



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUÍ  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
COORDENADORIA GERAL DE PÓS-GRADUAÇÃO  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
NÚCLEO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA/PRODUÇÃO VEGETAL**

**KELLY MAYARA SILVA DA PAZ SANTOS**

**EFEITO DA RADIAÇÃO MICRO-ONDAS NAS DIFERENTES FASES  
DO CICLO BIOLÓGICO DE *Zabrotes subfasciatus* (Boh.,1833)  
(COLEOPTERA: CHRYSOMELIDAE: BRUCHINAE) EM FAVA  
(*Phaseolus lunatus*, L.)**

**TERESINA, PI - BRASIL**

**2012**

**EFEITO DA RADIAÇÃO MICRO-ONDAS NAS DIFERENTES FASES DO  
CICLO BIOLÓGICO DE *Zabrotes subfasciatus* (Boh., 1833)  
(COLEOPTERA: CHRYSOMELIDAE: BRUCHINAE) EM FAVA  
(*Phaseolus lunatus*, L.)**

**KELLY MAYARA SILVA DA PAZ SANTOS**

Bacharel em Ciências Biológicas

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Piauí, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Agronomia, Área de Concentração: Produção Vegetal.

**ORIENTADORA: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> LÚCIA DA SILVA FONTES**

**TERESINA, PI - BRASIL**

**2012**

## FICHA CATALOGRÁFICA

Universidade Federal do Piauí

Biblioteca Comunitária Jornalista Carlos Castello Branco

Serviço de Processamento Técnico

S237e Santos, Kelly Mayara Silva da Paz.

Efeito da radiação micro-ondas nas diferentes fases do ciclo biológico de *Zabrotes subfasciatus* (Boh., 1833) (Coleoptera: Chrysomelidae: Bruchinae) em fava (*Phaseolus lunatus*, L.) / Kelly Mayara Silva da Paz Santos. – 2012.

78 f.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Piauí, Programa de Pós-Graduação em Agronomia do Centro de Ciências Agrárias, 2012.

EFEITO DA RADIAÇÃO MICRO-ONDAS NAS DIFERENTES FASES  
DO CICLO BIOLÓGICO DE *Zabrotes subfasciatus* (Boh.1833)  
(COLEOPTERA: CHRYSOMELIDAE: BRUCHINAE) EM FAVA  
(*Phaseolus lunatus*, L)

KELLY MAYARA SILVA DA PAZ SANTOS  
BACHAREL EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

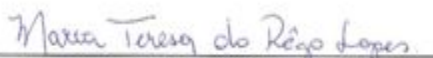
Aprovada em 11/05/2012

**Comissão Julgadora:**



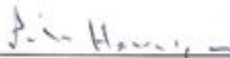
---

Dra. Lúcia da Silva Fontes – Presidente  
CCN/UFPI



---

Dra. Maria Teresa do Rêgo Lopes – Titular  
CPAMN



---

Dr. Paulo Henrique Soares da Silva – Titular  
CPAMN

*"Ninguém é tão grande que não possa aprender, nem tão pequeno que não possa ensinar."*

*(Píndaro, poeta romano).*

Aos meus pais, Gilson Kleber e Benedita Maria.

A minha bisavó Julia Dias (*in memoriam*).

Ao meu amado marido Antonio Hamilton.

**DEDICO**

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, pelo dom da vida, por me fortalecer e não me deixar cair em frente aos obstáculos.

A meu pai Gilson Kleber da Paz Santos por seu amor e incentivo.

A minha mãe Benedita Maria Lima Silva, fonte da minha inspiração, por ser meu porto seguro, por seu apoio, sua dedicação e amor incondicional.

Ao meu querido marido Antonio Hamilton Gomes de Melo, que passou comigo inúmeras horas no laboratório me auxiliando na montagem do experimento, pela elaboração dos Abstracts desta dissertação e por fazer da minha vida um mar de felicidade.

A orientadora Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Lúcia da Silva Fontes, por sua amizade, dedicação, compreensão e incentivo.

Ao Padre Patrício Timoney por incentivar meus estudos e que durante muitos anos financiou minha formação educacional.

A minha amiga Leanny Keyla Lustosa de Almeida por me presentear com sua amizade sincera e por sempre acreditar na minha determinação para alcançar meus objetivos.

Ao Prof. Dr. José Algaci Lopes da Silva, pela atenção e auxílio nos testes estatísticos desta dissertação.

Ao Prof. Dr. Aécio Bezerra por suas sugestões sobre a discussão dos resultados e desenvolvimento das regressões.

A minha turma de mestrado por nossos momentos de estudo e descontração, em especial a Maiany Gonçalves de Carvalho.

Ao Douglas Rafael e Silva Barbosa por suas dicas valiosas que serviram para melhorar a metodologia durante o experimento.

Ao secretário da Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Vicente de Sousa Paulo, por sua atenção, prontidão e favores realizados.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudo.

A todos que de forma direta ou indireta colaboraram para a realização deste trabalho.

**EFEITO DA RADIAÇÃO MICRO-ONDAS NAS DIFERENTES FASES  
DO CICLO BIOLÓGICO DE *Zabrotes subfasciatus* (Boh., 1833)  
(COLEOPTERA: CHRYSOMELIDAE: BRUCHINAE) EM FAVA  
(*Phaseolus lunatus*, L.)**

Autor(a): Kelly Mayara Silva da Paz Santos

Orientadora: Dr<sup>a</sup>. Lúcia da Silva Fontes

## **RESUMO**

O Brasil tem se apresentado nos dias atuais como um dos principais celeiros mundiais, no que se refere à produção de grãos. O feijão-fava, *Phaseolus lunatus* L., é a segunda leguminosa de maior importância do gênero e uma das quatro espécies mais explorada comercialmente no mundo. É principalmente cultivado na região Nordeste e apresenta uma adaptação mais ampla que o feijão comum. No entanto, a economia agrícola tem apresentado grandes prejuízos, quanto ao ataque de pragas que depreciam quantitativa e qualitativamente os grãos. O caruncho *Zabrotes subfasciatus* causa danos expressivos durante o processo de armazenamento. Em vista disso, o presente trabalho objetivou avaliar os efeitos da radiação micro-ondas nas fases do ciclo biológico de *Z. subfasciatus* (Boh., 1833) nos acessos de fava UFPI-769 (Boca de moça) e UFPI-770 (Branca) provenientes do Banco de Germoplasma da Universidade Federal do Piauí e determinar entre os acessos testados a resistência ao inseto. Foi utilizado um forno comercial para a irradiação, com frequência de 2.450 MHz, rendimento de potência de 1115 W, sendo utilizado em baixa potência (10 %). Os tempos de exposição à radiação micro-ondas foram: 0 (controle), 60, 90, 120 e 150 segundos para todas as fases do ciclo biológico. De um modo geral os acessos de fava UFPI-769 e UFPI-770 não influenciaram a biologia do inseto, com exceção a emergência de insetos irradiados na fase de larva, afetada pelos dois acessos e na fase adulta, observando-se que a geração filial apresentou um período ovo-adulto (dias) mais longo no acesso UFPI-769. O estágio de larva foi o mais sensível no tempo de exposição à radiação micro-ondas correspondente a 150 s. Quanto maior foi o tempo de exposição à radiação micro-ondas menor foi a emergência de insetos, em todas as fases do ciclo de vida. A exposição à radiação micro-ondas por 60 s causou uma alteração positiva sobre o inseto na fase adulta, proporcionando a maior média de adultos emergidos da geração filial. O tempo de exposição 150 s à radiação micro-ondas, em um forno de 2450 MHz, na potência 111,5 W foi o mais eficiente para o controle de *Zabrotes subfasciatus* em todas as fases de vida do inseto.

**Palavras-chave:** caruncho, grãos armazenados, desinfestação, método alternativo.



**EFFECT OF MICROWAVE RADIATION IN THE DIFFERENT PHASES OF THE BIOLOGICAL CYCLE OF *Zabrotes subfasciatus* (Boh., 1833) (Coleoptera: CHRYSOMELIDAE: Bruchinae) IN LIMA BEAN (*Phaseolus lunatus* L.)**

Author: Kelly Mayara Silva da Paz Santos

Mentor: Lúcia da Silva Fontes

**ABSTRACT**

Brazil has presented today as a leading global barn, regarding to grain production. The lima bean, *Phaseolus lunatus* L., is the second most important legume of the genus and one out of four species most commercially exploited in the world. It is mainly grown in the Northeast and has a broader adaptation than the common bean. However, the agricultural economy has seen large losses, as the attack of insects, depreciating qualitatively and quantitatively the grain. The weevil *Zabrotes subfasciatus* does significant damage during storage. Thus, this study aimed to evaluate the effects of microwave radiation in the phases of the biological cycle of *Z. subfasciatus* (Boh., 1833) in the bean sample UFPI-769 (Girl's mouth) and UFPI-770 (White) from the Germplasm Bank of the Federal University of Piauí and determine among the samples tested which offers resistance to insects. We used a commercial microwave oven for irradiation with frequency 2450 MHz, power output of 1115 W being used in low power (10 %). The time of exposure to microwave radiation were 0 (control), 60, 90, 120 and 150 seconds for all stages of the life cycle. In general the bean samples UFPI-769 and UFPI-770 did not influence the biology of the insect, except for the emergence of irradiated insects at the larval stage, affected by both samples, and at stag adulthood, it was noted that the filial generation showed an egg-adult period (days) longer in sample UFPI-769. The larval stage was the most sensitive to time of exposure to microwave radiation corresponding to 150 s. The longest duration of exposure to microwave radiation was the lower emergency of insects in all stages of life. Exposure to microwave radiation for 60 s caused a positive change on the insect in adulthood, with the highest average number of adults emerged from their brood. The time of exposure to microwave radiation 150 s, in a microwave oven of 2450 MHz, at the power of 111.5 W was more effective in controlling *Zabrotes subfasciatus* at all stages of life of the insect.

**Key words:** weevil, stored grain, disinfestation, alternative method.

## LISTA DE FIGURAS

### CAPÍTULO I

- FIGURA 1 Médias da emergência de *Zabrotes subfasciatus* em função do tempo de exposição à radiação micro-ondas na fase de ovo em *Phaseolus lunatus*.....42
- FIGURA 2 Médias do percentual de emergência de adultos de *Zabrotes subfasciatus* expostos a micro-ondas durante a fase de ovo em *Phaseolus lunatus*.....43
- FIGURA 3 Médias do período ovo-adulto de *Zabrotes subfasciatus* sobreviventes expostos a micro-ondas durante a fase de ovo em *Phaseolus lunatus*.....45

### CAPÍTULO II

- FIGURA 1 Médias da emergência de insetos da espécie *Zabrotes subfasciatus* expostos à radiação micro-ondas na fase de larva em *Phaseolus lunatus*.....52
- FIGURA 2 Médias do período ovo-adulto (dias) de *Zabrotes subfasciatus* expostos à radiação micro-ondas durante sua fase de larva em *Phaseolus lunatus*.....55

### CAPÍTULO III

- FIGURA 1 Médias da emergência de *Zabrotes subfasciatus* expostos a micro-ondas durante seu estágio de pupa em *Phaseolus lunatus*.....63
- FIGURA 2 Médias do período ovo-adulto (em dias) de *Zabrotes subfasciatus* expostos à radiação micro-ondas durante a fase de pupa em *Phaseolus lunatus*.....64

### CAPÍTULO IV

- FIGURA 1 Médias do número de adultos de *Zabrotes subfasciatus* mortos após serem expostos à radiação micro-ondas, no período de 24 horas, em *Phaseolus lunatus*.....71
- FIGURA 2 Médias da emergência de *Zabrotes subfasciatus* (geração filial), provenientes de adultos expostos a micro-ondas em *Phaseolus lunatus*.....73

## LISTA DE TABELAS

### CAPÍTULO I

TABELA 1 Análise de variância correspondente à emergência de <i>Zabrotes subfasciatus</i> após exposição à radiação micro-ondas durante sua fase de ovo em <i>Phaseolus lunatus</i> .....	41
TABELA 2 Análise de variância correspondente ao percentual de emergência de <i>Zabrotes subfasciatus</i> após exposição à radiação micro-ondas durante sua fase de ovo em <i>Phaseolus lunatus</i> .....	43
TABELA 3 Análise de variância do período ovo-adulto de <i>Zabrotes subfasciatus</i> expostos a micro-ondas durante a fase de ovo em <i>Phaseolus lunatus</i> .....	45

### CAPÍTULO II

TABELA 1 Análise de variância do número de <i>Zabrotes subfasciatus</i> emergidos após exposição a micro-ondas na fase de larva em <i>Phaseolus lunatus</i> .....	51
TABELA 2 Análise de variância do período ovo-adulto (dias) de <i>Zabrotes subfasciatus</i> expostos à radiação micro-ondas durante sua fase de larva em <i>Phaseolus lunatus</i> .....	54

### CAPÍTULO III

TABELA 1 Análise de variância da emergência de <i>Zabrotes subfasciatus</i> expostos à radiação micro-ondas durante o estágio de pupa em <i>Phaseolus lunatus</i> .....	62
TABELA 2 Análise de variância do período ovo-adulto (dias) de <i>Zabrotes subfasciatus</i> expostos à radiação micro-ondas durante a fase de pupa em <i>Phaseolus lunatus</i> .....	64

### CAPÍTULO IV

TABELA 1 Análise de variância correspondente à mortalidade dos adultos de <i>Zabrotes subfasciatus</i> 24 horas após exposição a micro-ondas em <i>Phaseolus lunatus</i> .....	70
TABELA 2 Análise de variância referente à emergência de <i>Zabrotes subfasciatus</i> , provenientes de adultos expostos a micro-ondas em <i>Phaseolus lunatus</i> .....	72

TABELA 3 Análise de variância referente ao período ovo-adulto (dias) da geração filial proveniente de adultos de <i>Zabrotes subfasciatus</i> expostos a micro-ondas em <i>Phaseolus lunatus</i> .....	74
TABELA 4 Análise de variância correspondente à longevidade dos adultos de <i>Zabrotes subfasciatus</i> expostos à radiação micro-ondas em <i>Phaseolus lunatus</i> .....	75

## SUMÁRIO

<b>RESUMO GERAL</b> .....	vi
<b>ABSTRACT</b> .....	vii
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	viii
<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	ix
<b>1 INTRODUÇÃO GERAL</b> .....	13
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	16
<b>2.1 A cultura da fava</b> .....	16
2.1.1 Caracterização botânica e morfologia .....	16
2.1.2 Origem e distribuição geográfica.....	18
2.1.3 Importância socioeconômica.....	19
<b>2.2 Caruncho <i>Zabrotes subfasciatus</i> (Boh., 1833)</b> .....	21
2.2.1 Origem, morfologia e biologia.....	21
2.2.2 Impacto econômico.....	22
<b>2.3 Armazenamento de grãos e controle de pragas por irradiação</b> .....	23
2.3.1 Uso da radiação micro-ondas no controle de insetos.....	26
<b>3 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	30
<b>4 CAPÍTULO I: Radiação micro-ondas em ovos de <i>Zabrotes subfasciatus</i> visando seu controle em <i>Phaseolus lunatus</i></b> .....	38
<b>4.1 Resumo</b> .....	38
<b>4.2 Abstract</b> .....	38
<b>4.3 Introdução</b> .....	39
<b>4.4 Material e Métodos</b> .....	40
<b>4.5 Resultados e Discussão</b> .....	41
<b>4.6 Conclusões</b> .....	45
<b>4.7 Referências</b> .....	46

<b>5 CAPÍTULO II: Radiação micro-ondas em larvas de <i>Zabrotes subfasciatus</i> visando seu controle em <i>Phaseolus lunatus</i>.....</b>	<b>48</b>
5.1 Resumo.....	48
5.2 Abstract.....	48
5.3 Introdução.....	49
5.4 Material e Métodos.....	50
5.5 Resultados e Discussão.....	51
5.6 Conclusões.....	55
5.7 Referências.....	55
<b>6 CAPÍTULO III: Radiação micro-ondas em pupas de <i>Zabrotes subfasciatus</i> visando seu controle em <i>Phaseolus lunatus</i>.....</b>	<b>59</b>
6.1 Resumo.....	59
6.2 Abstract.....	59
6.3 Introdução.....	60
6.4 Material e Métodos.....	61
6.5 Resultados e Discussão.....	62
6.6 Conclusões.....	64
6.7 Referências.....	65
<b>7 CAPÍTULO IV: Radiação micro-ondas em adultos de <i>Zabrotes subfasciatus</i> visando seu controle e da sua geração filial em <i>Phaseolus lunatus</i>.....</b>	<b>67</b>
7.1 Resumo.....	67
7.2 Abstract.....	67
7.3 Introdução.....	68
7.4 Material e Métodos.....	69
7.5 Resultados e Discussão.....	70
7.6 Conclusões.....	75
7.7 Referências.....	76
<b>8 CONCLUSÕES GERAIS.....</b>	<b>78</b>

## 1 INTRODUÇÃO GERAL

O Brasil tem se apresentado nos dias atuais como um dos principais celeiros mundiais, no que se refere à produção de grãos. Para a melhoria da qualidade dos produtos é importante à garantia na produção desde a pré-colheita até a fase de armazenamento e transporte. No entanto, a economia agrícola tem apresentado grandes prejuízos devido ao ataque de pragas, que depreciam quantitativa e qualitativamente os grãos.

