles ainda são mais comumente utilizados para o controle de insetos em alimentos armazenados devido a sua fácil disponibilidade e seu custo baixo e conveniente. De tal forma, que a sua facilidade de aplicação acaba por deixar a irradiação, apesar das inúmeras vantagens, sem espaço no meio industrial em alguns países (AHMED, 2001).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Coleta dos insetos da espécie *Sitophilus zeamais*

Os insetos utilizados nos experimentos desta pesquisa foram da espécie *Sitophilus zeamais* Morts de um criadouro mantido em diversas gerações no laboratório de Entomologia do Centro de Energia Nuclear na Agricultura - CENA / USP, Piracicaba – SP em condições de ambiente controlado de $25 \pm 2^\circ\text{C}$ de temperatura e $70 \pm 5\%$ de umidade relativa (Figura 13). E os estudos de criação e observação do comportamento dos insetos foram realizados no Laboratório de análise e detecção de alimentos irradiados (LADAI) no Centro de Tecnologia das Radiações (IPEN/CNEN-SP).

Figura 13 – Substrato

Fonte: acervo da autora

O substrato utilizado foi milho pipoca orgânico da espécie *Zea mays* Tipo 1 (cultivar RS129) obtido em mercados de produtos orgânicos certificados com selo USDA. Para este estudo, foi necessário usar milho orgânico para assim garantir que não houvesse interferência de agrotóxicos. Antes de iniciar o experimento, os substratos foram mantidos em baixas temperaturas (-15°C), por um período de aproximadamente 10 dias, a fim de se eliminar uma possível interferência de outros insetos, que por acaso estivessem no interior dos grãos.

Dessa forma, o experimento foi dividido nas seguintes etapas: ensaios com ovos, larva, pupa e adultos. O experimento consistiu de três repetições para cada estágio do ciclo de vida do inseto.

Para análise de esterilização dos insetos, cada repetição consistiu em 20 insetos e 60 gramas de milho pipoca por tratamento, e o delineamento estatístico foi inteiramente casualizado. Os frascos utilizados foram de vidro com capacidade de 100mL, com tampas de metal com tela para permitir a aeração e impedir a fuga dos insetos.

4. 2 Irradiação de amostras

As amostras foram irradiadas à temperatura ambiente em uma fonte Gammacell 220 de Cobalto-60, com uma taxa de dose de 1,4 kGy/h, instalada no Centro de Tecnologia de Radiação - CTR do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - IPEN / CNEN / SP, na cidade de São Paulo (Figura14). Houve o controle dosimétrico durante todas as irradiações e os dosímetros *Harwell Amber 3042* foram usados para atestar as doses de radiação utilizadas. Após a irradiação, os frascos contendo milho pipoca e insetos foram colocados em sala climatizada com temperatura de $25 \pm 2^{\circ}\text{C}$ e umidade relativa de $70 \pm 5\%$.

Figura 14 – Representação das análises que foram realizadas e suas respectivas doses.

Fonte: autora da dissertação.

4.3 Contagem de insetos (dose letal e esterilização de adultos): Ensaio ovos, larva e pupa

Primeiramente, 1 kg de milho pipoca foi colocado em um pote de vidro de 1000 mL e, em seguida, os insetos foram colocados sobre os grãos dentro do vidro e deixados por um período de 6 dias para que realizassem a oviposição (infestação). Em seguida, uma amostra de apenas 300 gramas dos grãos de milho pipoca foi removida, sem os insetos. Essas 300 gramas foram divididas em 5 tratamentos: 0 (controle) e doses de 0,025; 0,050; 0,075 e 0,100 kGy. Após a irradiação, foi esperado o surgimento de insetos adultos e, em seguida, feita a contagem dos insetos emergidos dentro de cada repetição após 40 dias (teste da dose letal para ovos, larvas e pupas) como apresentado na Figura 15.

Figura 15 - Metodologia utilizada para determinar as doses letais para os estágios de ovos, larvas e pupas de *Sitophilus zeamais*.

Fonte: acervo da autora.

A mesma metodologia foi realizada após 16 dias (dose letal para larvas) e 30 dias (teste de dose letal para pupas). Assim, doses letais foram obtidas para as fases de ovo, larva e pupa, ou seja, as doses para o tratamento de quarentena para essas fases.

4.4 Análise Físico-químicas

4.4.1 Umidade – Secagem Sob Pressão Atmosférica

Foram pesados 5 gramas da amostra de milho pipoca triturada com auxílio de um liquidificador. Em seguida, a amostra foi colocada em uma estufa ajustada para temperatura de 105°C e pesada em balança analítica da marca Marte/shimadzu (Aw220 - 200g X 0,0001g) até atingir peso constante (AOAC, 2005). Foi realizado cálculo para determinar a porcentagem de umidade conforme a formula matemática abaixo (1):

$$\% \text{ Umidade} = \left(\frac{\text{massa amostra úmida} - \text{massa amostra seca}}{\text{massa amostra úmida}} \right) \times 100 \quad (1)$$

4.5 Índice de Capacidade de Expansão (ICE)

O principal parâmetro para avaliação da qualidade dos grãos do milho pipoca, como já foi dito anteriormente, é o índice de capacidade de expansão (ICE), que tem relação direta com a maciez da pipoca e com o número de piruás (sementes de milho pipoca que não se expandem). Assim, o ICE dos grãos de milho pipoca é obtido pela relação entre o volume da flor de pipoca obtida em volume e a massa de grãos utilizados. Para uma melhor precisão na avaliação das amostras de grãos, foi utilizada uma balança semi analítica de precisão, sendo que o ICE mais utilizado atualmente é o de volume/massa, com unidade de mL/grama conforme fórmula matemática abaixo (2) (SAWAZAKI, 2010).

$$ICE = \frac{\text{Volume (após pipocamento)}}{\text{peso da amostra (antes do pipocamento)}} \quad (2)$$

É importante ressaltar que foram realizados testes para verificar a qualidade do aparelho micro-ondas e da pipoqueira para obtenção de ICE a partir de pequena quantidade de grãos (10 e 30 gramas de amostra) e qual o melhor tempo (3 ou 4 minutos) a ser utilizado. Sendo assim, o tempo de 3 minutos com 30 gramas de amostras mostrou-se suficiente para execução da análise, pois esse tempo é suficiente para expandir as amostras sem queimá-las. Em nenhuma amostra foi adicionado sal ou óleo.