De acordo com Santos et al. (2009), o feijão-fava, *Phaseolus lunatus* L., é a segunda leguminosa de maior importância do gênero *Phaseolus*, sendo uma fonte alternativa de renda para população, produzido principalmente por pequenos produtores. Conforme Fonseca e Castro (1983) a fava constitui, em alguns locais, a única fonte protéica para as famílias de baixa renda, quando o cultivo do feijão é impossível. A fava também pode ser recomendada para adubação verde, produzindo efeitos positivos mais imediatos nas condições físicas, químicas e biológicas do solo (PEGADO et al., 2008).

Certas variedades apresentam hábito de crescimento indeterminado, trepador, e vagens compridas, de forma oblonga e recurvada, com duas a quatro sementes por vagem. As variedades Branquinha e Boca de moça apresentam-se promissoras, em relação aos cultivos de sequeiro com irrigação suplementar (SANTOS et al., 2002).

No Brasil, a fava é plantada especialmente nos Estados da região Nordeste (com exceção da Bahia), em Minas Gerais e Rio Grande do Sul. Tem relativa importância econômica e social, por causa da sua rusticidade, tendo sua colheita prolongada e realizada no período seco. Seu cultivo na região Nordeste é consorciado com milho, mandioca ou mamona, tomando as plantas dessas culturas como suporte (AZEVEDO; FRANCO; ARAÚJO, 2003).

A fava tem relativa importância econômica no Piauí, sendo bastante utilizada na culinária regional. Seu consumo está relacionado à fácil condução de sua cultura, poucos gastos para sua produção, algumas variedades apresentam bom paladar e ótima digestão. Segundo CEPRO (2010), a cultura da fava no estado apresenta-se como suplemento alimentar das classes de baixa renda, especialmente pelo seu teor nutritivo podendo ser aproveitada na alimentação diária de sua população.

Segundo Corrêa et al. (2008) a espécie *Zabrotes subfasciatus* (Boh., 1833) tem sido extensivamente estudada devido à sua importância como um inseto prejudicial para os grãos de leguminosas durante o armazenamento.

O ataque deste caruncho começa no campo, antes da colheita e intensifica-se no produto armazenado. Como consequência, há a redução do peso e valor nutritivo dos grãos, o odor característico exalado pelos adultos e a presença de ovos ou larvas restringe o consumo do produto, desvalorizando-o comercialmente.

Embora na literatura se encontre muitas citações referentes ao ataque do *Z. subfasciatus* ao *Phaseolus vulgaris*, o mesmo é praga primária de *Phaseolus lunatus*. Além do ataque, também pode ser observada a presença de ovos, larvas e adultos em meio à massa de grãos.

O controle químico tem sido eficaz no controle dos carunchos, porém, sua utilização é dificultada pelo custo dos produtos e por problemas de toxicidade decorrentes da utilização dos inseticidas (BARBOSA et al., 2002). Métodos de controle menos agressivos começam a ganhar atenção dos pesquisadores (PARANHOS et al., 2005).

Vários tipos de radiação, como a ionizante em particular (por exemplo, raios-X e raios- $\gamma$ ), têm sido utilizados como uma alternativa para fumigantes e outros métodos de controle as pragas de armazenamento (HASAN; KHAN, 1998).

Por outro lado, a irradiação de alimentos pode causar algumas alterações nos mesmos, como: a mudança de sabor em decorrência dos radicais livres; mudança de cor; por ação das radiações, tanto as proteínas, como o amido e a celulose podem ser quebrados ocasionando o amolecimento de carnes; as vitaminas C e K podem sofrer ação dos radicais livres produzidos; pode haver perda de nutriente e também pode provocar a oxidação das gorduras do alimento, que dá um sabor de ranço aos produtos gordurosos (COUTO; SANTIAGO, 2010).

Conforme Mantilla et al. (2010) o tipo de irradiação de interesse na conservação de alimentos é a eletromagnética. O espectro eletromagnético de interesse na conservação de alimentos pode ser dividido da seguinte forma: micro-ondas, radiação ultravioleta, raios X e radiação gama.

A desinfestação com micro-ondas parece ter um grande potencial como um método alternativo para matar insetos em grãos armazenados. Uso de aquecimento por micro-ondas e secagem já conquistou um lugar nas indústrias de alimentação e agricultura (VADIVAMBAL et al., 2010). Também mostra um potencial considerável para a prevenção de mofo nos alimentos. Além disso, este método de processamento não causa poluição ambiental ou introduz reagentes químicos exóticos (ZHAO et al., 2007).

O fato do inseto *Z. subfasciatus* ser adaptado a regiões de clima tropical e subtropical torna-se um problema visível para a produção brasileira de fava, principalmente quando os



grãos estão armazenados, pois a espécie rapidamente se reproduz. Então, o controle por radiação micro-ondas é de grande e importante aplicabilidade, sobretudo para pequenos agricultores, que buscam métodos eficientes e econômicos para o controle desta praga.

Tendo em vista, a presença de ovos, larvas, pupas ou insetos adultos no interior dos grãos provocado pelo tempo e armazenamento inadequado da fava (*P. lunatus*), objetivou-se com a presente pesquisa avaliar os efeitos da radiação micro-ondas sobre as diferentes fases do ciclo biológico do *Zabrotes subfasciatus* nos acessos de fava UFPI-769 e UFPI-770 e também avaliar influência do uso dos acessos sobre o inseto, determinando qual o mais resistente ao ataque.

Esta dissertação foi estruturada em quatro capítulos na forma de artigos científicos, segundo normas para submissão da revista Semina: Ciências Agrárias. Com exceção dos capítulos, para as formas de apresentação gráfica adotaram-se as recomendações da NBR 14724 (ABNT, 2005). Para apresentação dos elementos que compõem as referências, aplicou-se a NBR 6023 (ABNT, 2002).

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 A cultura da fava

#### 2.1.1 Caracterização botânica e morfologia

Segundo Agarez, Rizzini e Pereira (1994) a família Leguminosae Juss. é uma das maiores e das mais importantes. Nela encontramos plantas de interesse em quase todos os campos de aplicação. Na subfamília Caesalpinoideae encontram-se centenas de espécies importantes com utilidades médicas, comestíveis, fornecedoras de madeira, óleo, corantes, fibras, forragem etc. As espécies do gênero *Phaseolus* pertencem a esta subfamília. Conforme Baudoin (2001) os gêneros *Phaseolus* e *Vigna* pertencem à subtribo Phaseolinae, a tribo Phaseoleae, a família Fabaceae e a ordem de Leguminosales (ou Fabales). A tribo Phaseoleae é economicamente importante, pois contém os gêneros *Phaseolus*, *Vigna*, e *Glycine*. Outras análises colocam *Phaseolus* e *Vigna* na subtribo Phaseolinae, e *Glycine* como um membro da subtribo Glycininae (McCLEAN; KAMI; GEPTS, 2004).

O gênero *Phaseolus* (Fabaceae), dentre as leguminosas cultivadas no mundo, se destaca por sua importância econômica (SANTOS et al., 2009). É composto por cerca de 50 espécies, todas distribuídas nas Américas. As mais utilizadas são: *Phaseolus vulgaris* (feijão), *Phaseolus lunatus* (feijão-fava), variedade *Phaseolus acutifolius*, *Phaseolus coccineus* subsp. *coccineus*, e *P. coccineus* subsp. *polyanthus* (GEPTS, 1990).

O feijão-fava (*Phaseolus lunatus* L.) também é conhecido por feijão-de-lima, fava-de-lima ou simplesmente fava (OLIVEIRA et al., 2004). É uma planta anual da família das leguminosas, trepadeira e cultivada por apresentar grãos comestíveis. Suas vagens são achatadas, curvas, coriáceas, pontiagudas, de coloração bege quando secas, contendo de 2 a 4 sementes. Há uma grande variação dentro da espécie em relação à cor do tegumento e tamanho dos grãos (AZEVEDO; FRANCO; ARAÚJO, 2003).

O feijão lima é uma leguminosa tolerante ao calor e a seca. A maioria das variedades crioulas em Porto Rico são plantas de crescimento indeterminado. Por crescer bem em linhas de cercas ou em paredes, sua colheita é muito adequada para a agricultura urbana. Cultivares

de feijão lima são plantadas no Caribe há pelo menos 500 anos e tem características únicas de importância econômica (RUIZ et al., 2010).

A fava é a segunda leguminosa de maior importância do gênero, e devido ao conteúdo proteico e paladar característico, é mundialmente utilizada em pratos, nas mais diferentes culinárias, recebendo várias denominações, em função da região cultivada ou forma de utilização na alimentação. Considerando-se apenas o gênero *Phaseolus*, o Brasil é o maior produtor mundial, seguido pelo México, sendo que *P. lunatus*, *P. coccineus* e *P. acutifolius* contribuem com cerca de 5 % da produção mundial deste gênero (SANTOS, 2008).

De acordo com Yuyama (1982), em 1920, dos Estados Unidos para o Egito, foram levadas cerca de 800 linhagens, que dada à facilidade de adaptação a diferentes solos e climas, resistência à ferrugem, aos insetos e à seca, começou a desenvolver-se no novo ambiente, sendo especialmente indicado para a cultura seca ou “dry farming”.

As variedades de fava orelha de velho, rajada vermelha, roxinha e bege são exalbuminosas, originárias de óvulo campilótropo, apresentando, como características externas comuns, o bordo inteiro, liso, tegumento de consistência fina, permeável, brilho intermediário e todas as principais cicatrizes perfeitamente visualizáveis. A rafe e o estrofiolo encontram-se do lado oposto a micrópila, que se apresenta de forma puntiforme, posicionada mediana e ventralmente a semente. Quanto ao embrião, este se apresenta do tipo axial, pequeno, crasso, papilionáceo, de coloração creme, para todas as variedades descritas; cotilédones dispostos longitudinalmente paralelos, cobrindo completamente o eixo hipocótilo-radícula pouco distinto e localizado no lado ventral da semente, com a radícula em contato com a micrópila, além da plúmula manifesta, simples e perfeitamente definida (SANTOS et al., 2010).

De acordo com Santos (2008) considerando os padrões de forma, perfil e tamanho das sementes e cor do tegumento, verifica-se que o feijão-fava apresenta bastante variação, constituindo-se numa excelente opção de incremento estético de grãos, entre as leguminosas usadas para alimentação. Na classificação das sementes das sub-amostras testadas pelo autor, prevaleceu a forma esférica (18 sub-amostras), perfil achatado (19 sub-amostras) e tamanho normal (10 subamostras).

Conforme Baudoin et al. (2004) o *Phaseolus lunatus* também é um modelo de planta útil devido à sua biologia reprodutiva. O feijão lima é autocompatível com espécies perenes, anuais ou de curta duração com um sistema reprodutivo misto, ou seja, autopolinização, mas com algum grau de cruzamento.

### 2.1.2 Origem e Distribuição geográfica

A América Central, onde cerca de 40-50 espécies de *Phaseolus* ocorrem naturalmente, é considerada o centro de origem do gênero. Estas são numerosas ao longo dos sistemas montanhosos da Serra Madre Ocidental e Eixo vulcânico transversal do México, que foram formados durante o Oligoceno-Mioceno e Plioceno tardio ou terciário, respectivamente (BAUDOIN et al., 2004).

O feijão lima é uma cultura pré-colombiana, o que fartamente está comprovado pelo fato de serem encontradas sementes nos túmulos dos antigos Incas, em Ancón (YUYAMA, 1982). Conforme Castillo, Marín e Villarreal (2008) é um cultivo comum entre muitos grupos indígenas nas Américas. Seu principal pool gênico tem forma selvagem (*P. lunatus* var. *silvester* Baudet) e domesticada (*P. lunatus* var. *lunatus*).

De acordo com Silva (2006) a primeira domesticação ocorreu no noroeste da América do Sul e produziu uma grande variedade desta espécie. Evidências para esta domesticação vieram de um sítio arqueológico Peruano (Caverna Guitarrero), onde foram encontrados grãos de fava que dataram de 6500 AC, 1000 anos antes que grãos de feijão (*Phaseolus vulgaris*) fossem encontrados no mesmo local e ainda antes do milho (*Zea mays*).

Segundo Fofana et al. (1997) a origem, evolução e distribuição do feijão lima têm sido estudada por diversos autores. Formas intermediárias são comumente observadas entre os grupos, assinalando a existência de dois grupos separados definidos como o “pool gênico” Mesoamericano e o Andino. Do oeste dos Estados Unidos até a Argentina estende-se o pool gênico mesoamericano e é caracterizado por sementes pequenas. O pool gênico andino caracteriza-se por sementes grandes, é composto por plantas das regiões costeiras do Pacífico do Equador (províncias de Imbabura, Canar, Azuay), Bolívia, incluindo Peru e a parte sul da Colômbia (Cauca, Huila, províncias de Nariño). O feijão lima também é amplamente cultivado nas regiões tropicais do México (ANCONA et al., 2009).

Para McClean, Kami e Gepts (2004) baseado em faseolina, variação de proteína das sementes de armazenamento, marcador de diversidade, e morfologia, o pool gênico Mesoamericano se estende desde o México através da América Central, Colômbia e Venezuela, enquanto o conjunto de genes andinos é encontrado no sul do Peru, Chile, Bolívia e Argentina e os dois conjuntos de genes domesticados parecem convergir na Colômbia. Um terceiro, eventualmente um conjunto de genes ancestral com base no sul do Equador e norte do Peru foi descrita.

Conforme Straliozzo e Teixeira (2000) há um consenso entre os estudiosos de que o feijoeiro é originário das Américas. Dentre as 40 espécies americanas de *Phaseolus* descritas, apenas *P. vulgaris*, *P. coccineus*, *P. polyanthus*, *P. acutifolius* e *P. lunatus* foram domesticadas pelos povos pré-colombianos. Segundo Gutiérrez Salgado, Gepts e Debouck (1995), esta ampla distribuição da fava rivaliza com a de feijão (*P. vulgaris*). Investigações filogenéticas recentes apoiam fortemente um *Phaseolus* monofilético. Nesta descrição moderna, *Phaseolus* é estritamente de origem do Novo Mundo, concentrada nas regiões tropical, quente e temperada da América (BAUDOIN et al., 2004).

Segundo Maquet e Baudoin (1997); Baudoin (2001); Baudoin et al. (2004) a forma silvestre de *P. lunatus* é encontrada apenas nas Américas, enquanto o cultivo domesticado, por sua fácil adaptação, é amplamente distribuído fora do continente americano como na África, Madagascar, Sudeste da Ásia, Itália, Canadá, República Democrática do Congo e em muitas ilhas do Pacífico, tornando estas áreas centros de diversidade secundária importantes de *Phaseolus*.

Ambas as populações selvagens de sementes pequenas e grandes estão presentes na América do Sul, mas não nos mesmos habitats. Populações de sementes pequenas estão distribuídas ao longo da encosta leste da cordilheira dos Andes, no centro-norte da Colômbia, centro-sul do Peru e norte da Argentina. A forma selvagem de *P. lunatus* de grandes sementes estende-se da região andina de Cajamarca, Peru, para Imbabura, Equador, e possivelmente para Colômbia (TORO CHICA; LAREO; DEBOUCK, 1993).

### 2.1.3 Importância socioeconômica

Broughton et al. (2003) afirmam que as leguminosas em geral podem contribuir com muitos componentes de uma dieta sadia. São muito superiores aos cereais como fontes de micronutrientes, primeiro porque possuem um maior teor inicial de minerais, e segundo porque muitos cereais são polidos antes de comer (para a produção de arroz branco ou farinha de trigo para o pão branco, etc.), como uma proporção significativa dos minerais é encontrada na casca da semente (ou farelo), eles são descartados durante o processamento. A maioria dos legumes, inclusive a fava, é totalmente consumida.

As sementes de fava são uma fonte de proteína subexplorada (a condição comum entre as proteínas vegetais) e podem ser utilizadas como ingrediente em sistemas industriais de

alimentação (ANCONA et al., 2009). A fava é cultivada em quase todo o território nacional, atingindo relativa importância econômica apenas em alguns Estados. Sua baixa produtividade pode ser atribuída ao fato de parte da produção ser oriunda de pequenos produtores, em consórcios, sem adoção de tecnologia que vise o aumento da produtividade.

Conforme Guimarães et al. (2007) acredita-se que a pouca relevância do cultivo do feijão-fava, no Brasil, também pode ser relacionada à maior tradição de consumo do feijão-comum (*Phaseolus vulgaris* L.), o paladar do feijão-fava e o seu tempo de cocção mais longo.

No Brasil, os que dela se alimentam têm hábitos de consumo variados; alguns preferem consumi-la quando está seca ou madura (FONSECA; CASTRO, 1983), entretanto, o consumo é preferencialmente na forma de grãos verdes cozidos (SANTOS et al., 2002). Conforme Bitencourt e Silva (2010), nos Estados Unidos, os grãos de fava são comercializados ainda verdes na forma de conserva, conseguindo-se assim agregar valor ao produto.

Comentários feitos por donas de casa, demonstram que as favas roxas e brancas são as preferidas, por apresentarem características de bom paladar, fácil digestão e não provocarem gases estomacais, ao contrário das de coloração vermelha e preta, que possuem gosto amargo e são de difícil digestão. O cultivo de fava, em locais onde o plantio do feijão é impraticável, pode ser uma alternativa para os pequenos agricultores, pois é uma cultura fácil de conduzir, fica próxima à área de consumo e constitui uma fonte protéica de alto valor nutritivo (FONSECA; CASTRO, 1983).

Segundo CEPRO (2010), o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), divulgou através de boletim oficial, números conclusivos, ratificando queda da produção agrícola de grãos no Piauí, relativo ao ano de 2010. Apesar do crescimento nas finanças do Estado, no segmento da Agricultura teve uma queda de 12,77 %, um total de 1.371.667 toneladas de grãos, enquanto que em 2009 houve um total de 1.572.509 toneladas. A área plantada de grãos no Piauí no ano de 2010 também foi inferior a 2009. Mesmo assim a Fundação CEPRO lembra que ao se confrontar esse mesmo número obtido com o que se estimava colher em 2010, em função dos levantamentos preliminares realizados pelo IBGE, no início do plantio das culturas, a queda da produção seria ainda maior que o previsto, pois estava previsto colher um pouco mais de dois milhões de toneladas de grãos.

A cultura da fava, não obstante a inexpressividade do seu quantitativo produzido em relação ao total da colheita de grãos do Estado é importante como suplemento alimentar da população, especialmente pelo seu teor nutritivo e tradição no seu consumo. Assim, o total produzido e colhido no ano de 2011 ultrapassou o total no ano de 2010, o que representa em

relação à produção passou a ser de 114,3 %, ou seja, elevou-se a oferta desse produto em 628 toneladas a serem comercializadas junto aos mercados consumidores da região (CEPRO, 2011).

As análises físico-químicas permitem concluir que o grão de fava rajada possui um bom valor nutricional e um alto potencial de aproveitamento tecnológico. Os teores de minerais encontrados indicam que a Fava Rajada (*P. lunatus* L.), possui uma boa fonte de minerais, apresenta também boa disponibilidade de ferro, boa quantidade de proteína, podendo ser aproveitada na alimentação diária da população nordestina, substituindo o consumo do feijão comum (*P. vulgaris* L.) (JUNQUEIRA; OLIVEIRA; MASCARENHAS, 2010).

De acordo com Ancona et al. (2009), as mudanças notáveis na proteína isolada de *P. lunatus* com hidrólise enzimática indicam que estes processos são promissores para a melhoria de fontes de proteínas em vegetais subutilizados, sob condições específicas, com o objetivo de aumentar suas propriedades nutritivas e funcionais.

## **2.2 Caruncho *Zabrotes subfasciatus* (Boh., 1833)**

### 2.2.1 Origem, morfologia e biologia

A espécie é provavelmente originária da América Central e se tornou praga agrícola, quando se estabeleceu e passou a se reproduzir continuamente em grãos armazenados (SOUZA et al., 2008). O *Zabrotes subfasciatus* é um caruncho cosmopolita, ocorrendo em todos os países que cultivam o feijoeiro. A espécie ocorre nas regiões mais quentes dos trópicos (QUINTELA, 2002), distribui-se nas Américas Central e do Sul, África, na região Mediterrânea e na Índia (BARBOSA et al., 2002).

É uma praga primária interna, possui mandíbulas desenvolvidas, com as quais rompe as películas protetoras e penetra nos grãos; alimenta-se somente de seu conteúdo interno. Os besouros desta espécie apresentam dimorfismo sexual bem nítido; fêmeas maiores, escuras, com quatro manchas brancas bem evidentes nos élitros e machos cor de mel com apenas uma mancha bem nítida no escutelo; o adulto possui coxa posterior duas vezes mais larga que o fêmur; tíbia posterior com dois esporões no ápice; as fêmeas colocam ovos aderentes aos

grãos e os adultos vivem por pouco tempo, aproximadamente 14 dias, acasalam e ovipositam logo após a emergência (GALLO et al., 2002; QUINTELA, 2002; PEREIRA; SALVADORI, 2006).

Souza et al. (2008) realizaram um experimento para estimar a diversidade genética de populações de *Z. subfasciatus*, por meio de marcadores moleculares ISSR. Concluíram que a variabilidade genética entre as populações brasileiras do inseto é baixa. A variação genética intrapopulacional (66 %) é maior do que a variação genética interpopulacional (34 %). As populações avaliadas não se apresentam geograficamente estruturadas no Brasil.

Quintela (2002); Sari, Ribeiro-Costa e Pereira (2003) em pesquisas distintas visaram estudar alguns aspectos biológicos de uma população brasileira de *Z. subfasciatus*. Constataram que o período de pré-oviposição foi de  $1,2 \pm 0,71$  dias e o de pós oviposição de  $1,2 \pm 1,10$  dias. As larvas recém emergidas penetram nas sementes, onde passam por quatro ínstaes, quando se transformam em pupas. O período de maior oviposição compreende o 3° e 4° dias após a emergência e acasalamento dos adultos, sendo a frequência de oviposição entre 5 e 15 ovos por fêmea. A larva do último ínstar e a câmara pupal ficam visíveis externamente, na forma de um orifício circular coberto por um fina camada do tegumento da semente. O adulto emerge pelo orifício e normalmente não se alimenta, mas pode consumir água ou néctar.

### 2.2.2 Impacto econômico

Os carunchos causam danos aos grãos devido às galerias feitas pelas larvas, destruindo os cotilédones, reduzindo o peso da semente e favorecendo a entrada de microorganismos e ácaros. Além do aquecimento que provocam na massa dos grãos, afetam a germinação da semente pela destruição do embrião e depreciam a qualidade comercial do produto devido à presença de insetos, ovos e excrementos (QUINTELA, 2002).

Besouros bruquídeos do gênero *Zabrotes* (Coleoptera: Bruchidae) são importantes pragas de sementes de leguminosas em todo o mundo. Amostras de *Zabrotes subfasciatus* e *Z. sylvestris* são comuns em sementes de espécies de *Phaseolus* em todo o México (AEBI et al., 2004).

É uma praga que completa seu ciclo evolutivo no interior do grão, sendo a mais prejudicial, pois, além de seus danos, abre caminho para o ataque de outros insetos (GALLO



et al., 2002). Este inseto alimenta-se de sementes de Fabaceae (leguminosa), causando danos expressivos para grãos armazenados (CORRÊA et al., 2008).

O principal hospedeiro de *Z. subfasciatus* é o *Phaseolus vulgaris*, contudo, na ausência do hospedeiro habitual, esta preferência pode evoluir através das gerações até que uma série incomum torna-se aceita para a oviposição (TEIXEIRA; BARCHUK; ZUCOLOTO, 2008).

Os insetos adultos de *Z. subfasciatus* reproduzem-se no campo durante a formação das sementes e, em grãos, durante o período de armazenagem (SOUZA et al., 2008). Com a perfuração causada pelos insetos, os grãos adquirem sabor desagradável e redução do grau de higiene do produto (BARBOSA et al., 2002; SILVA et al., 1996). As vagens são broqueadas e as larvas alimentam-se no endosperma das sementes (PEREIRA; SALVADORI, 2006).

Estudos de campo em um sistema de cultivo tradicional de feijão em Costa Rica demonstraram que uma média de 9 % das vagens de *Phaseolus lunatus* colhidas foram atacadas pelo *Zabrotes subfasciatus*. Os níveis de ataque foram menores que os observados em *Phaseolus vulgaris* também presentes no agroecossistema. O ataque das larvas do inseto a sementes de *P. lunatus* foi relatado nas regiões tropicais da América do Sul e Central, Ásia e África (PIMBERT, 1985).

As sementes de *Phaseolus lunatus* apresentam-se como hospedeiras silvestres da infestação de *Z. subfasciatus*. A 27 °C, a fecundidade máxima das fêmeas corresponde a aproximadamente 55 ovos e até 20 adultos poderão emergir de uma única semente (DENDY; CREDLAND, 1991). A distribuição dos ovos postos entre as sementes, dentro das vagens de *P. lunatus*, é uniforme (PIMBERT; JARRY, 1988).

Controle de insetos em grãos armazenados é convencionalmente conseguido através da utilização de fumigação e inseticidas residuais. No entanto, estes métodos não são sempre eficientes e aceitos pela população. Os resíduos de ingredientes ativos pode afetar a segurança do trabalhador e representa risco de contaminação da instalação de armazenagem e meio ambiente (LAZZARI; RIBEIRO-COSTA, 2006).

### **2.3 Armazenamento de grãos e controle de pragas por irradiação**

A massa de grãos, além de proporcionar alimento abundante para várias espécies de insetos, também os protege da influência de temperaturas letais (POTENZA et al., 2004). Os grãos de leguminosas são frequentemente atacados por diversas pragas, os danos podem ser

na sua forma inteira ou quando os grãos são transformados em farelos ou farinhas, desvalorizando o produto (WIENDL; ARTHUR, 1994).

A deterioração da massa de grãos armazenados devido à presença de pragas também facilita a contaminação fúngica e de micotoxinas, promovendo efeitos negativos na saúde humana se ingeridos. Estes danos dificultam a exportação de produtos e subprodutos brasileiros por causa do potencial de risco (CREDE, 2005).

Grande parte do alimento disponível mundialmente para o consumo é produzida em países de clima quente, e sob deficientes condições higiênicas. As condições em que se encontram na colheita, e o seu posterior processamento, determinam não só a sua capacidade de conservação, mas também a carga microbiana que possuem. Nesse cenário, a irradiação de alimentos pode ser a melhor solução, se procura a conservação e a descontaminação microbiana dos alimentos (COUTO; SANTIAGO, 2010).

Segundo Fontes e Arthur (1994) torna-se necessário por em prática meios de controle de pragas de grãos armazenados, a fim de se evitar os prejuízos. Um dos métodos mais utilizados é a aplicação de produtos químicos, que apresenta vários inconvenientes, entre eles a possibilidade de causar intoxicação ao consumidor por deixar resíduos nos alimentos tratados. Por ser um método livre de resíduos para o controle de pragas, o tratamento com radiação é um substituto viável à fumigação para satisfazer os regulamentos quarentenários de vários países. Conforme Wiendl e Arthur (1994) neste caso, nada se introduz a não ser energia radiante que se dissipa imediatamente após aplicação, sem causar efeitos secundários.

Outro problema ocasionado pelo uso da fumigação com agroquímicos em produtos embalados para o controle de adultos e larvas é uma possível presença de ovos para dar início à próxima geração do inseto praga. Assim, o uso das radiações ionizantes torna-se um método alternativo na desinfestação de cereais e seus derivados como farinhas e farelos, nos quais se encontram ovos de traças, principalmente quando estes produtos são empacotados (AGUILAR; ARTHUR, 1994).

O mérito da irradiação está em sua capacidade de destruir microorganismos patogênicos e deteriorantes presentes nos alimentos. É empregada, ainda, para eliminar insetos e retardar o processo germinativo em produtos vegetais. A irradiação é um processo físico que vem sendo estudado há vários anos, tendo o seu emprego regulamentado pelo *Food and Drug Administration* (FDA) desde 1963, para farinha de trigo e trigo destinados à alimentação humana, e posteriormente, nas décadas de 80 e 90, novas regulamentações surgiram com intuito de estender a utilização desta tecnologia para outros alimentos (ORNELLAS et al., 2006).

A radiação gama, por exemplo, promove modificações nos extratos vegetais, levando à ativação, inativação, aumento ou redução da eficiência para o controle de pragas (POTENZA et al., 2004). Segundo Ornellas et al. (2006) as primeiras pesquisas com irradiação de alimentos, no Brasil, foram feitas da década de 50, pelo Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA), em Piracicaba (SP). A legislação brasileira segue as recomendações internacionais sugeridas pela *Food and Agriculture Organization* (FAO), *International Atomic Energy Agency* (IAEA) e *Codex Alimentarium*, da ONU.

A irradiação, uma das tecnologias de tratamento de alimentos que vem crescendo em todo mundo, ainda é pouco difundida no Brasil. Alimentos como especiarias, grãos, carnes, frutas e tubérculos já são tratados por esse processo há bastante tempo. Segundo estudos realizados existem alimentos que não sofrem alterações significativas, outros são afetados de forma negativa e há ainda os beneficiados pelo processo. A variação dessas alterações está relacionada ao tipo de alimento, à dose e tempo de irradiação recebida e sua associação com outros métodos de conservação como, por exemplo, a refrigeração (SILVA; ROZA, 2010).

O tipo de radiação se limita às radiações procedentes dos raios gama de alta energia, raios X e os elétrons acelerados. Estas radiações também se denominam “radiações ionizantes”, porque sua energia é alta o bastante para desalojar os elétrons dos átomos e moléculas, e para convertê-los em partículas carregadas eletricamente, que se denominam íons. Os raios gama são semelhantes às ondas de rádio e de micro-ondas, aos raios ultravioletas e de luz visível (COSTA et al., 2008).

Os consumidores estão menos preocupados com a irradiação do que com os aditivos alimentares, resíduos de pesticidas, resíduos de medicamentos para animais, hormônios de crescimento, e as bactérias. O risco para os trabalhadores e as questões ambientais estão entre as principais preocupações em relação a irradiação (RESURRECCION et al., 1995).

Inúmeros testes de mercados realizados nos últimos anos indica que o consumidor possivelmente passará a comprar alimentos irradiados. No Brasil, existem duas legislações à 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 aprovou o Regulamento Técnico para Irradiação de Alimentos que não determina quais alimentos podem ser irradiados e nem a dose máxima absorvida para se obter o fim desejado, desde que não haja prejuízo nas suas qualidades funcionais e sensoriais (RIBEIRO, 2007; MANTILLA et al., 2010).

Tendo o propósito de preservar e desinfestar grãos, o processo de irradiação dos alimentos, pode ser utilizado para preservar o produto, estender sua vida útil e reduzir as

perdas das safras durante a armazenagem do produto (ARMELIN et al., 2007). Este processo tem recebido vigilância crescente, devido às vantagens que apresenta em relação aos métodos convencionais de processamento, pesquisas demonstram que certas doses de radiação utilizadas podem afetar características de aparência, sabor, aroma, e textura (VERRUMA-BERNADI; SPOTO, 2003).

### 2.3.1 Uso da radiação micro-ondas no controle de insetos

Conforme Drouzas e Schubert (1996) na maioria dos países europeus a frequência permitida para a utilização de micro-ondas na secagem de alimentos é 2,45 GHz. Somente para fins industriais e sob autorização especial a frequência de 915 MHz é permitida.

O forno de micro-ondas, o radar para detectar velocidade, a TV a cabo e o telefone celular são exemplos de fontes de radiação de micro-ondas em nosso cotidiano. O forno de micro-ondas usa um gerador de micro-ondas do tipo magnetron para produzir micro-ondas em uma frequência de aproximadamente 2,45 GHz, e regulado para atuar somente sobre moléculas de água (molécula polar) provocando vibrações. Isso é feito para que só os alimentos possam ser cozidos. No forno de micro-ondas existe um dispositivo de segurança para impedir que a radiação escape para o meio externo. Não havendo esse dispositivo, uma pessoa que estivesse próxima poderia ser cozida, literalmente de dentro para fora (RIBEIRO, 2007).

A utilização de micro-ondas para matar insetos baseia-se no efeito do aquecimento dielétrico produzido no grão, que é relativamente um bom condutor de eletricidade. Uma vez que este aquecimento depende das propriedades elétricas do material, existe uma possibilidade de aquecimento seletivo vantajosa em misturas de diferentes substâncias (VADIVAMBAL; JAYAS; WHITE, 2007).

O aquecimento de um material por irradiação com micro-ondas se dá devido à interação da onda eletromagnética com o dipolo elétrico da molécula. Devido ao alto custo dos equipamentos desenvolvidos para aplicações laboratoriais, frequentemente são empregados fornos de micro-ondas domésticos. Porta retrátil para alívio de pressão e autofechamento, sensores de gases na cavidade, frascos reacionais capazes de suportar elevadas pressões (até 100 atm), altas temperaturas (até 260 °C) e inércia química frente a ácidos concentrados, são exemplos de dispositivos de segurança presentes em fornos micro-

ondas laboratoriais. Entretanto, experimentos simples e demonstrações didáticas podem ser conduzidos com segurança em fornos de micro-ondas projetados para uso doméstico (ROSINI; NASCENTES; NÓBREGA, 2004).

Segundo Vadivambal e Jayas (2007) os materiais podem absorver energia de micro ondas diretamente e internamente e convertê-la em calor. Assim, a secagem de micro-ondas é causada por diferenças de pressão do vapor de água entre regiões do interior e da superfície, que proporcionam uma força motriz para a transferência de umidade. A utilização de micro ondas torna possível o design mais compacto de equipamentos e, conseqüentemente, a capacidade da fábrica pode ser aumentada com a construção de espaço adicional. A indústria de alimentos é hoje um dos principais utilizadores da energia micro-ondas. O tratamento pode reduzir muito o tempo de secagem dos produtos biológicos, sem degradação da qualidade.

Del Estal et al. (1986) avaliaram os efeitos letais de micro-ondas em *Ceratitis capitata* (Wied). Foram examinadas pupas com 1-4-8 dias de idade e adultos de 2-9 dias de idade. Adultos foram irradiados com micro-ondas em 9 GHz em um aplicador de guia de ondas retangular com uma densidade de potência de 8,6 W/cm<sup>2</sup> e os tempos de exposição variando de 7,5 s para 2,25 min. Diferenças significativas entre todas as linhas foram obtidas no nível 0,05. A suscetibilidade à exposição de micro-ondas foi maior em moscas adultas do que em pupas. A seqüência de tolerância foi de 4 > 8 > 1 (pupas) > 2 > 9 (adultos). Em *C. capitata*, descobriram que altas densidades de energia e tempos de exposição de curta duração foram os mais efetivos.