Para a análise de Índice de Capacidade de Expansão, foram escolhidas duas formas de obtenção da pipoca, sendo elas; a pipoqueira elétrica e pipoqueira de silicone no micro-ondas.

4.5.1 – Pipoqueira elétrica

Foi realizado o experimento com dez tratamentos e cinco repetições por tratamento com nível de tempo de 3 minutos. Cada repetição tinha 30 gramas de milho pipoca que foram irradiados com doses (kGy) de: 0,025; 0,050; 0,075; 0,100; 1, 5, 10 e 15.

Na determinação do ICE foi utilizada uma pipoqueira de ar quente modelo Pop Time da marca Britânia com potência de 1200 watts, cuja capacidade máxima de grãos é 90 g (Figura 16). O sistema empregado foi o mesmo adotado por MATTA e VIANA (2001), o qual consiste em colocar os grãos no recipiente da pipoqueira quando a temperatura atingir 100°C para reduzir a variação existente entre as mensurações. Foram seguidas as instruções do fabricante que consiste em não adicionar óleo ou sal nos grãos.

Figura 16 – Modelo da Pipoqueira elétrica utilizada na análise de ICE.

Fonte: acervo da autora.

Após a expansão, a pipoca foi colocada em uma proveta de 2000 mL, com auxílio de um funil, para mensuração do volume de pipoca e anotado o valor para realização do cálculo de ICE como mostra a Figura 17. Determinou-se o peso após e antes da expansão do milho pipoca na pipoqueira elétrica em balança semianalítica (precisão $\pm 0,01$ g) e o número de grãos não expandidos (piruás).

Figura 17 – Mensuração do volume de pipocas expandidas.

Fonte: CORN-ORA HUNGARY

4.5.2 – Pipoqueira de silicone e forno Micro-ondas

Seguindo a nova tendência de fazer pipocas em micro-ondas em recipientes de silicone, como forma de praticidade, neste experimento foi utilizada

a pipoqueira de silicone livre de BPA da marca Lekué. O forno de micro-ondas utilizado foi da marca BRASTEMP modelo BMS26ABANA, capacidade de 20 litros e potência máxima de 12000 watts (Figura 18).

Figura 18 – Micro-ondas e pipoqueira de silicone utilizada na análise de ICE.

Fonte: acervo da autora.

Na determinação do ICE, a metodologia empregada foi a mesma aplicada por MATTA e VIANNA (2001). Foram pesados e colocados 30 gramas de milho pipoca para cada tratamento (controle e doses de 0,025; 0,050; 0,075; 0,100; 1, 5, 10 e 15 kGy) na pipoqueira de silicone sem adição de sal, manteiga ou óleo dentro do recipiente. Em seguida a tampa foi colocada sem pressão na pipoqueira (sem encaixar totalmente conforme instrução do fabricante) e por fim, colocado dentro do micro-ondas por 3 minutos.

Posteriormente, determinou-se o peso após e antes da expansão do milho pipoca em balança semi analítica (precisão $\pm 0,01$ g) e o número de grãos não expandidos (piruás) (Figura 17) e para mensuração do volume de pipoca, foi utilizada uma proveta de 2000 mL, com auxílio de um funil.

4.6. Análises de Cor

Foi utilizado o colorímetro Chroma Portátil da marca MINOLTA (Figura 19), modelo CR400, para a determinação da cor instrumental e placa de Calibração modelo CR-A43. As análises foram feitas no Laboratório de Análise e detecção de alimentos irradiados (LADAI) no Centro de Tecnologia das Radiações (IPEN/CNEN-SP).

Figura 19 - Chroma Portátil da marca MINOLTA (modelo CR400)

Fonte: acervo da autora.

Os resultados foram expressos em CIELAB (Figura 20), que é o sistema de cores mais utilizado para avaliação de cor em alimentos. O colorímetro usou as leituras de refletância. O software usado para processamento de dados foi o *Spectra Magic NX*. A análise de cores foi realizada de acordo com o espaço de cores 1976 da CIE (*Commission Internationale de l'Eclairage*) (L^* , a^* , b^*), no qual mede as três dimensões.

Figura 20 - Sistema CIELAB.

Fonte: Meter Global.

L^* , representa o eixo de luminosidade (brilho, claridade ou reflectância; 0 – escuro/opaco e 100 – branco), altos valores de L representam cores mais claras, e o oposto indica cores mais escuras.; a^* , que representa o eixo vermelho-verde (valores $+a^*$ direção para vermelho, $-a^*$ direção para verde); b^* , que representa o eixo amarelo-azul ($+b^*$ direção para amarelo e $-b^*$ direção para azul).

As leituras feitas no módulo L , a e b , permitem calcular o ângulo Hue, (ângulo da cor; 0° - vermelho; 90° amarelo; 180° verde; 270° azul e 360° negro) e o Chroma (Saturação ou intensidade da cor; 0 – cor impura e 60 – cor pura), através das fórmulas (3) e (4) respectivamente:

$$H^\circ = \arctg b^*/a^* \quad (3)$$

$$C = \sqrt{(a^2 + b^2)} \quad (4)$$

4.7 Análise Estatística

Os resultados obtidos das avaliações foram submetidos a análise de variância pelo Test F, e a comparação das medias pelo Teste de Tukey a 5%, utilizando-se o software SAS (*Statistical Analysis System*, instituto SAS, N. C., USA, versão 9.1).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Tratamento Quarentenário: Ensaios ovos, larva e pupa

Na Tabela 1, é apresentado o número médio de adultos emergidos nas gerações F₁ de ovo, larva e pupa da geração paterna de *Sitophilus zeamais* do controle e das amostras irradiadas com doses crescentes de radiação gama de Cobalto-60 de: 0,025; 0,050; 0,075 e 0,100 kGy.