Franco (2001) usando radiação micro-ondas para o controle de *Sitophilus oryzae* (Linné, 1763) em arroz concluiu que as fases de larva e pupa de *S. oryzae* são as mais sensíveis, necessitando de apenas 100 segundos de exposição à radiação micro-ondas, na potência baixa, para efetuar um controle de 100 %. Já a fase de ovo, necessita de um tempo de exposição de 130 segundos, também na potência baixa. E finalmente, a fase adulta, necessita de 160 segundos de exposição, na potência baixa, para causar mortalidade total da população de insetos no arroz.

Sripakdee et al. (2005) reportam que estratégias para controlar a população de moscas estão em desenvolvimento. Em seu estudo sobre o efeito da irradiação de micro-ondas em *Chrysomya megacephala* (F.) usando 2,450 MHz, com tempos de exposição de 7, 10, 15, 30 e 60 segundos sobre as larvas no terceiro ínstar resultou em uma maior mortalidade das mesmas quando estas estavam expostas a períodos mais longos de radiação de micro-ondas.

Vadivambal, Jayas e White (2008) usaram um sistema industrial de micro-ondas operando com 2,45 megahertz para determinar a mortalidade de estágios diferentes do

*Tribolium castaneum* (Herbst) em cevada armazenada. Com o aumento da potência ou do tempo de exposição, a mortalidade dos estágios de vida do inseto também aumentou. Os resultados do estudo mostraram que a mortalidade completa de estágios da vida do *T. castaneum* pode ser conseguida usando a energia de micro-ondas. Entre os estágios, os ovos foram os mais suscetíveis seguidos por larvas e pupas, sem diferença significativa entre os dois estágios. Os adultos foram menos suscetíveis à energia de microonda. Não houve nenhuma diferença significativa na mortalidade de estágios larval e adultos do *T. castaneum* em vários índices de umidade. As características de qualidade tais como amilase, proteína solúvel, viscosidade, e a densidade do malte da cevada tratado em 500 W e 28 s foram igual a da amostra controle.

Vadivambal et al. (2010), constataram que a mortalidade de adultos de *Sitophilus zeamais* para o milho com teor de umidade de 14 % em 300, 400, 500 e 600 W a 14 s de tempo de exposição foi de 40, 73, 93, e 100 %, respectivamente. A mortalidade em 300, 400, 500 e 600 W por 28 s do tempo de exposição foi de 77, 87, 100 e 100 %, respectivamente. A mortalidade de adultos de *Tribolium castaneum* em milho com teor de umidade de 14 % em 300, 400, 500 e 600 W por 14 s do tempo de exposição encontrada foi de 27, 50, 83 e 100 %, respectivamente. A mortalidade de adultos *T. castaneum* em 300, 400, 500 e 600 W a 28 s do tempo de exposição foi de 67, 97, 100 e 100 %, respectivamente. A mortalidade de adultos de *Plodia interpunctella* em 300, 400, 500 e 600 W por 14 s foi de 60, 77, 100 e 100 %, respectivamente, e a mortalidade de larvas de *P. interpunctella* foram 67, 87, 93 e 100 % respectivamente. A temperatura atingida durante o aquecimento em micro-ondas para matar insetos foi 52-55 ° C, que se encontra dentro dos limites de segurança sugerido na literatura.

Lu et al. (2011) realizaram um experimento sobre o efeito da radiação e de estruturas condutoras de calor sobre *T. castaneum*. Tanto micro-ondas quanto os tratamentos de condução térmica mudaram a microestrutura do inseto, mas seus efeitos sobre a morfologia superficial e ultraestrutura foram diferentes. O tratamento com radiação teve pouco efeito sobre a microestrutura da superfície da espécie, contudo, após o tratamento térmico as células superficiais desordenaram-se. O tegumento após receber tratamento com micro-ondas apresentou uma espessura desigual e as quatro camadas externas da endocutícula ficaram mais finas com limites menos distintos. Núcleos permaneceram quase inalterados, mas o número de células de gordura corporal foi reduzido após exposição à radiação. Em contraste, depois do tratamento térmico, os núcleos ficaram maiores, a gordura corporal foi significativamente reduzida e as células indistintas. Assim, os autores concluíram que os efeitos do tratamento por micro-ondas sobre microestrutura de superfície e ultraestrutura

intracelular de *T. castaneum* são menos graves do que os efeitos do tratamento térmico condutor.

### 3 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AEBI, A.; SHANI, T.; BUTCHER, R. D. J.; ALVAREZ, N.; RISTERUCCI, A. M.; BENREY, B. Isolation and characterization of polymorphic microsatellite markers in *Zabrotes subfasciatus* Boheman (Coleoptera: Bruchidae). **Molecular Ecology Notes**, v.4, p. 752-754, 2004.

AGAREZ, F. V.; RIZZINI, C. M.; PEREIRA, C. **Botânica: taxonomia, morfologia e reprodução dos angiospermae: chaves para determinação das famílias**. 2 ed. Rio de Janeiro: Âmbito Cultural, 1994. 256p. p. 202-204.

AGUILAR, J. A. D.; ARTHUR, V. Dose letal de radiação gama para ovos de *Corcyra cephalonica* (Stainton, 1865) (Lepidoptera: Pyralidae), traça do arroz. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 51, n.1, p. 191-194, jan./abr. 1994.

ANCONA, D. B.; ROSADO, R. M.; CRUZ, A. C.; RUELAS, A. C.; FLORES, M. E. J.; GUERRERO, L. C. Functional properties of hydrolysates from *Phaseolus lunatus* seeds. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 44, p.128-137, 2009.

ARMELIN, J. M.; CANNIATTI-BRAZACA, S. G.; PIEDADE, S. M. de S.; MACHADO, F. M. V. F.; SPOTO, M. H. F. Avaliação física de feijão carioca irradiado. **Ciência Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.27, n. 3, p. 498-502, jul./set. 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6023**: informação e documentação: artigo em publicação periódica científica impressa: apresentação. Rio de Janeiro, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14724**: informação e documentação: trabalhos acadêmicos: apresentação. Rio de Janeiro, 2005.

AZEVEDO, J. N. de; FRANCO, L. J. D.; ARAÚJO, R. O. da C. **Composição química de sete variedades de feijão-fava**. Teresina, Piauí: Embrapa, jul. 2003. (Embrapa. Comunicado Técnico, 152).

BARBOSA, F. R.; YOKOYAMA, M.; PEREIRA, P. A. A.; ZIMMERMANN, F. J. P. Controle do caruncho-do-feijoeiro *Zabrotes subfasciatus* com óleos vegetais, munha, materiais inertes e malathion. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 9, p. 1213-1217, set. 2002.



BAUDOIN, J. P. Contribution des ressources phytogénétiques à la sélection variétale de légumineuses alimentaires tropicales. **Biotechnology, Agronomy, Society and Environment**, v. 5, n. 4, p. 221-230, 2001.

BAUDOIN, J. P.; ROCHA, O.; DEGREEF, J.; MAQUET, A.; GUARINO, L. **Ecogeography, demography, diversity and conservation of *Phaseolus lunatus* L. in the Central Valley of Costa Rica**. Roma, Itália: International Plant Genetic Resources Institute, 2004. (IPGRI. Systematic and Ecogeographic Studies on Crop Gene pools 12.).

BITENCOURT, N. V.; SILVA, G. S. Reação de genótipos de fava a *Meloidogyne incognita* e *M. enterolobii*. **Nematologia Brasileira**, Piracicaba, SP, Brasil, v. 34, n. 3, p. 184-186, 2010.

BROUGHTON, W. J.; HERNANDEZ, G.; BLAIR, M.; BEEBE, S.; GEPTS, P. VANDERLEYDEN, J. Beans (*Phaseolus* spp.) – model food legumes. **Plant and Soil**, v. 252, p. 55-128, 2003.

CASTILLO, J. M.; MARÍN, P. C. G.; VILLARREAL, D. Z. Genetic erosion and in situ conservation of Lima bean (*Phaseolus lunatus* L.) landraces in its Mesoamerican diversity center. **Genetic Resources and Crop Evolution**, v. 55, p. 1065-1077, 2008.

CEPRO. Piauí-Conjuntura Econômica. **Boletim Analítico Anual**, Piauí, 2010. Disponível em: <[http://www.cepro.pi.gov.br/download/201105/CEPRO13\\_9af214ed95.pdf](http://www.cepro.pi.gov.br/download/201105/CEPRO13_9af214ed95.pdf)>. Acesso em: 18 jan. 2012.

CEPRO. Piauí-Conjuntura Econômica. **Boletim Analítico Semestral Janeiro a Junho**, 2011. Disponível em: <[http://www.cepro.pi.gov.br/download/201201/CEPRO02\\_dbbce7ba5a.pdf](http://www.cepro.pi.gov.br/download/201201/CEPRO02_dbbce7ba5a.pdf)> Acesso em: 18 jan. 2012.

CORRÊA, R. X.; POMPOLO, S. G.; SANTOS, I. S.; SILVA, J. G.; COSTA, M. A. Karyotype, heterochromatin distribution and meiosis of *Zabrotes subfasciatus* (Bohemann) (Coleoptera: Chrysomelidae, Bruchinae). **Neotropical Entomology**, v. 37, n. 5, p. 546-551, set./out. 2008.

COSTA, S. M.; MANOEL, L.; MOREIRA, G. C.; VIEITES, R. L.; LIMA, L. C.; PALLAMIN, M. L. Conservação frigorificada de pêssegos ‘tropic beauty’ irradiados. **Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha**, v. 9, n. 2, p. 131-137, 2008.

COUTO, R. R.; SANTIAGO, A. J. Radioatividade e irradiação de alimentos. **Revista Ciências Exatas e Naturais**, Guarapuava, Paraná, v.12, n. 2, p.193-215, jul./dez. 2010.

CREDE, R. G. **Estudos dos efeitos da radiação gama e de aceleradores de elétrons na detecção de grãos de Milho (*Zea mays*) geneticamente modificado.** 2005. 80f. Dissertação (Mestrado em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear Aplicações) – Ipen - Autarquia Associada à Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

DEL ESTAL, P.; VIÑUELA, E.; PAGE, E.; CAMACHO, C. Lethal effects of microwaves on *Ceratitis capitata* Wied. (Dipt., Trypetidae). **Journal of Applied Entomology**, v.102, ed.1-5, p. 245-253, jan./dez. 1986.

DENDY, J.; CREDLAND, P. F. Development, fecundity and egg dispersion of *Zabrotes subfasciatus*. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, v. 59, n. 1, p. 9-17, 1991.

DROUZAS, A. E.; SCHUBERT, H. Microwave application in vacuum drying of fruits. **Journal of Food Engineering**, v. 28, p. 203-209, 1996.

FOFANA, B.; VEKEMANS, X.; JARDIN, P. du.; BAUDOIN, J. P. Genetic diversity in Lima bean (*Phaseolus lunatus* L.) as revealed by RAPD Markers. **Euphytica**, v. 95, p. 157-165, 1997.

FONSECA, J. R.; CASTRO, T. de A. P. e. **Coleta de germoplasma de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), feijão de fava (*Phaseolus lunatus*) e caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp.) no Estado de Goiás, e algumas considerações sobre os seus cultivos.** Goiânia: Goiás, Embrapa, 1983. (EMBRAPA–CNPAF. Documentos, 6).

FONTES, L. S.; ARTHUR, V. Efeitos da radiação gama do Cobalto-60 em ovos de *Tribolium castaneum* (Herbst., 1797) (Coleoptera: Tenebrionidae). **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 51, n.3, p. 403-406, set./dez. 1994.

FRANCO, J. G. **Efeitos da radiação micro-ondas nas diferentes fases do ciclo evolutivo de *Sitophilus oryzae* (Linné, 1763) Coleoptera, Curculionidae em arroz, visando o seu controle.** 2001. 45f. Dissertação (Mestrado em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear- Aplicações) – IPEN-Autarquia Associada à Universidade de São Paulo, São Paulo 2001.

GALLO, D.; NAKANO, O.; SILVEIRA NETO, S.; CARVALHO, R. P. L.; BAPTISTA, G. C. de; BERTI FILHO, E.; PARRA, J. R. P.; ZUCCHI, R. A.; ALVES, S. B.; VENDRAMIM, J. D.; MARCHINI, L. C.; LOPES, J. R. S.; OMOTO, C. **Entomologia Agrícola**. Piracicaba: FEALQ, 2002, 920p.

GEPTS, P. Biochemical Evidence Bearing on the Domestication of *Phaseolus* (Fabaceae) Beans. **Economic Botany**, v. 44, n. 3, p. 28-38, jul./set. 1990.

GUIMARÃES, W. N. R.; MARTINS, L. S. S.; DA SILVA, E. F.; FERRAZ, G. de M. G.; DE OLIVEIRA, F. J. Caracterização morfológica e molecular de acessos de feijão-fava (*Phaseolus lunatus* L.). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.11, n.1, p.37-45, 2007.

GUTIÉRREZ SALGADO, A.; GEPTS, P.; DEBOUCK, D. G. Evidence for two gene pools of the Lima bean, *Phaseolus lunatus* L., in the Americas. **Genetic Resources and Crop Evolution**, v. 42, n. 1, p.15-28, 1995.

HASAN, M.; KHAN, A. R. Control of stored-product pests by irradiation. **Integrated Pest Management Reviews**, v.3, p.15-29, 1998.

JUNQUEIRA, S. F.; OLIVEIRA, E. A. de.; MASCARENHAS, R. de J. Caracterização físico-química da fava rajada (*Phaseolus lunatus* L.) cultivada no sertão paraibano. In: V CONGRESSO NORTE-NORDESTE DE PESQUISA E INOVAÇÃO (CONNEPI). 2010, Maceió. **Anais...** Maceió: Artigos em Ciências Agrárias, 2010.

LAZZARI, F. N. RIBEIRO-COSTA, C. S. Control of *Zabrotes subfasciatus* (Boheman) (Coleoptera, Chrysomelidae, Bruchinae) in *Phaseolus vulgaris* Linnaeus, using diatomaceous earth under different temperatures. In: INTERNATIONAL WORKING CONFERENCE ON STORED PRODUCT PROTECTION, 9. 2006, Campinas. **Resumos...** Campinas: Embrapa, 2006. p. 804-810.

LU, H. H.; ZHOU, J. C.; YAN, D.; ZHAO, S. M.; XIONG, S. B. Effects of microwave radiation and conductive heating on *Tribolium castaneum* microstructure. **Micron**, v.42, p. 36-41, 2011.

MANTILLA, S. P. S.; SANTOS, E. B.; VITAL, H. de C.; MANO, S. B.; FRANCO, R. M. Atmosfera modificada e irradiação: Métodos combinados de conservação e inocuidade alimentar. **Revista Científica Eletrônica de Medicina Veterinária**, ano VIII, n. 15, jul. 2010.

MAQUET, A.; BAUDOIN, J.-P. Aperçu de la distribution néotropical de *Phaseolus lunatus*. **Belgian Journal of Botany**, v.130, p. 93-116, 1997.

McCLEAN, P.; KAMI, J.; GEPTS, P. Genomics and genetic diversity in common bean. In: **Legume Crop Genomics**, 2004. Cap. 4, p. 61-82.

OLIVEIRA, A.P.; ALVES, E.U.; ALVES, A.U.; DORNELAS, C.S.M.; SILVA, J.A.; PÔRTO, M.L.; ALVES, A.V. Produção de feijão-fava em função do uso de doses de fósforo

em um Neossolo Regolítico. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 22, n. 3, p. 543-546, jul./set. 2004.

ORNELLAS, C. B. D.; GONÇALVES, M. P. J.; SILVA, P. R.; MARTINS, R. T. Atitude do consumidor frente à irradiação de alimentos. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 26, n.1, p. 211-213, jan./mar. 2006.

PARANHOS, B. A. J.; CUSTÓDIO, C. C.; MACHADO NETO, N. B.; RODRIGUES, A. S. Extrato de neem e cravo da Índia no controle de *Zabrotes subfasciatus* (Boheman) (Coleoptera: Bruchidae) em sementes de feijão armazenado. **Colloquium Agrariae**, v. 1, n.1, p. 1-7, set. 2005.

PEGADO, C. M. A.; BARBOSA, L. J. das N.; MENDES, J. E. M. F.; SOUTO, P. C.; SOUTO, J. S. Decomposição superficial e subsuperficial de folhas de fava (*Phaseolus lunatus* L.) na região do Brejo da Paraíba, Brasil. **Caatinga**, Mossoró, Brasil, v.21, n.1, p. 218-223, jan./mar. 2008.

PEREIRA, P. R. V. da S.; SALVADORI, J. R. **Identificação dos principais Coleoptera (Insecta) associados a produtos armazenados**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2006. 33 p. (Embrapa Trigo. Documentos Online, 75). Disponível em: <[http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/do/p\\_do75.htm](http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/do/p_do75.htm)>. Acesso em: 06 jan. 2012.

PIMBERT, M. A model of host plant change of *Zabrotes subfasciatus* Boh. (Coleoptera: Bruchidae) in a traditional bean cropping system in Costa Rica. **Biological Agriculture and Horticulture**, v. 3, p. 39-54, 1985.

PIMBERT, M. P.; JARRY, M. A non-parametric description of the oviposition pattern of *Zabrotes subfasciatus* inside pods of a wild, *Phaseolus lunatus*, and a cultivated host plant, *Phaseolus vulgaris*. **International Journal of Tropical Insect Science February**, v. 9, p. 113-116, 1988.

POTENZA, M. R.; ARTHUR, V.; FELICI, J. D.; ROSSI, M. H.; NAKAOKA SAKITA, M.; SILVESTRE, D. de F.; GOMES, D. H. P. Efeito de produtos naturais irradiados sobre *Sitophilus zeamais* Mots. (Coleoptera: Curculionidae). **Arquivos do Instituto Biológico**, São Paulo, v.71, n. 4, p.477-484, out./dez. 2004.

QUINTELA, E. D. **Manual de identificação dos insetos e invertebrados: pragas do feijoeiro**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2002. 52 p. (Embrapa Arroz e Feijão. Documentos, 142).

RESURRECCION, A. V. A.; GALVEZ, F. C. F.; FLETCHER, S. M.; MISRA, S. K. Consumer attitudes toward irradiated food: Results of a new study. **Journal of Food Protection**, v. 58, n. 2, p. 193-196, fev. 1995.

RIBEIRO, A. de F. E. **Irradiação de alimentos: uma proposta para o ensino de física**. 2007. 39f. Monografia (Especialização em Ensino de Ciências por Investigação, modalidade Física) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.

ROSINI, F.; NASCENTES, C. C.; NÓBREGA, J. A. Experimentos Didáticos Envolvendo Radiação Micro-ondas. **Química Nova**, v. 27, n. 6, p.1012-1015, 2004.

RUIZ, L.; BEAVER, J.; ROSAS, J. C.; ERNEST, E. Evaluation of Lima Bean landraces from Puerto Rico. **Annual Report of the Bean Improvement Cooperative**, v. 53, mar. 2010.

SANTOS, D.; CORLETT, F. M. F.; MENDES, J. E. M. F.; JÚNIOR, J. S. A. W. Produtividade e morfologia de vagens e sementes de variedades de fava no Estado da Paraíba. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 37, n. 10, p. 1407-1412, out. 2002.

SANTOS, H. H. D.; MATOS, V. P.; ALBUQUERQUE, A. P. da C.; FERREIRA, E. G. B. de S.; SILVA, R. B. e; SENA, L. H. de M. Caracterização morfológica de variedades de fava (*Phaseolus lunatus* L.). In: X JORNADA DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO – JEPEX, 2010. Recife. **Resumos...** Recife: Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), 2010.

SANTOS, J. O. **Divergência genética em feijão-fava (*Phaseolus lunatus* L.)**. 2008, 97f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2008.

SANTOS, J. O.; ARAÚJO, A. S. F.; GOMES, R. L. F.; LOPES, A. C. A.; FIGUEIREDO, M. V. B. Ontogenia da nodulação em feijão-fava (*Phaseolus lunatus*). **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**. Recife, v.4, n.4, p.426-429, out./dez. 2009.

SARI, L. T.; RIBEIRO-COSTA, C. S.; PEREIRA, P. R. V. da S. Aspectos biológicos de *Zabrotes subfasciatus* (Bohemann, 1833) (Coleoptera, Bruchidae) em *Phaseolus vulgaris* L., cv. Carioca (Fabaceae), sob condições de laboratório. **Revista Brasileira de Entomologia**, v.47, n.4, p. 621-624, dez. 2003.

SILVA, A. L. F. da; ROZA, C. R. da. Uso da irradiação em alimentos: revisão. **Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos**, Curitiba, v. 28, n. 1, p. 49-56, jan./jun. 2010.

SILVA, C. C. da; COSTA, E. G. de C.; RAMOS, H. T. F.; GUIMARÃES, R. de T.; GARCIA, A. H. Não-preferência para oviposição de *Zabrotes subfasciatus* (Boheman, 1833) em feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) tratado com diferentes produtos de origem vegetal. **Anais da Escola de Agronomia e Veterinária**, v. 26, n. 2, p. 51-56, 1996.

SILVA, S. J. C. da. **Detecção, caracterização molecular e diversidade genética de Begomovirus que infecta a fava (*Phaseolus lunatus* L.)**. 2006, 66f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Alagoas, Rio Largo, 2006.

SOUZA, G. A. de; CARVALHO, M. R. de O.; MARTINS, E. R.; GUEDES, R. N. C.; OLIVEIRA, L. O. de. Diversidade genética estimada com marcadores ISSR em populações brasileiras de *Zabrotes subfasciatus*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.43, n.7, p.843-849, jul. 2008.

SRIPAKDEE, D.; SUKONTASON, K. L.; PIANGJAI, S.; NGERNKLUN, R.; SUKONTASON, K. Effect of microwave irradiation on the blow fly *Chrysomya megacephala* (F.) (DIPTERA: CALLIPHORIDAE). **The Southeast Asian Journal of Tropical Medicine and Public Health**, v. 36 n. 4, p. 893-895, jul. 2005.

STRALIOTTO, R.; TEIXEIRA, M.G. **A variabilidade genética do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.): aplicações nos estudos das interações simbióticas e patogênicas**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, dez. 2000. 59p. (Embrapa- Agrobiologia. Documentos, 126).

TEIXEIRA, I. R. do V.; BARCHUK, A. R.; ZUCOLOTO, F. S. Host preference of the bean weevil *Zabrotes subfasciatus*. **Insect Science**, v.15, p. 335-341, 2008.

TORO CHICA, O.; LAREO, L.; DEBOUCK, D.G. Observations on a noteworthy wild Lima bean, *Phaseolus lunatus* L., from Colombia. **Annual report of the Bean Improvement Cooperative**, v. 36, p.53-54, 1993.

VADIVAMBAL, R.; JAYAS, D. S. Changes in quality of microwave-treated agricultural products—a review. **Biosystems Engineering**, v. 98, p. 1-16, 2007.

VADIVAMBAL, R.; JAYAS, D. S.; WHITE, N. D. G. Determination of mortality of different life stages of *Tribolium castaneum* (Coleoptera: Tenebrionidae) in stored barley using microwaves. **Journal of Economic Entomology**, v.101, n.3, p. 1011-1021, 2008.

VADIVAMBAL, R.; JAYAS, D. S.; WHITE, N. D. G. Wheat disinfestation using microwave energy. **Journal of Stored Products Research**, v. 43, p. 508-514, 2007.

VADIVAMBAL, R.; DEJI, O. F.; JAYAS, D.S.; WHITE, N. D. G. Disinfestation of stored corn using microwave energy. **Agriculture and Biology Journal of North America**, v.1, n.1, p.18-26, 2010.

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

WIENDL, F. M.; ARTHUR, V. Longevidade e reprodução de *Cryptolestes pusillus* (Schoenherr) (Col., Cucujidae) após irradiação gama. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.51, n. 2, p. 222-225, mai./ago. 1994.

YUYAMA, K. Comportamento de 10 cultivares de feijão lima (*Phaseolus lunatus* L.) introduzidas do IITA, em terra firme de Manaus, AM. **Acta Amazonica**, v. 12, n. 3, p. 515-520, 1982.

ZHAO, S.; XIONG, S.; QIU, C.; XU, Y. Effect of microwaves on rice quality. **Journal of Stored Products Research**, v. 43, p.496-502, 2007.

## 4 CAPÍTULO I

### Radiação micro-ondas em ovos de *Zabrotes subfasciatus* visando seu controle em *Phaseolus lunatus*<sup>1</sup>

### Microwave radiation in eggs of *Zabrotes subfasciatus* as an alternative method of control in *Phaseolus lunatus*

Kelly Mayara Silva da Paz Santos<sup>2\*</sup>; Lúcia da Silva Fontes<sup>3</sup>

#### Resumo

Devido aos efeitos negativos ocasionados pelo uso de tratamentos químicos, a busca por novos métodos de controle tem recebido mais atenção. O objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos da radiação micro-ondas em ovos de *Zabrotes subfasciatus* (Boh., 1833) nos acessos de *Phaseolus lunatus* UFPI-769 (Boca de Moça) e UFPI-770 (Branca) e determinar a influência dos acessos sobre o inseto. Foi utilizado um forno comercial para a irradiação, com frequência de 2.450 MHz, rendimento de potência de 1115 W, sendo utilizado em baixa potência (10 %). Adotou-se o delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2 (acessos de fava) x 5 tempos de exposição à radiação micro-ondas: (0 (controle), 60, 90, 120 e 150 segundos), com 5 repetições. Observou-se uma menor emergência de insetos com o aumento do tempo de exposição à radiação micro-ondas. Não houve influência das amostras testadas em relação ao número de insetos emergidos e nem ao período ovo-adulto. O tempo de exposição que melhor atuou no controle do inseto durante a fase de ovo foi 150 s.

**Palavras-chave:** fava, grãos armazenados, método alternativo, desinfestação.

#### Abstract

Due to the negative effects caused by the use of chemical treatments, the search for new methods of control has received more attention. The objective of this study was to evaluate the effects of microwave radiation in eggs of *Zabrotes subfasciatus* (Boh., 1833) in the *Phaseolus lunatus* samples UFPI-769 (Girl's Mouth) and UFPI-770 (White) and the influence of the samples on the insect. We used, for irradiation, a commercial microwave oven with frequency 2450 MHz, power output of 1115 W being used in low power (10 %). We adopted the completely randomized design in factorial 2 (bean samples) x 5 time of exposure to microwave radiation: (0 (control), 60, 90, 120 and 150 seconds), with 5 replicates. There is a lower emergence of insects in relation to the increased time of exposure to microwave radiation. There was no influence of bean samples tested in relation to the number of emerged insects as well as the egg-adult period. The exposure time that best served to control the insect at the egg stage was 150 s.

**Keywords:** lima bean, stored grain, alternative method, disinfestation.

---

\*autor para correspondência

<sup>1</sup> Parte de dissertação de mestrado do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Produção Vegetal, CCA/UFPI.

<sup>2</sup> Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal – PPGA, Centro de Ciências Agrárias – CCA, Universidade Federal do Piauí – UFPI, Campus de Socopo, Teresina – PI, CEP 64000-000. E-mail: kellymsps@hotmail.com

<sup>3</sup> Bióloga, Doutora e professora do Departamento de Biologia da Universidade Federal do Piauí (UFPI), Campus Universitário Ministro Petrônio Portela, Bloco 01-Bairro Ininga. E-mail: lsfontes@uol.com.br



## Introdução

A espécie *Phaseolus lunatus* é representada por grupos silvestres e domesticados que apresentam variabilidade quanto a características morfológicas, genéticas e fisiológicas. De acordo com Junqueira, Oliveira e Mascarenhas (2010), o feijão fava é da família Fabaceae e uma das quatro espécies do gênero *Phaseolus* explorada comercialmente no mundo.

A fava (*Phaseolus lunatus* L.) também conhecida como feijão manteiga, feijão lima, feijão Sieva e feijão açúcar, representa uma fonte alternativa de alimento e renda para a população do Nordeste do Brasil (ALVES et al., 2008). Pode ser consumida na forma de grãos maduros, semiverdes cozidos e secos.

Conforme Giuntini, Lajolo e Menezes (2003), a preocupação com a saúde e a prevenção de certas doenças tem sido associada a uma ingestão adequada de fibra alimentar (FA) por parte dos profissionais de saúde, e também por uma parcela da população atenta às informações que vêm sendo veiculadas. Alguns pratos regionais do Brasil contêm elevado conteúdo de FA, o que também acontece com alimentos e produtos mexicanos, como a fava (3,35 %).

A maioria das leguminosas contém elevados teores de fibra alimentar, o que enfatiza ainda mais seu estudo e uso para manter a saúde da população. A qualidade na produção de refeições pode ser melhorada por meio de metodologias que visem o controle dos processos de produção de alimentos seguros e sensorialmente adequados. Assim, a utilização de técnicas de manipulação e processamento, bem como o equilíbrio entre os componentes são fundamentais. Além desses, a preocupação com a apresentação final começa com os cuidados durante o armazenamento, pré-preparo, preparo, espera e distribuição desses alimentos (BORJES; CAVALLI; PROENÇA, 2010).

Insetos como o caruncho *Zabrotes subfasciatus* que vivem em sementes de feijão armazenados produtos secos armazenados, desenvolveram mecanismos para superar os efeitos dos inibidores proteicos que são expostos em suas fontes alimentares (SILVA; SÁ; CHRISPEELS, 2000). Uma das formas para o controle do inseto em grãos armazenados é o uso de produtos tóxicos que causam sérios problemas, pois deixam resíduos nos grãos após a aplicação e estes às vezes não saem antes do consumo, promovendo um grande risco à saúde do consumidor.

Todos os métodos de conservação de alimento acarretam em algum tipo de alteração química. O processo com radiação ionizante (raios gama, raios-X e feixes de elétrons) em geral, acarreta poucas alterações químicas nos alimentos, tais como a formação de radicais livres. Nenhuma das alterações conhecidas é nociva ou perigosa. Por outro lado, a necessidade de métodos confiáveis e de rotina para determinar se o alimento foi irradiado ou não e, em caso afirmativo, qual foi a dose absorvida, surgiu como resultado das exigências do mercado consumidor, no correto cumprimento da lei e da rotulagem dos alimentos tratados (COUTO; SANTIAGO, 2010).

O forno micro-ondas, comercializado a partir de 1967, tornou-se um utensílio padrão presente nas residências, em quase todas as partes do mundo, sendo encontrado em mais de 90 % das habitações nos Estados Unidos da América (FRANCO, 2001). As técnicas de radiação micro-ondas têm sido bem sucedidas na avaliação da qualidade e quantidade de produtos agrícolas. Micro-ondas de emissão tem uma boa

profundidade de penetração em biomateriais, quando comparado com infravermelho visível e onça eletromagnética (DING; JONES; WECKLER, 2009).

Diante de inúmeros prejuízos causados pelo *Zabrotes subfasciatus* e da necessidade de alternativas para seu controle, que não deixem resíduos, que preserve qualidades (cor, sabor, aumento da vida útil) em produtos e que sejam menos tóxicas para o homem e ambiente, objetivou-se com esse trabalho, verificar o efeito da radiação micro-ondas em *Z. subfasciatus* na fase de ovo em grãos armazenados de *Phaseolus lunatus*.

## Material e métodos

O trabalho foi conduzido no Laboratório de Entomologia, Departamento de Biologia, Centro de Ciências da Natureza da Universidade Federal do Piauí. Para a instalação do experimento foram utilizados insetos da espécie *Zabrotes subfasciatus* (Boh., 1833), provenientes da criação estoque mantida no próprio laboratório, em recipientes de plásticos fechado de 1L com tampas plásticas perfuradas, a fim de permitir as trocas gasosas e evitar a entrada de outros insetos, sob temperatura de  $28 \pm 1$  °C e  $70 \pm 20$  % de umidade relativa em sala climatizada.

Para realização do experimento, o substrato utilizado foi a fava (*Phaseolus lunatus*), acessos UFPI-769 (Boca de Moça) e UFPI-770 (Branca), procedentes do Banco de Germoplasma da Universidade Federal do Piauí.

Para que não houvesse interferência de outros insetos, que por acaso se encontrassem no interior dos grãos, estes foram mantidos em baixa temperatura ( $-5^{\circ}$  C em refrigerador) por um período de aproximadamente 30 dias, a fim de se eliminar uma possível infestação latente.

Em placas de Petri, com 100 x 15 mm, foram colocados 15 grãos correspondendo à amostra de 75 grãos por tratamento. Também se colocaram em cada placa 15 insetos de *Z. subfasciatus*, com idade de 24 horas, sem determinação do sexo e deixados por um período de 24 horas, para que realizassem a oviposição.

Para a radiação foi utilizado um forno micro-ondas comercial, com frequência de 2450 MHz, rendimento de potência de 1115 W, sendo utilizado em baixa potência (10 %), correspondendo a 111,5 W, com prato giratório, que proporciona uma melhor distribuição da temperatura na fava. A distância da fonte de radiação até a fava foi de 13 cm, com as placas de Petri dispostas de maneira circular no prato.

Foi contado o número de ovos viáveis antes de iniciar o processo de radiação. Realizou-se a aplicação de micro-ondas dois dias após a infestação, com um intervalo de 10 minutos entre uma placa e outra, evitando assim, efeito de pré-aquecimento que interfere na mortalidade.

Adotou-se o delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2 (acessos de fava: UFPI-769 e UFPI-770) x 5 (tempos de exposição à radiação micro-ondas: 0(testemunha), 60, 90, 120 e 150 segundos), com cinco repetições. As placas de Petri foram mantidas sobre bancadas e analisadas diariamente. Próximo à possível data da emergência dos insetos, as placas foram substituídas por copos de 200 ml com

tampa, possuindo 5,5 cm de altura e 7,5 cm de diâmetro de uma borda a outra para avaliação do número de insetos emergidos por tratamento. O período ovo-adulto também foi avaliado, sendo as observações encerradas 44 dias após a infestação.

Os dados originais foram analisados quanto à variância, pelo teste F a 5 % de probabilidade. O programa usado para a análise foi o SAEG, versão 9.1. Para o estudo de fator quantitativo, quando avaliado isoladamente, utilizou-se análise de regressão.

## Resultados e discussão

Observando os dados expostos na tabela 1, é possível afirmar que não existe diferença significativa entre os acessos estudados de *Phaseolus lunatus* pelo teste F a 5 % de probabilidade, quando a variável dependente em questão é a emergência de insetos. Assim, o número de adultos emergidos de *Zabrotes subfasciatus* não foi influenciado pelo acesso UFPI-769 (Boca de Moça) ou UFPI-770 (Branca). Contudo, a emergência sofreu uma diferença significativa em função das doses. Existe pelo menos um contraste entre médias dos níveis do fator dose, estatisticamente diferente de zero, a 1 % de probabilidade. Não houve interação entre os fatores acesso e dose. Isto significa que o comportamento de um fator não depende dos níveis do outro, portanto, independentes.