Tabela 1. Médias do número de insetos adultos emergidos de ovos irradiados com radiação gama após 40 dias da irradiação.

	Dose (kGy)	Nº de adultos emergidos após 40 dias*
Ovos	0 (controle)	3±1,7 ^a
	0,025	0±0,0 ^b
	0,05	0±0,0 ^b
	0,075	0±0,0 ^b
	0,1	0±0,0 ^b
Larva	0 (controle)	6±1,7 ^a
	0,025	1±0,6 ^b
	0,05	0±0,0 ^c
	0,075	0±0,0 ^c
	0,1	0±0,0 ^c
Pupa	0 (controle)	8± 2,1 ^a
	0,025	6 ±2,0 ^a
	0,05	5 ±1,5 ^a
	0,075	0±0,0 ^b
	0,1	0±0,0 ^b

* Geração F₁

¹Média ± Desvio padrão

²Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5%.

A partir dos resultados desta tabela, pode-se observar que todos os tratamentos com radiação nos ensaios com ovos não apresentaram diferenças estatísticas significativas. Apenas houve emergência no tratamento controle. Assim, a dose de 0,025 kGy foi suficiente para causar a letalidade dos ovos.

Os efeitos da radiação gama nas larvas foram diretamente proporcionais ao aumento das doses de radiação. A dose de 0,025 kGy não foi suficiente para causar a letalidade das larvas, devido ao surgimento de um inseto na geração F₁, portanto a dose letal para as larvas foi de 0,050 kGy.

Em relação aos ensaios com pupa os tratamentos com radiação nas doses de 0,025 e 0,050 kGy não tiveram diferença estatística significativa em relação ao controle. Apenas os tratamentos com doses de 0,075 e 0,100 kGy apresentaram diferenças. Desta forma, os efeitos da radiação gama nas pupas foram diretamente proporcionais ao aumento das doses de radiação, assim como nas outras fases do ciclo evolutivo. Portanto, a dose de 0,075 kGy foi suficiente para causar a letalidade das pupas porque não houve surgimento de insetos da geração F₁.

Tabela 2. Médias do número de insetos adultos que emergiram na geração F-1 quando a geração paterna foi irradiada com doses de radiação gama após 40 dias da irradiação.

Dose (kGy)	Nº de adultos irradiados	Nº de adultos emergidos após 40 dias*
0 (controle)	20	57±14,5 ^a
0,025	20	40±7,2 ^a
0,050	20	0±0,0 ^b
0,075	20	0±0,0 ^b
0,100	20	0±0,0 ^b

*Geração F1

¹Média ± Desvio padrão

²Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5%.

De acordo com a *International Standards for Phytosanitary Measures* - ISPM nº 18 (2003), o uso da irradiação como medida fitossanitária é para prevenir a introdução ou disseminação de pragas regulamentadas através da obtenção de certas respostas na(s) praga(s) alvo, tais como: mortalidade; prevenção de desenvolvimento bem-sucedido (por exemplo, não emergência de adultos); incapacidade de se reproduzir (por exemplo, esterilidade); ou inativação.

Quando a resposta é a incapacidade da praga de se reproduzir, diversas razões podem ser determinadas como a esterilidade completa; fertilidade limitada de apenas um sexo; postura e / ou incubação de ovos sem desenvolvimento posterior; comportamento alterado; e esterilidade da geração F₁.

Portanto, todos os resultados encontrados nas análises de tratamento quarentenário neste trabalho estão de acordo com aqueles recomendados pela NIMF, pois, a dose de 0,075 Gy foi suficiente para causar a esterilização dos adultos irradiados porque não houve o surgimento de insetos na geração F₁ bem como, a interrupção das fases do ciclo evolutivo de ovo, larva e pupa do inseto-praga *Sitophilus zeamais* Mots.

Contudo, ressalta-se que o uso da radiação ionizante como forma de tratamento fitossanitário deve estar aliado com o uso de embalagens adequadas. Já que, segundo ALVES (2011), as embalagens devem impedir o tato e a proliferação de pragas no produto acondicionado. Assim, para proteger o produto e prolongar a sua vida-útil, a embalagem deve apresentar boa resistência mecânica à tração e à perfuração, boa selabilidade, boas propriedades de barreira contra insetos.

O presente estudo bem como outras na literatura só reforçam a eficácia da irradiação de alimentos como alternativa para desinfestação. ARTHUR, et. al., (1987) irradiaram *Sitophilus granarius* com doses de 40 até 100 Gy de radiação gama fracionadas em três vezes e não fracionadas. Concluíram que doses agudas de radiação causam maiores efeitos deletérios nos insetos. A dose esterilizante para os insetos foram de 60 e 90 Gy respectivamente quando irradiados com doses agudas e fracionados.

RAMOS (2009) também estudou os efeitos da radiação gama em rações para alimentação de animais domésticos infestados por pragas e, pelos resultados obtidos, concluiu que, para *Sitophilus zeamais*, as doses a partir de 0,5 kGy foram suficientes para causar letalidade dos ovos e larvas recém emergidas.

FOLLETT et al., (2013) irradiaram *Sitophilus oryzae* em arroz para fazer o tratamento quarentenário desse inseto, com doses de 30 a 120 Gy. Concluíram que a dose de 90 Gy foi suficiente para controlar as fases de ovos, larvas e pupas, e a dose de 120 Gy para o controle quarentenário desse inseto em arroz.

Neste trabalho, conforme esperado, os efeitos da radiação gama foram diretamente proporcionais ao aumento das doses de radiação. Contudo, as doses foram ainda mais baixas do que as citadas pelos autores acima, sendo a dose de 0,100 kGy suficiente para tratamento quarentenário. E ainda pode-se observar pelos resultados na Tabela 2, que uma dose muito menor que 0,400 kGy (dose genérica) já é capaz de esterilizar esses insetos-pragas.

5.2 Análise Físico-Química

A tabela 3 apresenta os resultados obtidos para umidade.

Tabela 3- Resultados de umidade em diferentes doses de radiação gama em grãos de milho pipoca.

Análise Físico-química	
Doses (kGy)	Umidade %
0	12,24±0,05 ^a
0,025	12,91±0,01 ^a
0,05	12,82±0,27 ^a
0,075	12,87±0,24 ^a
0,1	10,85±0,05 ^b
0	12,24±0,05 ^a
1	10,78±0,20 ^b
5	12,76±0,04 ^a
10	12,80±0,39 ^a
15	11,91±0,27 ^a

¹Média ± Desvio padrão

²Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5%.

A umidade dos grãos é um dos principais fatores que afeta a capacidade de expansão dos grãos de milho pipoca e também é um importante parâmetro de qualidade do produto. A umidade ideal para máxima expansão da pipoca varia com o cultivar e se os grãos forem reidratados (SAWASAKI, 2010).

De acordo com Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (2011), o percentual de umidade tecnicamente recomendado para fins de comercialização do milho pipoca é de 13,5%.

Apesar dos valores encontrados neste trabalho estarem abaixo deste valor, estudos feitos por Sawasaki (1986) revelam que a metodologia escolhida para análises de umidade pode interferir no valor encontrado. No presente estudo, pode-se observar ainda que houve diferença significativa entre os valores encontrados para as doses de 0,100 e 1kGy em relação as demais doses.

O autor ainda ressalta que, ao estudar diversas cultivares e suas capacidades de expansão, percebeu que, em um dos experimentos feito com a variedade SAM de milho pipoca, que o ICE máximo obtido foi na umidade de 10,5 a 11,5%, determinada pelo método da estufa, como realizado nesse trabalho, e ainda neste mesmo estudo, a variedade Pirapoca amarela, obteve um ICE máximo com umidade entre 11,6% a 14,1%, no determinado pelo medidor tipo Universal, enquanto no método de estufa encontrou resultados de 10,2% a 11,3%.

5.3 Análise de Cor

A Tabela 4 apresenta as médias dos valores obtidos pela análise colorimétrica nos parâmetros L^* , a^* e b^* , e os valores calculados de Croma e Hue-Angle (H°), para clara cozida.

Tabela 4 – Resultados dos parâmetros L^* , C^* e h das amostras irradiadas.

Análise de Cor					
Doses	Parâmetros				
	L^*	a^*	b^*	C^*	H
0	73,4±1,9 ^a	8,6±2,4 ^a	36,8±8,4 ^a	37,8±8,6 ^a	77,0±2,2 ^a
0,025	73,2±1,9 ^a	9,3±2,6 ^a	37,8±8,9 ^a	39,0±9,1 ^a	76,1±2,6 ^a
0,05	72,6±2,1 ^a	9,4±2,9 ^a	40,5±9,5 ^a	41,6±9,8 ^a	77,1±2,4 ^a
0,075	73,6±2,3 ^a	9,3±2,8 ^a	36,7±8,9 ^a	37,9±9,3 ^a	75,8±2,1 ^a
0,1	75,0±4,0 ^a	8,2±3,5 ^a	34,6±11,6 ^a	35,6±12,6 ^a	77,2±3,3 ^a
0	72,8±1,9 ^a	9,7±2,5 ^a	40,1±8,7 ^a	41,3±8,9 ^a	76,5±1,9 ^a
1	72,0±2,3 ^a	9,8±2,7 ^a	39,0±8,7 ^a	40,2±9,0 ^a	75,9±2,4 ^a
5	72,2±2,1 ^a	9,1±2,0 ^a	35,4±8,4 ^a	36,6±8,5 ^a	75,4±2,4 ^a
10	72,7±2,4 ^a	9,5±3,0 ^a	38,0±10,3 ^a	39,2±10,6 ^a	76,0±1,9 ^a
15	72,4±2,2 ^a	9,9±3,0 ^a	37,6±9,2 ^a	38,9±9,5 ^a	75,4±2,4 ^a

¹Média ± Desvio padrão

²Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5%.

Em um estudo com aplicação de pasteurização por radiofrequência em milho pipoca, os autores Zheng et. al (2016) encontraram valor médio de 74.1 ± 4.0 em relação à luminosidade no 17º dia de armazenamento. Não havendo diferença significativa entre o controle e as amostras submetidas à radiofrequência. Isso foi percebido também neste trabalho, conforme é demonstrado na Tabela 4. Ou seja, os valores encontrados não se diferenciaram significativamente entre si, independentemente da dose.

Figura 20 – Alteração dos parâmetros da análise de cor em relação à dose de irradiação.

Fonte: autora da dissertação.

A saturação das amostras apresentaram maiores índices nas doses de 1kGy. Os grãos apresentaram ângulos na faixa de 75 a 77 indicando que a amostra seguiu a mesma tonalidade amarela sem perder de forma significativa o brilho dos grãos entre as doses aplicadas.

5.4 Índice de Capacidade de Expansão (ICE)

Os resultados obtidos da análise de ICE da pipoqueira elétrica estão descritos na Tabela 5.

Tabela 5 – Pipoqueira : efeito da radiação gama em relação ao ICE de grãos de milho pipoca.

Doses (kGy)	Peso 1 *	Peso 2 **	Nº de Piruás	Peso Piruás	ICE (mL/g)
0	30,26	25,89	8±4,7	1,2	38,4±1,1 ^a
0,025	30,27	25,79	10±8,5	1,6	35,1±1,8 ^a
0,05	30,25	26,18	11±3,2	1,7	35,5±2,5 ^a
0,075	30,27	26,03	6±6,7	0,8	37,1±2,5 ^a
0,1	30,23	26,06	8±3,5	1,3	37,8±4,1 ^a
0	30,14	25,00	11±6,0	1,7	46,1±1,3 ^a
1	30,17	25,73	14±2,8	1,4	37,0±5,4 ^b
5	30,11	26,14	13±4,2	1,3	37,5±2,4 ^a
10	30,12	26,08	8±4,2	1,3	30,5±0,9 ^c
15	30,14	26,13	10±5,1	1,4	26,7±1,9 ^d

¹Média ± Desvio padrão

²Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5%.