**Tabela 1** Análise de variância correspondente à emergência de *Zabrotes subfasciatus* após exposição à radiação micro-ondas durante sua fase de ovo em *Phaseolus lunatus*.

Fontes de Variação	G.L.	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Signif.
ACESSOS (ACE)	1	2.42	2.42	0.062	n.s.
DOSE	4	3554.32	888.58	22.884	0.00000
ACE x DOSE	4	147.68	36.92	0.951	n.s.
Resíduo	40	1553.20	38.83		

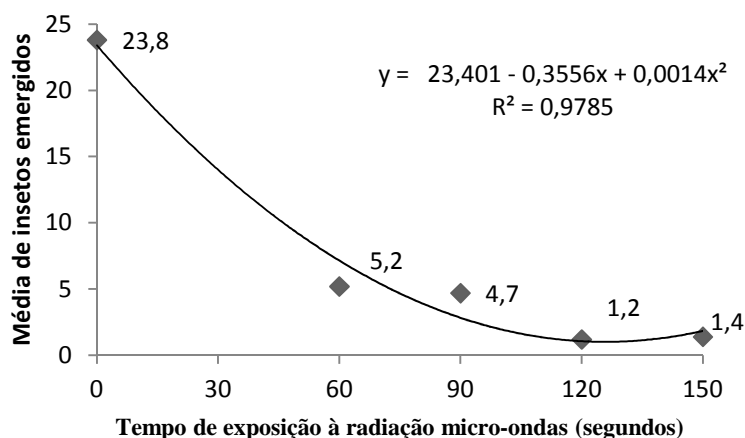
Coefficiente de Variação (%) = 85.832

n.s.: não significativo ao nível de 5 % de probabilidade.

Através da análise de regressão, concluiu-se que a equação polinomial de ordem 2 (Figura 1) explica significativamente a variável dependente Y(emergência), ao nível de significância  $\alpha$ . Significa que os pontos estimados pela equação de regressão, bem como quaisquer dos pontos dentro do intervalo estudado diferem entre si, estatisticamente pelo teste F. Houve um efeito quadrático em que a emergência caiu em função do aumento das doses de radiação micro-ondas.

As médias de insetos emergidos nas doses 60, 90, 120 e 150 s de exposição à radiação micro-ondas apresentam diferença quando comparadas ao grupo controle. A média estimada para o tratamento controle, 60, 90, 120 e 150 foi 23,8; 5,2; 4,7; 1,2 e 1,4 insetos, respectivamente. Estes dados refletem o grande

potencial de micro-ondas com método de controle, pois é possível observar uma queda considerável no número de insetos.



**Figura 1** Médias da emergência de *Zabrotes subfasciatus* em função do tempo de exposição à radiação micro-ondas na fase de ovo em *Phaseolus lunatus*.

No que se refere aos tempos de exposição da radiação em 120 s e 150 s, a queda da emergência deve-se provavelmente ao forte impacto de radiação sofrido na fase de ovo, a qual em poucos segundos ocasionou uma elevação de temperatura levando os embriões à morte. Franco (2001) usando radiação micro-ondas para o controle de *Sitophilus oryzae* (Linné, 1763) em arroz observou que com doses de até 30 segundos de exposição, a irradiação não induziu efeitos deletérios aos ovos no interior dos grãos, portanto, não afetaram a emergência dos insetos adultos quando comparados com a testemunha. Com a dose de 60 segundos, a radiação micro-ondas aumentou a viabilidade dos ovos em 42 % em relação à testemunha.

Abo-El-Saad et al. (2011) aplicaram potência de micro-ondas múltiplas (PM) em *Ephestia cautella* (Walker) com vários tempos de exposição. Tempo de exposição de cinco segundos em vários PM até 60 % não teve efeito de mortalidade sobre insetos, aumentando a PM até 100 %, a mortalidade atingiu 20 % para larvas e 33 % para adultos. Ovos de *E. cautella* foram expostos a várias PM em diferentes tempos, a eclosão atingiu 0,0 % após 10 e 15 segundos a PM de 100 %.

Shayesteh e Barthakur (1996) compararam a mortalidade de *Tribolium confusum* (du Val) e *Plodia interpunctella* (Hübner) com aplicações contínuas e intermitentes de micro-ondas. O efeito do tempo de exposição à radiação micro-ondas sobre ovos mostrou a não sobrevivência do *T. confusum* por 40 min de irradiação contínua na potência de 75 W. A mortalidade de ovos de *T. confusum* foi 100 %, se irradiados intermitentemente durante 20 min. Os tempos de exposição diminuíram de 40 a 10 minutos de acordo com o aumento da potencia incidente de micro-ondas de 75 a 150 W para 100 % de mortalidade de todos os insetos da espécie *P. interpunctella*. Em 100 e 150 W, o teste t mostrou mortalidade significativamente maior ( $P < 0,02$ ) em *P. interpunctella* do que em *T. confusum*.

Watters (1976) objetivando controlar *Tribolium confusum* (Jacquelin du Val) através da radiação micro-ondas constatou que a *suscetibilidade* do inseto a energia de micro-ondas foi determinada por irradiação de frascos de trigo infestados a um pulso de frequência de 4000 Hz. A mortalidade variou em

função do tempo de exposição e teor de umidade do trigo. A *susceptibilidade* de fases a radiação a 60 ° C foi: ovos > pupas > adultos > larvas.

Vadivambal, Jayas e White (2010) também encontraram uma emergência significativamente menor de *Tribolium castaneum* em amostras de centeio após uma exposição mais longa a micro-ondas para os ovos. Os ovos foram os mais afetados por energia de micro-ondas, seguido por larvas e pupas (mas sem diferença significativa entre as larvas e pupas), os adultos foram os menos suscetíveis.

Para Fagundes (1998) com o aumento do tempo de exposição à radiação, o material biológico é submetido a uma maior exposição ao campo eletromagnético e conseqüentemente a um maior aquecimento chegando progressivamente mais perto da faixa de aquecimento corpóreo letal, resultando em aumentos no nível de mortalidade. Portanto, em relação ao presente trabalho, a baixa emergência de adultos de *Z. subfasciatus* é reflexo do aumento do tempo de exposição à radiação micro-ondas na fase de ovo.

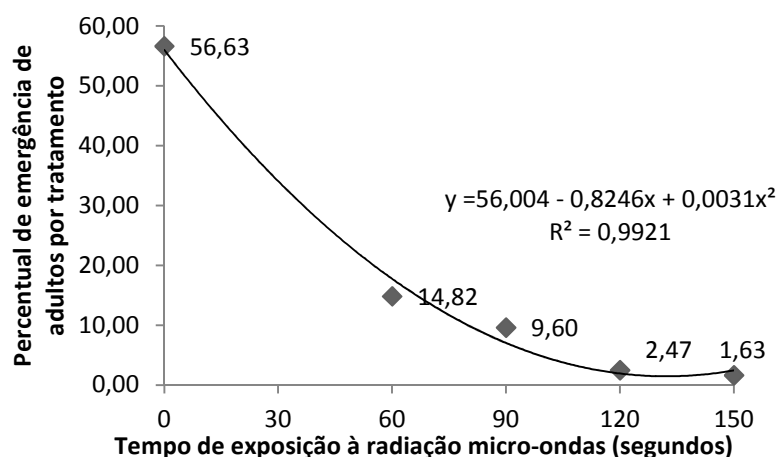
**Tabela 2** Análise de variância correspondente ao percentual de emergência de *Zabrotes subfasciatus* após exposição à radiação micro-ondas durante sua fase de ovo em *Phaseolus lunatus*.

Fontes de Variação	G.L.	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Signif.
ACESSOS (ACE)	1	1.130278	1.130278	0.011	n.s.
DOSE	4	20769.21	5192.303	51.139	0.00000
ACE x DOSE	4	412.3776	103.0944	1.015	0.41103 n.s.
Resíduo	40	4061.320	101.5330		

Coefficiente de Variação (%) = 59.170

n.s.: não significativo ao nível de 5 % de probabilidade.

O percentual de emergência de *Zabrotes subfasciatus* não foi influenciado pelo acesso UFPI-769 (Boca de Moça) ou UFPI-770 (Branca). Existe pelo menos um contraste entre médias das doses de radiação micro-ondas, estatisticamente diferente de zero, ao nível de 1 % de probabilidade, quando o percentual de emergência de *Z. subfasciatus* é a variável dependente (Tabela 2). Não houve interação entre os acessos de fava e dose. O comportamento de um fator não depende dos níveis do outro, portanto, independentes.



**Figura 2** Médias do percentual de emergência de adultos de *Zabrotes subfasciatus* expostos a micro-ondas durante a fase de ovo em *Phaseolus lunatus*.

Através da análise de regressão (Figura 2), concluiu-se que o tempo de exposição à radiação micro-ondas influenciou o percentual de emergência, quanto maior foi a dose usada menor foi o percentual alcançado.

A média do percentual de emergência na testemunha difere de forma significativa das médias encontradas para as exposições de 60, 90, 120 e 150 segundos de radiação. A média para o grupo controle, 60, 90, 120 e 150 s de exposição a micro-ondas foi 56,63; 14,82; 9,60; 2,47 e 1,63 %, respectivamente.

Dados semelhantes foram encontrados por Vadivambal, Jayas e White (2008), analisando o percentual de mortalidade para ovos de *T. castaneum* quando tratados com micro-ondas em 200, 300 e 400 W de potência. A mortalidade de 100 % foi alcançada a 400 W para 28 segundos de exposição e em 300 W para 56 s de exposição à micro-ondas. Entre as várias fases da vida, os ovos foram os mais suscetíveis seguido por larvas e pupas, não havendo diferença significativa entre as duas fases.

Fagundes, Habib e Solis (2005) testando respostas biológicas de *Anagasta kuehniella* à radiação micro-ondas, constataram que exposições de um minuto às micro-ondas resultam em mortalidade total em estágios de adultos e larvas tratados. Já o estágio de ovo mostrou-se o menos sensível às micro-ondas, sendo que foram necessárias exposições acima de 3 minutos para a obtenção da mortalidade total da amostra. Esses resultados diferem do apresentado na presente pesquisa, visto que os ovos de *Z. subfasciatus* sofreram influência negativa na maior dose de exposição que corresponde a 150 s (2 min e 30 s).

Azizoglu et al. (2011) expôs ovos de *Ephestia kuehniella* à radiação de micro-ondas na potência de 150-600 W por períodos de tempo variando de 10 a 300 s. Observou-se que, dependendo do aumento da potência e períodos de tempo, o desenvolvimento foi afetado negativamente e a mortalidade foi aumentada. Constatou-se que 50 % dos ovos foram mortos em 150 W e 120 s após o tratamento, e quando o tempo de exposição aumentou para 180 s, a taxa de mortalidade foi 97,78 % na mesma potência. Para obter mortalidade completa, foi necessário o tempo de exposição 300 s. Uma mortalidade significativa de ovos também foi obtida a 360 W, dependendo do aumento do período de exposição ( $F = 60,21$ ;  $df = 7$ ;  $P \leq 0,0001$ ). Taxa de mortalidade drástica (91,11 %) foi encontrada após 10 s de exposição à potência de 430 W, e longos períodos de exposição causaram mortalidade completa no mesmo poder ( $F = 75,99$ ;  $df = 7$ ;  $P \leq 0,0001$ ). A 10 s do tempo de exposição foi suficiente para matar completamente todos os ovos a uma potência de 600 W ( $F = 80,02$ ;  $df = 7$ ;  $P \leq 0,0001$ ).

Valizadegan, Pourmirza e Safaralizadeh (2011) testando um forno de 2450 MHz encontraram uma relação direta positiva entre as taxas de mortalidade e níveis de potência de irradiação micro-ondas. Combinando radiação micro-ondas e manipulação de temperatura, os pesquisadores obtiveram controle completo para *Oryzaephilus surinamensis* (L.) e *Lasioderma serricorne* (F.) no nível de 400 W, tempo de exposição de 12 minutos e 72 horas de armazenamento refrigerado. Através da análise de variância, provou-se que o impacto da irradiação de microondas sobre os insetos implicou em uma contribuição para explicar variações de mortalidade de insetos. Os pesquisadores ainda enfatizaram que o uso da radiação micro-ondas é uma técnica eficaz de tratamento que não agride ao ambiente e pode ser utilizado em programas de manejo de pragas.

Através destes dados, pode-se destacar que, embora na metodologia do presente trabalho o uso da potência baixa foi a mesma para os diferentes tempos de exposição a micro-ondas, se conseguiu alcançar um

baixo índice de emergência do caruncho *Z. subfasciatus*. Isto só colabora com o incentivo do uso da radiação micro-ondas no controle de pragas.

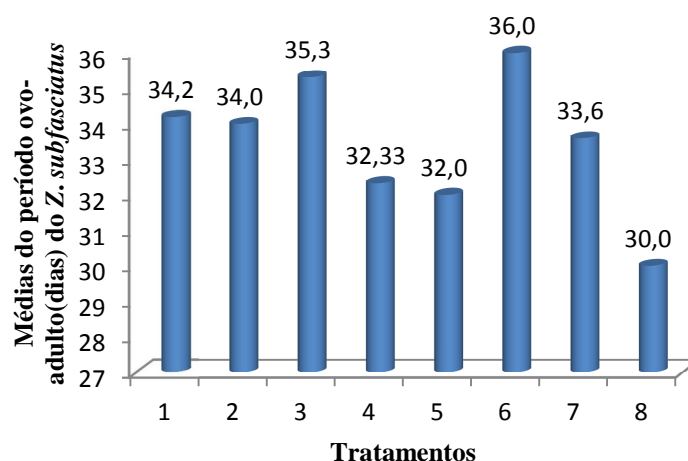
**Tabela 3** Análise de variância do período ovo-adulto de *Zabrotes subfasciatus* expostos a micro-ondas durante a fase de ovo em *Phaseolus lunatus*.

Fontes de Variação	G.L.	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Signif.
TRATAMENTOS	7	74.11494	10.58785	0.599	n.s.
Resíduo	21	371.3333	17.68254		

Coefficiente de Variação (%) = 12.418

n.s.: não significativo ao nível de 5 % de probabilidade.

As médias estimadas para a dependência do período ovo-adulto do *Z. subfasciatus* em cada tratamento foram muito próximas e não houve diferença significativa entre os tratamentos pelo teste F a 5 % de probabilidade (Tabela 3). Nesta análise foram considerados somente 8 tratamentos (combinação dos acessos de fava e doses de exposição à micro-ondas), pois na realização deste experimento as combinações UFPI-770 + dose 150 s, UFPI-770 + dose 120 s foram letais em suas cinco repetições não produzindo sobreviventes para se observar o período ovo-adulto. As médias estimadas para o período ovo-adulto (dias) dos insetos sobreviventes variaram entre 30,0- 36,0 dias (Figura 3).



**Figura 3** Médias do período ovo-adulto de *Zabrotes subfasciatus* sobreviventes expostos a micro-ondas durante a fase de ovo em *Phaseolus lunatus*.

## Conclusões

Não houve influência dos acessos de fava UFPI-769 e UFPI-770 em relação ao número de insetos emergidos e nem ao período ovo-adulto.

Os ovos de *Zabrotes subfasciatus* foram mais sensíveis ao tempo de exposição de 120 e 150 s à radiação micro-ondas.

A emergência é inversamente proporcional ao aumento das doses de radiação micro-ondas.

A radiação micro-ondas pode ser usada como método alternativo para o controle de *Zabrotes subfasciatus* durante a fase de ovo.

## Referências

ABO-EL-SAAD, M. M.; ELSHAFIE, H.A.; AL AJLAN, A. M.; BOU-KHOWH, I. A. Non-chemical alternatives to methyl bromide against *Ephestia cautella* (Lepidoptera: Pyralidae): microwave and ozone. **Agriculture and Biology Journal of North America**, v.2, n.8, p.1222-1231, 2011.

ALVES, A. U.; OLIVEIRA, A. P. de.; ALVES, A. U.; DORNELAS, C. S.M.; ALVES, E. U.; CARDOSO, E. A.; OLIVEIRA, A. N. P. de.; CRUZ, I. da S. Lima beans production and economic revenue as function of organic and mineral fertilization. **Horticultura Brasileira**, v. 26, n. 2, p. 251-254, abr./jun. 2008.

AZIZOGLU, U.; YILMAZ, S.; KARABÖRKLÜ, S.; AYVAZ, A. Ovicidal activity of microwave and UV radiations on mediterranean flour moth *Ephestia kuehniella* Zeller, 1879 (Lepidoptera: Pyralidae). **Turkish Journal of Entomology**, v.35, n.3, p. 437-446, 2011.

BORJES, L. C.; CAVALLI, S. B.; PROENÇA, R. P. da C. Proposta de classificação de vegetais considerando características nutricionais, sensoriais e de técnicas de preparação. **Revista de Nutrição**, Campinas, v.23, n. 4, p.645-654, jul./ago. 2010.

COUTO, R. R.; SANTIAGO, A. J. Radioatividade e irradiação de alimentos. **Revista Ciências Exatas e Naturais**, v.12, n. 2, jul./dez. 2010.