* antes da expansão. ** após a expansão.

De acordo com a Instrução Normativa, nº 61 (2011), que estabelece o Regulamento Técnico do Milho Pipoca, o valor mínimo de Índice de Capacidade de Expansão para milho pipoca Tipo 1, 2, 3 é de 30 mL/g. Portanto, a única amostra que não se encaixa no padrão estabelecido é a de 15kGy na Pipoqueira elétrica.

Apesar de não existir ainda um equipamento padrão para determinação do ICE, diversos equipamentos e de diferentes marcas são utilizados no Brasil para fins de pesquisa e desenvolvimento. Entretanto, um estudo feito por Matta e Viana (2001) mostrou que as pipoqueiras de ar quente e o micro-ondas são eficientes na avaliação da ICE, podendo ser usados na avaliação de grãos de

milho pipoca. No estudo, eles realizaram testes com amostras que variaram de peso, de 10 a 90 gramas.

Na análise com a pipoqueira elétrica, não houve diferença significativa entre os resultados das doses baixas. Mas nos resultados obtidos para doses altas houve diferença entre a dose de 5 kGy com as demais. As doses que apresentaram maior ICE foram as de 0,075; 0,1, 1 e 5 kGy. Embora a dose de 0,075 tenha sido a que apresentou o menor número de piruás. MATTA e VIANNA (2001) tiveram resultados de 24,20, 24,53, 24,51 para ICE em tratamentos com 10g, 30 e 90 gramas de grãos de milho pipoca e média de 1,46 piruás.

SAWASAKI (2010) estudou o ICE dos cultivares com Pipoqueira de Ar quente e encontrou valores de 23,00 mL/g para BRS Angela; 30,00 mL/g para RS 20 e 34,00 mL/g para o cultivar Zelia.

Os resultados obtidos da análise de ICE do micro-ondas estão descritos na Tabela 6.

Tabela 6 – Micro-ondas: efeito da radiação gama em relação ao ICE de grãos de milho pipoca.

Doses (kGy)	Peso 1 *	Peso 2 **	Nº de Piruá	Peso Piruás	ICE (mL/g)
0	30,27	27,13	16±19,6	1,81	36,9±1,9 ^a
0,025	30,28	25,73	14±14,2	5,44	39,8±1,0 ^a
0,05	30,26	26,77	16±7,5	8,40	40,2±5,8 ^a
0,075	30,12	25,87	10±5,9	1,08	43,1±3,7 ^a
0,1	30,25	23,77	8±3,8	0,82	42,3±2,3 ^a
0	30,23	26,01	8±4,0	1,02	42,2±5,1 ^a
1	30,25	26,09	4±1,2	0,46	36,4±1,6 ^a
5	30,25	25,71	8±1,0	0,49	34,3±1,0 ^a
10	30,23	25,32	5±1,5	0,54	37,6±2,0 ^a
15	30,25	25,59	4±2,6	0,53	32,5±4,1 ^b

¹Média ± Desvio padrão

²Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5%.

* antes da expansão. ** após a expansão.

Não houve diferença significativa entre os resultados das doses baixas nas análises realizadas com o micro-ondas e a pipoqueira de silicone. Em contrapartida, a dose de 15kGy se diferenciou estaticamente das demais doses altas.

As doses que apresentaram melhor relação entre ICE e numero de piruás foram as doses altas de 1,5 e 10 kGy. MATTA e VIANNA (2001) tiveram resultados de 29,0; 26,0, 26,7 mL/g para ICE em tratamentos com 10, 30 e 90 gramas de grãos de milho pipoca e média de 1,33; 4,50; 14,0 piruás respectivamente.

Os gráficos 20 e 21 comparam os resultados obtidos da pipoqueira e micro-ondas.

Figura 20 – Gráfico comparativo dos resultados obtidos do ICE da pipoqueira elétrica e micro-ondas.

Fonte: autora da dissertação.

Figura 21 – Gráfico comparativo dos resultados obtidos do ICE da pipoqueira elétrica e micro-ondas em relação de doses baixas.

Fonte: autora da dissertação.

Com a dose de 1kGy já é possível identificar uma queda no ICE. Sendo que a dose de 15 kGy causou maior diminuição do Índice de Capacidade de Expansão tanto com uso da Pipoqueira elétrica quanto do microondas.

Os valores de ICE foram maiores em relação às doses baixas com o uso de micro-ondas. Sendo a dose de 0,075 kGy a que apresentou melhor resultado ($43,1 \pm 3,7$ mL/g). Analisando todas as tabelas e figuras é possível afirmar que o Micro-ondas é o melhor método para obter um maior ICE (mL/g).

6 CONCLUSÕES

Ao estudar os efeitos da radiação ionizante nos grãos de milho infestados foi observado que as fases de ovo, larva, pupa e adulto do inseto praga *Sitophilus zeamais* mostraram-se sensíveis à radiação gama. A partir dos resultados, concluiu-se que a dose de 0,1kGy deve ser aplicada para fins de Tratamento Quarentenário para que assim ocorra a inibição, eliminação e indução à esterilização de todo o ciclo evolutivo desse inseto em grãos de milho pipoca.

Em relação aos estudos do Índice de capacidade de expansão, foi possível observar que a radiação ionizante interferiu de forma positiva este importante parâmetro de qualidade, uma vez que os grãos de milho pipoca irradiados com doses altas e baixas apresentaram valores superiores de 30 mL/g de Índice de Capacidade de Expansão (ICE), estando de acordo com a legislação brasileira.