DING, F.; JONES, C. L.; WECKLER, P. RF / microwave technology application for identification of stored-grain insects under electric fields. **Sensory and Instrumentation for Food Quality**, v.3, p. 227-238, 2009.

FAGUNDES, G. G. **Análise do efeito da radiação de micro-ondas sobre *Anagasta kuehniella* Zeller (1879) (Lepidoptera: Pyralidae) e seus dois agentes de controle biológico *Bracon hebetor* (Say, 1836) (Hymenoptera: Braconidae) e *Bacillus thuringiensis* var. *kurstaki* (H: 3a – 3b)**. 1998. 98f. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas) - Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Biologia, Campinas, 1998.

FAGUNDES, G. G.; HABIB, M.; SOLIS, D. R. Respostas biológicas de *Anagasta kuehniella* e de seu parasitoide, *Bracon hebetor*, à radiação por micro-ondas (2450 MHz). **Revista de Agricultura**, p.12- 34, 2005.

FRANCO, J. G. **Efeitos da radiação micro-ondas nas diferentes fases do ciclo evolutivo de *Sitophilus oryzae* (Linné, 1763) Coleoptera, Curculionidae em arroz, visando o seu controle**. 2001. 45 f. Dissertação (Mestrado em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear-Aplicações) - IPEN- Autarquia associada à Universidade de São Paulo. São Paulo, 2001.



GIUNTINI, E. B.; LAJOLO, F. M.; MENEZES, E. W. de. Potencial de fibra alimentar em países ibero-americanos: alimentos, produtos e resíduos. **Archivos Latinoamericanos de Nutricion**, v. 53, n. 1, 2003.

JUNQUEIRA, S. F.; OLIVEIRA, E. A. de.; MASCARENHAS, R. de J. Caracterização físico-química da fava rajada (*Phaseolus lunatus* L.) cultivada no sertão paraibano. In: V CONGRESSO NORTE-NORDESTE DE PESQUISA E INOVAÇÃO (CONNEPI), 2010, Maceió. **Anais...** Maceió: Instituto Federal de Alagoas, 2010.

SAEG. **Sistema para Análises Estatísticas**. Viçosa, 2007. Versão 9.1, Fundação Arthur Bernardes - UFV.

SHAYESTEH, N.; BARTHAKUR, N. N. Mortality and behaviour of two stored-product insect species during microwave irradiation. **Journal of Stored Products Research**, v. 32, n. 3, p. 239-246, 1996.

SILVA, M. C. M. da; SÁ, M. F. G. de; CHRISPEELS, M. J.; Analysis of structural and physico-chemical parameters involved in the specificity of binding between  $\alpha$ -amylases and their inhibitors. **Protein Engineering**, v.13, n.3, p. 167-177, 2000.

VADIVAMBAL, R.; JAYAS, D. S.; WHITE, N. D. G. Controlling life stages of *Tribolium castaneum* (Coleoptera: Tenebrionidae) in stored rye using microwave energy. **The Canadian Entomologist**, v. 142, n.3, p.369-377. 2010.

VADIVAMBAL, R.; JAYAS, D. S.; WHITE, N. D. G. Determination of mortality of different life stages of *Tribolium castaneum* (Coleoptera: Tenebrionidae) in stored barley using microwaves. **Journal of Economic Entomology**, v. 101, n. 3, p. 1011-1021, jun. 2008.

VALIZADEGAN, O.; POURMIRZA, A. A.; SAFARALIZADEH, M. H. The impact of microwaves irradiation and temperature manipulation for control of stored-products insects. **African Journal of Biotechnology**, v. 10, n. 61, p. 13256-13262, out. 2011.

WATTERS, F. L. Microwave radiation for control of *Tribolium confusum* in wheat and flour. **Journal of Stored Products Research**, v.12, n.1, p. 19-25, mar. 1976.

## 5 CAPÍTULO II

### **Radiação micro-ondas em larvas de *Zabrotes subfasciatus* visando seu controle em *Phaseolus lunatus*<sup>1</sup>**

### **Microwave radiation in *Zabrotes subfasciatus* larvae as a method of control in *Phaseolus lunatus***

Kelly Mayara Silva da Paz Santos<sup>2\*</sup>; Lúcia da Silva Fontes<sup>3</sup>

#### **Resumo**

O caruncho *Zabrotes subfasciatus* é uma das pragas mais graves de grãos armazenados, especialmente dos grãos do gênero *Phaseolus* em regiões tropicais e subtropicais. Devido a suas atividades de alimentação durante a fase de larva, os grãos sofrem graves danos, depreciando seu valor comercial. O objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos da radiação micro-ondas em larvas de *Z. subfasciatus* (Boh.,1833) nos acessos de fava UFPI-769 (Boca de Moça) e UFPI-770 (Branca) e determinar a influência dos acessos sobre o inseto. Foi utilizado um forno comercial para a irradiação, com frequência de 2.450 MHz, rendimento de potência de 1115 W, sendo utilizado em baixa potência (10 %). Os tempos de exposição à radiação micro-ondas foram: 0 (controle), 60, 90, 120 e 150 segundos, com 5 repetições. A emergência de insetos irradiados na fase de larva sofreu influência dos acessos de fava e dos tempos de exposição à radiação micro-ondas usados. As combinações UFPI-769 + 150 s ou UFPI-770 + 150 s foram as mais efetivas para o controle do inseto durante a fase de larva. O acesso UFPI-770 apresentou uma menor média de insetos emergidos quando comparado ao UFPI-769 durante os mesmos tempos de exposição à radiação micro-ondas.

**Palavras-chave:** caruncho, praga, grãos armazenados, irradiação.

#### **Abstract**

The weevil *Zabrotes subfasciatus* is a most serious pest of stored grain, especially grain of the genus *Phaseolus* in tropical and subtropical regions. Because of their feeding activity during the larval stage, the grains suffer serious damage, depreciating its commercial value. The objective of this study was to evaluate the effects of microwave radiation on larvae of *Z. subfasciatus* (Boh., 1833) in samples of lima bean UFPI-769 ( Mouth Girl's) and UFPI-770 (White) and the influence of the samples on the insect. We used a commercial microwave oven for irradiation with frequency 2450 MHz, power output of 1115 W being used in low power (10 %). The time of exposure to microwave radiation were 0 (control), 60, 90, 120 and 150 seconds, with five replicates. The emergence of irradiated insects at the larval stage was influenced by the the samples and times of exposure to microwave radiation used. Combinations UFPI-769 + 150 s or UFPI-770 + 150 s were the most effective to control the insect during the larval stage. The sample UFPI-770 had a lower average when compared to insects emerged from UFPI-769 during the same time of exposure to microwave radiation.

**Keywords:** weevil, pest, stored grain, irradiation.

---

\*autor para correspondência

<sup>1</sup> Parte de dissertação de mestrado do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Produção Vegetal, CCA/UFPI.

<sup>2</sup> Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal – PPGA, Centro de Ciências Agrárias – CCA, Universidade Federal do Piauí – UFPI, Campus de Socopo, Teresina – PI, CEP 64000-000. E-mail: kellymmps@hotmail.com

<sup>3</sup> Bióloga, Doutora e professora do Departamento de Biologia da Universidade Federal do Piauí (UFPI), Campus Universitário Ministro Petrônio Portela, Bloco 01-Bairro Ininga. E-mail: lsfontes@uol.com.br

## Introdução

De acordo com Baudoin (2001) as leguminosas continuam a ocupar um lugar muito modesto em sistemas de cultivo tradicionais das regiões tropicais. Espécies do gênero *Phaseolus* são extremamente diversificadas nos trópicos, cobrindo das áreas mais áridas a zonas mais úmidas e o mais quente para o mais frio. Nos países ibero-americanos existe um grande potencial de alimentos e produtos que vêm sendo pesquisados, alimentos nem sempre convencionais, mas de grande importância do ponto de vista nutricional e que poderiam ser melhor explorados (GIUNTINI; LAJOLO; MENEZES, 2003).

Contudo, segundo Guillon e Champ (2002), as leguminosas são consideradas boas para a saúde devido a sua compatibilidade mútua com cereais e por suas propriedades na prevenção de doenças, inclusive cardiovasculares, diminui o risco de diabetes tipo 2, obesidade e, possivelmente, câncer no cólon. O potencial nutritivo das sementes deste grupo de plantas baseia-se no seu alto nível de proteína e, dependendo da espécie, em uma alta proporção de amido ou óleo ou ambos. Junto com macronutrientes, sementes de leguminosas contêm quantidades apreciáveis de algumas vitaminas e minerais, bem como fibra dietética. Dentre as leguminosas mais comuns para consumo humano está a fava, que pode ser consumida após processamento simples como sementes cozidas, ingrediente de sopas e saladas.

O feijão-fava (*Phaseolus lunatus*) é produzido por pequenos produtores que utilizam principalmente cultivares de crescimento indeterminado. Apesar da sua importância social, notadamente no semiárido nordestino, a fava tem merecido pouca atenção por parte de pesquisadores e órgãos de pesquisa no Brasil (BITENCOURT; SILVA, 2010). Em algumas regiões tem se constatado níveis baixos de produtividade, devido principalmente à falta de um programa de pesquisas sobre nutrição mineral (OLIVEIRA et al., 2004) e da ocorrência de pragas e doenças. Entretanto, o feijão-fava é uma excelente fonte de proteína vegetal e apresenta adaptação a diferentes condições ambientais.

As leguminosas são comumente infestadas por carunchos que atacam as suas sementes, causando importantes perdas na colheita. Posteriormente, os efeitos deletérios não são suficientes para atingir uma resistência adequada contra o gorgulho *Zabrotes subfasciatus* (GOSSENS et al., 2000).

Os pesquisadores têm buscado métodos alternativos para desinfestação pós-colheita de commodities sem o uso de fumigantes químicos. A necessidade de substituir os compostos torna-se mais urgente, assim como o público se torna mais consciente do seu impacto negativo na saúde humana e ambiente (WANG; TANG, 2004). Juntamente com os métodos tradicionais de tratamento e conservação de alimentos, a tecnologia da irradiação de alimentos está ganhando mais e mais atenção de todo o mundo. A irradiação é principalmente utilizada para controlar a infestação de insetos, para inativar microorganismos de origem alimentar, para reduzir as perdas de qualidade durante o armazenamento, e para garantir a qualidade higiênica de muitos alimentos (ZULETA et al., 2006).

A irradiação de alimentos é o processo de exposição de alimentos a uma fonte controlada de radiação ionizante com efeitos de extensão do prazo de validade do produto e / ou desinfestação de produto, redução da carga microbiana e destruição de patógenos (SMITH; PILLAI, 2004). A eficiência das radiações

ionizantes no controle a uma determinada praga pode depender também de um estudo anterior sobre a biologia, assim como a resistência desde os estágios imaturos até a formação do inseto adulto a essas radiações.

De acordo com Wiendl e Arthur (1994), sob certas condições de baixas doses e taxas de irradiação aplicada nos organismos tratados provocam às vezes uma longevidade muito maior, aliada em alguns casos a uma taxa de reprodução significativamente mais elevada.

A irradiação de alimentos pode causar algumas alterações nos produtos, cujas principais são: a mudança de sabor em decorrência dos radicais livres; mudança de cor; por ação das radiações, tanto as proteínas, como o amido e a celulose podem ser quebrados ocasionando o amolecimento de carnes; pode haver perda de nutriente e pode-se provocar a oxidação das gorduras do alimento, que dá um sabor de ranço aos produtos gordurosos (COUTO; SANTIAGO, 2010).

Vários estudos laboratoriais tem descrito a radiação micro-ondas como um novo meio para controle de insetos pragas na pós-colheita, diminuindo o grau de degradação (WANG et al., 2007). Conforme Vadivambal e Jayas (2007) o uso industrial e doméstico de micro-ondas aumentou consideravelmente ao longo das últimas décadas. O uso exclusivo de radiação micro-ondas ou combinado com outros processos (por exemplo, armazenamento frio) pode ser considerado uma medida potencial que ajuda a controlar populações de pragas em produtos armazenados (VALIZADEGAN; POURMIRZA; SAFARALIZADEH, 2009).

O presente trabalho teve por objetivo avaliar a influência da radiação micro-ondas em larvas de *Zabrotes subfasciatus* em *Phaseolus lunatus* e determinar a influência dos acessos de fava sobre o inseto.

## Material e métodos

O trabalho foi conduzido no Laboratório de Entomologia, Departamento de Biologia, Centro de Ciências da Natureza da Universidade Federal do Piauí. Para a instalação do experimento foram utilizados insetos da espécie *Zabrotes subfasciatus* (Boh., 1833), provenientes da criação estoque mantida no próprio laboratório, em recipientes de plásticos fechado de 1L com tampas plásticas perfuradas, a fim de permitir as trocas gasosas, sob temperatura de  $28 \pm 1$  °C e  $70 \pm 20$  % de umidade relativa em sala climatizada.

Para realização do experimento, o substrato utilizado foi a fava (*Phaseolus lunatus*), acessos UFPI-769 (Boca de Moça) e UFPI-770 (Branca), procedentes do Banco de Germoplasma da Universidade Federal do Piauí.

Para que não houvesse interferência de outros insetos, que por acaso se encontrassem no interior dos grãos, estes foram mantidos em baixa temperatura (-5° C em refrigerador) por um período de aproximadamente 30 dias, a fim de se eliminar uma possível infestação latente.

Em placas de Petri, com 100 x 15 mm, foram colocados 15 grãos correspondendo à amostra de 75 grãos por tratamento. Também se colocaram em cada placa 15 insetos de *Z. subfasciatus*, com idade de 24 horas, sem determinação do sexo e deixados por um período de 24 horas, para que realizassem a oviposição.

Para a radiação foi utilizado um forno micro-ondas comercial, com frequência de 2450 MHz, rendimento de potência de 1115 W, sendo utilizado em baixa potência (10%), correspondendo a 111,5 W, com prato giratório, que proporciona uma melhor distribuição da temperatura na fava. A distância da fonte de radiação até a fava foi de 13 cm, com as placas de Petri dispostas de maneira circular no prato.

Após 24 horas, retiraram-se os insetos das placas de Petri. A aplicação de micro-ondas foi realizada sete dias após a infestação, com um intervalo de 10 minutos entre uma placa e outra, evitando assim, efeito de pré-aquecimento que interfere na mortalidade.

Adotou-se o delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2 (acessos de fava: UFPI-769 e UFPI-770) x 5 tempos de exposição à radiação micro-ondas: (0 (testemunha), 60, 90, 120 e 150 segundos), com 5 repetições. As placas de Petri foram mantidas sobre bancadas e analisadas diariamente. Próximo à possível data da emergência dos insetos, as placas foram substituídas por copos de 200 ml com tampa, possuindo 5,5 cm de altura e 7,5 cm de diâmetro de uma borda a outra para avaliação do número de insetos emergidos por tratamento. O período ovo-adulto também foi avaliado, sendo as observações encerradas 44 dias após a infestação.

Os dados originais foram analisados quanto à variância, pelo teste F a 5 % de probabilidade. O programa usado para a análise foi o SAEG, versão 9.1. Para o estudo de fator quantitativo, quando avaliado isoladamente, utilizou-se análise de regressão.

## Resultados e Discussão

Através dos dados demonstrados na Tabela 1, é possível afirmar que existe pelo menos um contraste entre médias do fator acesso, estatisticamente diferente de zero, a 1 % de probabilidade, quando a variável dependente em questão é o número de adultos emergidos.

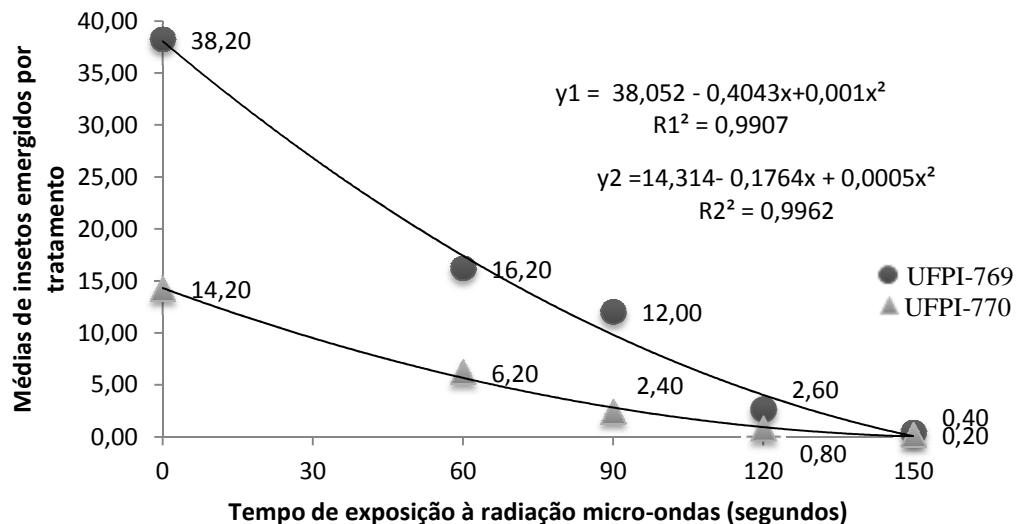
**Tabela 1** Análise de variância do número de *Zabrotes subfasciatus* emergidos após exposição a micro-ondas na fase de larva em *Phaseolus lunatus*.