Entre os métodos estudados para obtenção da pipoca, a pipoqueira elétrica foi a que apresentou maior número de piruás (grãos de milho que não se expandem) para todas as doses em comparação ao micro-ondas. Ademais, o micro-ondas foi o que apresentou melhores resultados quanto ao ICE, sendo as doses de 0,075 e 0,100 kGy as que mostraram melhores ICE ($43,1 \pm 3,7$ mL/g; $42,3 \pm 2,3$ mL/g, respectivamente) com menor número de piruás.

Concluiu-se então que a dose de 0,100 kGy é eficiente tanto para fins de tratamento quarentenário quanto para melhoramento tecnológico dos grãos de milho pipoca.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AOAC. **Official Methods of Analysis of AOAC International**. 18th ed., 37.1.12 (método 920.151A); 37.1.18 (método 940.26); 39.1.02 (método 950.46B). 44.1.03 (método 925.45B). Maryland, USA. AOAC International, 2005.

ALVES, J. N. **Utilização da radiação gama do Cobalto-60 como tratamento quarentenário de plantas medicinais, aromáticas e condimentares desidratadas infestadas por *Lasioderma serricorne* (Fabricius, 1792) (Coleoptera, Anobiidae) e *Plodia interpunctella* (Hubner, 1813) (Lepidoptera, pyralidae)**. 2007. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Nuclear) - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, IPEN-CNEN/SP, São Paulo.

ALVES, J.N. **Avaliação dos efeitos da radiação por feixe de elétrons na resistência de embalagens a *Lasioderma serricorne*, *Plodia interpunctella* e *Sitophilus zeamais***. 2011. Tese (Doutorado em Tecnologia Nuclear - Aplicações) - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, IPEN-CNEN/SP, São Paulo.

ANTUNES, L. E. G. ; DIONELLO, R. G. **Bioecologia de *Sitophilus zeamais* Motschulsky 1885 (Coleoptera: Curculionidae)**. Infobibos: Informações Tecnológicas. 2010. Disponível em: <www.infobibos.com>.

ANTUNES, L. E. G. **Efeito da dose e tempo de exposição à terra de diatomácea e inseticidas em adultos de *Sitophilus zeamais* (Col., Curculionidae) e *Tribolium castaneum* (Col., Tenebrionidae) em grãos de milho armazenado**. 2011. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia Ênfase Entomologia). Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

ANUÁRIO BRASILEIRO DO MILHO. **Brazilian Corn Yearbook**. Santa Cruz do Sul. Editora Gazeta Santa Cruz, 2013.

ANUÁRIO BRASILEIRO DO MILHO. **Brazilian Corn Yearbook**. Santa Cruz do Sul. Editora Gazeta Santa Cruz, 2015.

ANUÁRIO BRASILEIRO DO MILHO. **Brazilian Corn Yearbook**. Santa Cruz do Sul. Editora Gazeta Santa Cruz, 2018.

AHMED, M. Food Irradiation: Principles and application. In: MOLINS, R. A. Editora: Wiley Inter-Science. **Disinfestation of stored grains pulses dried fruits and nuts**

ARTHUR, P. B. **Emprego da radiação gama do Cobalto-60 na desinfestação de alguns tipos de rações para alimentação de animais de pequeno porte**. 2012. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Nuclear) - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, IPEN-CNEN/SP, São Paulo. 68p.

ARTHUR, P. B. **Determinação das doses letais e esterilizantes para as fases do ciclo de vida do *Alphitobius diaperinus* (Panzer, 1797)(Coleoptera: Tenebrionidae)**. 2018. 77p. Tese (Doutorado em Tecnologia Nuclear) - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – IPEN/CNEN/SP. São Paulo. Disponível em: <http://www.teses.usp.br>. Acesso em: 17 novembro 2018

and the dried foods. Cap.4. 2001. p.125-135..

ARTHUR, V. ; WALDER, J. M. M. ; WIENDL, F. M. ; DOMARCO, R. E.; FRANCO, S. S. H. Efeito do fracionamento da dose de radiação gama do Cobalto-60 sobre a longevidade e reprodução do *Sitophilus granarius* (L., 1785)(Col., Curculionidae) em trigo. **Energia Nuclear e Agricultura**, v. 8, n.1/2, p. 67-78. 1987.

ARTHUR, V.; SILVA, L. C. A. S. Control of *Trogoderma granarium* through of gamma radiation of Cobalt-60. **International Nuclear Atlantic Conference – INAC - 2007** Santos, SP, Brazil, September 29 to October 5, 2007, 4p. Disponível em: < https://www.ipen.br/biblioteca/cd/inac/2007/pdf_dvd/E09_1317.pdf> Acesso em : 3 de setembro de 2018.

ARTHUR, V.; ARTHUR, P. B.; GAVA, M. A.; FRANCO, S. S. H.; MACHI, A. R. Tópicos em entomologia agrícola V. Jaboticabal. In: BUSOLI, A. C.; GRIGOLLI, J. F. J.; SOUZA, L. A.; KUBATA, M. M.; COSTA, E. N.; SANTOS, L. A. O.; NETTO, J. C.; VIANA, M. A. **Uso de técnicas nucleares em entomologia no Brasil**. Gráfica e Editora Multipress. p. 13-25, 2012.

BRASIL. Resolução RDC nº 21 de 26 de janeiro de 2001. Regulamento Técnico para Irradiação de Alimentos. Disponível em: Acesso em: 08 mai. 2006.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento da Safra Brasileira de grãos | v. 5 - Safra 2017/18, n.9 - Nono levantamento, junho 2018. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>>. Acesso em: 11 dez 2018.

CORN-ORA HUNGARY. Product presentation review : knowledge–experience–tradition. Disponível em: <http://www.en.cornorahungary.com/wp-content/uploads/2018/10/CORN-ORA-portfolio_EN_A5_5.old_.pdf>. Acesso em: 12 dezembro 2018.

CRUZ, J. C; MAGALHÃES, P. C; FILHO, I. A. P; MOREIRA, J. A. A. **Milho: o produtor pergunta, a Embrapa responde**. Brasília, DF. 338. (Coleção 500 perguntas, 500 respostas). Embrapa Informação Tecnológica, 2011.

DICKSON, J. S. **Food Irradiation: Principles and application**. In: MOLINS, R. Editora: Wiley Inter-Science. 2001. Cap 2, pag. 20 – 28.

EMBRAPA MILHO E SORGO. **Cultivo do milho**. Sistemas de Produção. Versão Eletrônica - 6^a edição. 2010.

FOLLET, P. A. GRIFFIN, R. L. Food irradiation research and technology In: SOMMERS, C.H; FAN, X.. ***Irradiation as a phytosanitary treatment for fresh horticultural commodities: Research and regulations***. Iowa: Blackwell,. 317p. 2006.

FOLLETT, P. A.; ESNOOK, K.; JANSON, A.; ANTONIO, B.; HARUKI, A.; OKAMURA, M.; BESEL, J. Irradiation quarantine treatment for control of *Sitophilus oryzae* (Coleoptera: Curculionidae) in rice. ***Journal Stored Products Research***, n. 52, p. 63-67, 2013.

FOOD AND DRUG ADMINISTRATION. ***Food Facts - Food Irradiation: What You Need to Know***. 2016 Disponível em: <<https://www.fda.gov/downloads/food/ingredientspackaginglabeling/ucm262295.pdf>> Acesso em 23 de novembro de 2018.

GALLO, D.; NAKANO, O.; NETO, S. S.; CARVALHO, R. P. L; BAPTISTA, G. C.; FILHO, E. B.; PARRA, J. R. P.; ZUCCHII, R. A.; ALVES, S. B.; VENDRAMIM, J. D.; MARCHINI, L. C.; LOPES, J. R. S.; OMOTO, C. ***Entomologia Agrícola***. Piracicaba: FEALQ. 2002.

GONÇALVES, M. P. J. C.; BOTREL, D. A.; SOARES, N. de F. F.; STRINGHETA, P. C. Irradiação gama como alternativa de conservação de polpa de acerola. ***Alim. Nutr., Araraquara*** v.17, n.2, p.159-163, abr./jun. 2006.

HALLMAN, G. J.. Food Irradiation: Principles and application. In: MOLINS, R. ***Irradiation as a Quarantine Treatment*** Edit: Wiley Inter-Science. 2001. Cap 5, pág. 116-125.

HALLMAN, G. J. ***Generic phytosanitary irradiation treatments***. Radiation Physics and Chemistry. v 81. 861-866. 2012. Disponível em : <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0969806X12001429>>. Acesso em: 2 de setembro 2018.

HALLMAN , G. J; LOAHARANU, P. ***Phytosanitary irradiation – Development and application***. Radiation Physics and Chemistry. v 129. 39-45. 2016. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0969806X16302559>>. Acesso em: 12 de outubro 2018.

HUNTER, W. D. Results of experiments to determine the effects of roentgen upon insects. *Journal Economic Entomology*, v. 5, p. 118, 1912.

HENRIQUES, M. J.; FISSUK, S.; OLIVEIRA, N. C.; FIORI, C. C. L; JUNIOR, O. A. G. Recomendações Técnicas de Manejos Culturais e Fitossanitários para a Cultura Do Milho-pipoca. **Anais do VI CONCCEPAR: Congresso Científico da Região Centro-Ocidental do Paraná** / Faculdade Integrado de Campo Mourão, 2015. 1 . Eletrônica ISSN 1983-7178.

HILL, D. S. **Agricultural insect pests of the tropics and their control**. 2 Edição. Cambridge University Press, Cambridge, p-491-492.1983.

IGAMI, M. P. Z. (Org) ; VIEIRA, M. M. F.(Org.) Guia **para a elaboração de teses e dissertações: programa de Pós-graduação Tecnologia Nuclear – IPEN/USP** . 3 ed. São Paulo: Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, 2017. Disponível em: <
[https://intranet.ipen.br/portal_por/conteudo/biblioteca/arquivos/NOVO_GUIA_TES ES_E DISSERTACOES.pdf](https://intranet.ipen.br/portal_por/conteudo/biblioteca/arquivos/NOVO_GUIA_TES_ES_E DISSERTACOES.pdf) > Acesso em: 25 de junho de 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. IBGE. **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola – LSPA. 2018**. 2018. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas-novoportal/economicas/agriculturaepecuaria/9201-levantamento-sistematicodaproducaoagricola.html?edicao=21697&t=pUBLICACOES>> Acesso em: 10 dez 2018.

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, **Use of Irradiation to Ensure Hygienic Quality of Fresh, Pre-cut Fruits and Vegetables and Other Minimally Processed Food of Plant Origin**, IAEA-TECDOC-1530, IAEA, Vienna. 2006.

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. **Insect disinfection of food and agricultural products by irradiation**.. Joint FAO/IAEA., Vienna, 1991. 1991.

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. Irradiation as a phytosanitary treatment of food and agricultural commodities. **Proceedings of a final..** VIENNA. TECDOC-1427. 2004.

INTERNATIONAL STANDARDS FOR PHYTOSANITARY MEASURES - ISPM 18. **Guidelines for the use of irradiation as a phytosanitary measure**. FAO. Rome. 2003. Disponível em: < <http://www.fao.org /3/a-y4835e.pdf>> Acesso em: 21 de julho 2018.

LONGE, O. O. **Ecology, life cycle and Ways of Subjugating The Maize Weevil Sitophilus zeamais in storage**. International Journal of Agriculture and Environmental Research. Volume 2. p 298-313 ISSN: 2455-6939, 2016.

LORINI, I.. **Manual técnico para o manejo integrado de pragas de grãos de cereais armazenados**. Passo Fundo. Embrapa Trigo, 80p, 2001.

LORINI, I. **Manejo integrado de pragas de grãos de cereais armazenados**. Passo Fundo: Embrapa Trigo. 72 p, 2008.

MALAVASI, A.; MARTINS, D. dos S. Origem e aplicações futuras do conceito de systems approach. **Papaya Brasil**. 2005.

MATOS, E. da S. F. **Cultivo do milho verde**. Dossiê técnico. CDT/UNB. 2007. Disponível em: < <https://www.agrolink.com.br/downloads/Cultivo%20do%20Milho%20Verde.pdf> >. Acesso em: 03 dez 2018.

MATTA, F.P.; VIANA, J.M.S. Testes de capacidade de expansão em programas de melhoramento de milho pipoca. **Science Agrícola**, v.58,n.4, p.845-851, 2001.

MOLINS, R. Food Irradiation: Principles and application. In: MOLINS, R **Irradiation as a Quarantine Treatment**.. Ed.: Wiley Inter-Science. 2001. Cap 5, pág. 116-125.

MOY, J. H. **Tropical Fruit Irradiation-From Research to Commercial Application. International Symposium on New Frontier of Irradiated food and Non-Food Products**. Thailand. 2005. Disponível em: https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/40/051/40051969.pdf?r=1&r=1. Acesso em: 09 de jan 2018.

NARDI, C. **Sinopse dos himenópteros parasitóides associados a pragas de grãos armazenados no Brasil**. Monografia (Agronomia). Universidade Federal de Santa Catarina. 2003.

PAES, D. C. M. Aspectos físicos, químicos e tecnológicos do grão de milho. **Embrapa Milho e Sorgo – Circular Técnica**. Sete Lagoas, n. 75, 2006.

PAES, M. C. D. Milho: a evolução do seu consumo na dieta humana através dos povos e do tempo. 2011. Disponível em: < <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/btstream/doc/897705/1/Milhoevoluc%20ao.pdf> > Acesso em: 05 jun 2018.

PEREIRA FILHO, I. A.; PACHECO, C. A. P.; CRUZ, J. C. A cultura do milho-pipoca. Brasília. **Embrapa Informação Tecnológica**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo. 79 p Coleção Plantar, 67. 2010.

POTENZA, M. R. **Avaliação de produtos naturais irradiados para o controle de Sitophilus zeamais Mots (Coleoptera: Curculionidae) e Blatella germanica (L.) (Dictyoptera: Blattellidae)**. 2007. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Nuclear) - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, IPEN-CNEN/SP, São Paulo.

QUIRINO, J. R. **Resfriamento artificial de grãos de milho em armazém graneleiro horizontal** 2008. 97p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Goiás, Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos Goiânia.

RAMOS, A. C. O. **Aplicação da radiação na desinfestação de rações a base de grãos para alimentação de animais domésticos**. 2009. 68p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Nuclear) - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, IPEN-CNEN/SP, São Paulo.

REGITANO-D'ARCE, M. A. B.; SPOTO, M. H. F.; CASTELLUCCI, A. C. L. Processamento e industrialização do milho para alimentação humana. **Visão agrícola** nº13. Jul/dez 2015. Disponível em: < http://www.esalq.usp.br/visaoagricola/sites/default/files/VA_13_Industrializacao-artigo2.pdf.>

RUFFATO, S.; CORRÊA, P. C.; MANTOVANI, B.H. M; MARTINS, J. H.; SILVA, J. N. da. Qualidade do milho-pipoca em função das condições de colheita, secagem e período de armazenamento(I). **XXVII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola**. 1998.

SANTOS, J. P. Cultura do milho: fatores que afetam a produtividade. In: BULL, L. T.; CANTARELLA, H. **Recomendacoes para o controle de pragas de grãos e de pragas de grãos e de sementes armazenadas**. Piracicaba. 301p.1993.

SAWAZAKI, E. Melhoramento do milho-pipoca. **Campinas: Instituto Agrônomo**. 1995. 21p. (Documento IAC, 53)

SAWAZAKI, E. Milho-pipoca. **XXVIII Congresso Nacional De Milho E Sorgo. IV Simpósio Brasileiro sobre a Lagarta do Cartucho**. Goiânia, GO - 29 de agosto a 02 de setembro de 2010.

SILVA, E. C. ; GALVÃO, J. C. C. ; MIRANDA, G. V. ; PICANÇO, M. C. ; SAWAZAKI, E. Densidade populacional de *Dalbulus maidis* e do predador *Doru luteipes* em milho pipoca. In: **XXIII Congresso Nacional de Milho e Sorgo, 2000 - Uberlândia**. A inovação tecnológica e a competitividade no contexto dos mercados globalizados. 2000.

SILVA, A. L. F. da; ROZA, C. R. da. Uso Da Irradiação Em Alimentos: Revisão. **B.CEPPA**, Curitiba, v. 28, n. 1, p. 49-56, Jan. /jun. 2010. Disponível em:<<http://revistas.ufpr.br/alimentos/article/download/17897/11712>>

ULMAN, R.M. Introducing irradiated foods to the producer and consumer. In: **Peaceful uses of atomic energy**. Vienna (Austria), IAEA, v. 12 p. 299-308.1972.

ZIEGLER, K, E. Popcorn. In: HALLAUER, A R. **Specialty Corns**. Second Edition. CRC Press. p496. 2001. Disponível em: <<http://pustakapertanianub.staff.ub.ac.id/files/2012/12/Specialty-Corns.pdf>>. Acesso em: 14 de dezembro 2018.

INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES
Diretoria de Pesquisa, Desenvolvimento e Ensino
Av. Prof. Lineu Prestes, 2242 – Cidade Universitária CEP: 05508-000
Fone/Fax(0XX11) 3133-8908
SÃO PAULO – São Paulo – Brasil
<http://www.ipen.br>

**O IPEN é uma Autarquia vinculada à Secretaria de Desenvolvimento, associada
à Universidade de São Paulo e gerida técnica e administrativamente pela
Comissão Nacional de Energia Nuclear, órgão do
Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação.**