Fontes de Variação	G.L.	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Signif.
ACESSO (ACE)	1	1039.680	1039.680	22.671	0.00003
DOSE	4	4323.880	1080.970	23.571	0.00000
ACE x DOSE	4	888.9200	222.2300	4.846	0.00279
Resíduo	40	1834.400	45.86000		

Coefficiente de Variação (%) = 72.661

Em relação às doses de radiação usadas, existe pelo menos um contraste entre médias dos níveis deste fator, estatisticamente diferente de zero, ao nível de 1 % de probabilidade, em relação ao número de insetos emergidos. Houve interação entre os fatores acessos e doses. Isto significa que o comportamento de um fator depende dos níveis do outro, sendo, portanto dependentes e não podem ser estudados isoladamente.

Após a análise de regressão, concluiu-se que a equação polinomial de ordem 2 (Figura 1) é a que melhor explica significativamente a variável dependente Y(insetos emergidos) e como ela é influenciada pelas doses e acessos de fava. É possível observar pela regressão que quanto maior foi o tempo de exposição à radiação micro-ondas do inseto na fase de larva, nos dois acessos, menor foi a emergência.



**Figura 1** Médias da emergência de insetos da espécie *Zabrotes subfasciatus* expostos à radiação micro-ondas na fase de larva em *Phaseolus lunatus*.

As médias de insetos emergidos das combinações UFPI-769 + 150 s e UFPI-770 + 150 s foram as melhores para o controle do inseto durante a fase larval, correspondendo a 0,40 e 0,20, respectivamente. Através das equações quadráticas de regressão é possível observar que há uma forte correlação entre os acessos de fava e doses de exposição à radiação micro-ondas.

Pode-se afirmar também que as médias de insetos emergidos utilizando o acesso UFPI-770 foram menores que as médias apresentadas pelo uso do acesso UFPI-769 nos mesmos tempos de exposição à radiação micro-ondas. Neste caso, o uso do acesso UFPI-770 é o melhor para o controle de *Z. subfasciatus* visto o baixo índice de emergência.

Barbosa e Fontes (2011) comparando duas cultivares de feijão caupi, comprovaram a tendência dos grãos da cultivar BRS Xique-xique serem mais resistentes ao ataque do *Callosobruchus maculatus* em relação aos da cultivar BRS Paraguaçu.

A espécie *Phaseolus vulgaris* possui genótipos com e sem arcelina e vários pesquisadores estão investigando o efeito da arcelina sobre a oviposição e desenvolvimento de *Z. subfasciatus*. O feijão-fava pertence ao mesmo gênero e provavelmente apresenta arcelina em sua composição, chegando à conclusão que alguns genótipos de *Phaseolus lunatus* podem também influenciar o comportamento do inseto.

Mazzonetto e Vendramim (2002) concluíram que os materiais de *P. vulgaris* contendo arcelina (Arc1, Arc2, Arc3 e Arc4) prejudicam o *Z. subfasciatus*, alongando o período de desenvolvimento (ovo a adulto), diminuindo o peso, a longevidade de machos e de fêmeas e a fecundidade, sugerindo a ocorrência de não-preferência para alimentação e/ou antibiose nos referidos genótipos. Já Barbosa et al. (2000) comprovaram que na linhagem portadora de arc 1, os parâmetros número de ovos, número de adultos emergidos, período ovo-adulto, razão sexual e peso dos machos não são alterados após a criação de *Z. subfasciatus* no mesmo genótipo, por quatro gerações sucessivas. Na linhagem portadora de arc 4, há redução do período ovo-adulto, após a criação de *Z. subfasciatus* na mesma condição citada, embora o número de ovos e de adultos emergidos, a razão sexual e peso de machos e fêmeas não sejam alterados.

Lara (1997) estudou a resistência de culturas de inverno de feijoeiro, contendo arcelina em suas sementes, ao *Z. subfasciatus*. Com base em outros dados, especialmente a taxa de mortalidade, período de desenvolvimento e peso do adulto na emergência, os genótipos selvagens Arc. 5S e Arc. 1S, Arc. 1 e Arc. 2 (genótipos criados pela EMBRAPA contendo arcelina 1 e 2, respectivamente) apresentou alta resistência ao *Z. subfasciatus* do tipo antibiose, uma vez que causaram uma alta mortalidade larval e pupal. Linhas de Arc. 4 e Arc. 3 apresentaram resistência moderada, provavelmente devido a não preferência alimentar. Estes resultados se assemelham aos encontrados por Souza et al. (1997) em relação a não preferência para oviposição e alimentação do inseto.

As larvas de *Zabrotes subfasciatus* vivem no interior dos grãos. Na presente pesquisa, a exposição à radiação micro-ondas em baixos intervalos de tempo não cozinhou a fava, contudo, reduziu significativamente a emergência de adultos. Dados semelhantes foram encontrados por Franco (2001) que ao utilizar um forno com frequência de 2450 MHz, na baixa potência (240 W), confirmou que doses de 130 e 150 segundos de exposição à irradiação de micro-ondas induziram efeitos deletérios em larvas de *Sitophilus oryzae* (Linné, 1763) matando 100 % da população, apresentando diferenças significativas entre a testemunha e os demais tratamentos, entretanto, não provocaram o cozimento dos grãos de arroz.

Fagundes (1998) observou a existência de um gradiente de sensibilidade a micro-ondas entre os diversos níveis avaliados de desenvolvimento de *Anagasta kuehniella* (larvas de último estágio > larvas de terceiro estágio > adultos > ovos). Constatou que estas diferenças se devem a fatores como a constante dielétrica, a condutividade, o conteúdo de água, a forma, a presença de apêndices e o tamanho dos indivíduos irradiados, os quais podem variar entre os diferentes estágios/estágios. A TEL50 das larvas de último estágio foi menor em relação às de terceiro estágio provavelmente devido ao tamanho e conteúdo de água maior, o que proporciona chegar ao nível de aquecimento letal mais rapidamente.

Vadivambal, Jayas e White (2008) testaram a mortalidade de *Tribolium castaneum* nos diferentes estágios do ciclo inseto. A mortalidade de larvas a 200, 300, 400 e 500 W para 28 s tempo de exposição foi de 32, 68, 95 e 100 %, respectivamente, para cevada com teor de umidade 14 %. A mortalidade em 200 e 300 W no tempo de exposição de 56 s foi de 67 e 100 %, respectivamente. A análise de variância mostrou que a umidade não foi um fator significativo na determinação da mortalidade das larvas. Em comparação com os outros estágios, este foi o segundo mais sensível à exposição à radiação micro-ondas. No controle de *T. castaneum* em centeio, Vadivambal, Jayas e White (2010) também encontraram uma mortalidade

significativamente mais elevada após uma exposição mais longa para larvas, que dentre os estágios do inseto foi o segundo mais sensível à radiação micro-ondas.

Através da Tabela 2 é possível observar que não houve diferença significativa entre os tratamentos ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F, quanto ao período ovo-adulto (dias) (Tabela 2). Para análise foram considerados somente 7 tratamentos (combinação dos acessos de fava e tempos de exposição à radiação micro-ondas), pois na realização deste experimento as combinações UFPI-769 + dose 150 s, UFPI-770 + dose 150 s e UFPI-770 + dose 120 s foram letais na maioria de suas repetições não produzindo sobreviventes para que pudesse se observar o período ovo-adulto. O coeficiente de variação igual a 12,067 mostra uma boa precisão para esta análise.

Neste caso, o tecido da fase de larva possui um elevado teor de água, que em contato com radiação micro-ondas faz suas moléculas de água reagirem promovendo fricção molecular, o que causa a ruptura do tecido, tornando-se um efeito letal.

**Tabela 2** Análise de variância do período ovo-adulto (dias) de *Zabrotes subfasciatus* expostos à radiação micro-ondas durante sua fase de larva em *Phaseolus lunatus*.

Fontes de Variação	G. L.	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Signif.
TRATAMENTOS	6	147.6273	24.60455	1.297	n.s.
Resíduo	26	493.1000	18.96538		

Coeficiente de Variação (%) = 12.067

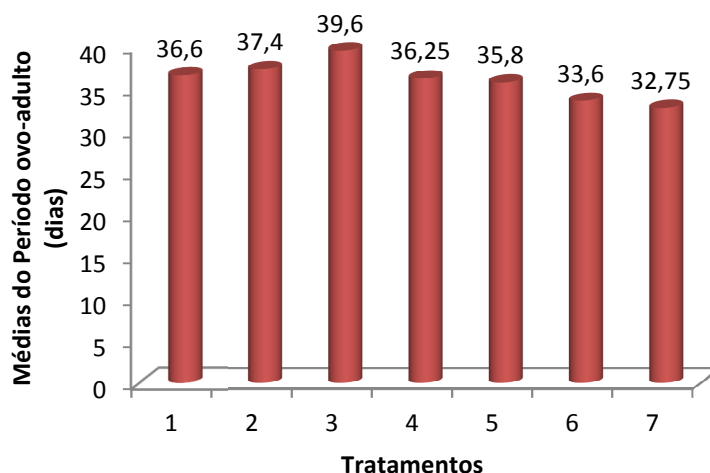
n.s.: não significativo a 5 % de probabilidade.

A radiação micro-ondas pode afetar organismos vivos em diferentes maneiras, a radiação de alta intensidade é letal, devido ao seu efeito térmico sobre os tecidos vivos (SRIPAKDEE et al., 2005). Entretanto, a radiação micro-ondas nem sempre tem efeito letal sobre larvas e seu uso pode ser direcionado para outra finalidade.

Mankin (2006) estudou a radiação de baixa energia que produziu um pequeno, mas estatisticamente significativo aumento na taxa de sons produzidos por larvas que inicialmente eram inativos. Os resultados sugerem que o superior poder das micro-ondas ou uma maior duração da exposição pode ter potencial como um tratamento para aumentar a detecção acústica na infestação de larvas de *Plodia interpunctella* e outras pragas de produtos armazenados, que são difíceis de serem detectadas por técnicas atualmente disponíveis.

Através da Figura 2, é possível observar que as médias estimadas para o período ovo-adulto dos insetos sobreviventes de *Z. subfasciatus* aos tempos de exposição a radiação micro-ondas variaram entre 32,75 - 39,60 dias.





**Figura 2** Médias do período ovo-adulto (dias) de *Zabrotes subfasciatus* expostos à radiação micro-ondas durante sua fase de larva em *Phaseolus lunatus*.

Para Fagundes, Habib e Solis (2005) diferenças intra e inter-específicas na sensibilidade e na tolerância dos indivíduos ao tratamento com micro-ondas devem-se a fatores que variam tanto em função da espécie avaliada, como em função de características de cada estágio de desenvolvimento dos insetos estudados. O aumento no tempo de exposição ao campo eletromagnético provavelmente gerou um maior aquecimento corpóreo, provocando alterações como desorganização tecidual e conseqüentemente queda no número de larvas sobreviventes de *Z. subfasciatus* após o processo.

## Conclusões

A emergência de insetos irradiados na fase de larva sofreu influência dos acessos de fava e dos tempos de exposição à radiação micro-ondas usados.

O tempo de 150 segundos de exposição a radiação micro-ondas foi o mais efetivo para o controle de larvas de *Zabrotes subfasciatus* em ambos os acessos de *Phaseolus lunatus*.

O acesso UFPI-770 apresentou uma menor média de insetos emergidos quando comparado ao acesso UFPI-769 durante os mesmos tempos de exposição à radiação micro-ondas durante a fase larval.

## Referências

BARBOSA, D. R. e S.; FONTES, L. da S. Radiação micro-ondas para o controle de pupas de *Callosobruchus maculatus* em cultivares de feijão-caupi. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v.6, n.4, p.551-556, out./dez. 2011.

BARBOSA, F. R.; YOKOYAMA, M.; PEREIRA, P. A. A.; ZIMMERMANN, F. J. P. Estabilidade da resistência a *Zabrotes subfasciatus* conferida pela proteína arcelina, em feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.5, p.895-900, mai. 2000.

BAUDOIN, J. P. Contribution des ressources phylogénétiques à la sélection variétale de légumineuses alimentaires tropicales. **Biotechnology, Agronomy, Society and Environment**, v. 5, n.4, p. 221-230, 2001.

BITENCOURT, N. V.; SILVA, G.S. Reação de genótipos de fava a *Meloidogyne incognita* e *M. enterolobii*. **Nematologia Brasileira**, Piracicaba, v.34, n. 3, 2010.

COUTO, R. R.; SANTIAGO, A. J. Radioatividade e irradiação de alimentos. **Revista Ciências Exatas e Naturais**, Guarapuava, Paraná, v.12, n. 2, p.193-215, jul./dez. 2010.

FAGUNDES, G. G. **Análise do efeito da radiação de micro-ondas sobre *Anagasta kuehniella* Zeller (1879) (Lepidoptera: Pyralidae) e seus dois agentes de controle biológico *Bracon hebetor* (Say, 1836) (Hymenoptera: Braconidae) e *Bacillus thuringiensis* var. *kurstaki* (H: 3a – 3b)**. 1998. 98f. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas) - Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Biologia, Campinas, 1998.

FAGUNDES, G. G.; HABIB, M.; SOLIS, D. R. Respostas biológicas de *Anagasta kuehniella* e de seu parasitoide, *Bracon hebetor*, à radiação por micro-ondas (2450 MHz). **Revista de Agricultura**, p.12-34, 2005.

FRANCO, J. G. **Efeitos da radiação micro-ondas nas diferentes fases do ciclo evolutivo de *Sitophilus oryzae* (Linné, 1763) Coleoptera, Curculionidae em arroz, visando o seu controle**. 2001. 45 f. Dissertação (Mestrado em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear-Aplicações) - IPEN- Autarquia associada à Universidade de São Paulo. São Paulo, 2001.

GIUNTINI, E. B.; LAJOLO, F. M.; MENEZES, E. W. de. Potencial de fibra alimentar em países ibero-americanos: alimentos, produtos e resíduos. **Archivos Latinoamericanos de Nutricion**, v. 53, n. 1, 2003.

GOSENS, A.; QUINTERO, C.; DILLEN, W.; DE RYCKEL, R.; VALOR, J. F.; DE CLERCQ, J.; VAN MONTAGU, M.; CARDONA, C.; ANGENON, G. Analysis of bruchid resistance in the wild common bean accession G02771: no evidence for insecticidal activity of arcelin 5. **Journal of Experimental Botany**, v. 51, n. 348, p. 1229-1236, jul. 2000.

GUILLOIN, F.; CHAMP, M. M. J. Carbohydrate fractions of legumes: uses in human nutrition and potential for health. **British Journal of Nutrition**, v. 88, Suppl. 3, S293–S306, 2002.

LARA, F. M. Resistance of Wild and Near Isogenic Bean Lines with Arcelin Variants to *Zabrotes subfasciatus* (Boheman). I-Winter Crop. **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, v.26, n.3, p.551-560, dez. 1997.

MANKIN, R. W. Increase in acoustic detectability of *Plodia interpunctella* larvae after low-energy Microwave radar exposure. **Florida Entomologist**, v. 89, n.3, p. 416-418, set. 2006.

MAZZONETTO, F.; VENDRAMIM, J. D. Aspectos Biológicos de *Zabrotes subfasciatus* (Boh.) (Coleoptera: Bruchidae) em Genótipos de Feijoeiro com e sem Arcelina. **Neotropical Entomology**, v. 31, n.3, p.435-439, jul./set. 2002.

OLIVEIRA, A. P.; ALVES, E. U.; ALVES, A. U.; DORNELAS, C. S. M.; SILVA, J. A.; PÔRTO, M. L.; ALVES, A.V. Produção de feijão-fava em função do uso de doses de fósforo em um Neossolo Regolítico. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 22, n. 3, p. 543-546, jul./set. 2004.

SAEG. **Sistema para Análises Estatísticas**. Viçosa, 2007. Versão 9.1, Fundação Arthur Bernardes - UFV.

SMITH, J. S.; PILLAI, S. Irradiation and Food Safety. **Food Technology**, v. 58, n. 11, p. 48-55, nov. 2004.

SOUZA, E. D. de T.; SOUZA, E. R. B. de; VELOSO, A. M.; GARCIA, A. H. Não-preferência para oviposição e alimentação de *Zabrotes subfasciatus* (BOHEMANN, 1833) (COLEOPTERA: BRUCHIDAE) em cultivares de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) portadores de arcelina. **Anais da Escola de Agronomia e Veterinária**, v. 57, n.2, p. 117-121, 1997.

SRIPAKDEE, D.; SUKONTASON, K. L.; PIANGJAI, S.; NGERNKLUN, R.; SUKONTASON, K. Effect of microwave irradiation on the blow fly *Chrysomya megacephala* (F.) (DIPTERA: CALLIPHORIDAE). **The Southeast Asian Journal of Tropical Medicine and Public Health**, v. 36 n. 4, p. 893-895, jul. 2005.

VADIVAMBAL, R.; JAYAS, D. S. Changes in quality of microwave-treated agricultural products- a review. **Biosystems Engineering**, v. 98, p. 1-16, 2007.

VADIVAMBAL, R.; JAYAS, D. S.; WHITE, N. D. G. Controlling life stages of *Tribolium castaneum* (Coleoptera: Tenebrionidae) in stored rye using microwave energy. **The Canadian Entomologist**, v. 142, n.3, p.369-377, 2010.

VADIVAMBAL, R.; JAYAS, D. S.; WHITE, N. D. G. Determination of mortality of different life stages of *Tribolium castaneum* (Coleoptera: Tenebrionidae) in stored barley using microwaves. **Journal of Economic Entomology**, v. 101, n. 3, p. 1011-1021, jun. 2008.

VALIZADEGAN, O. POURMIRZA, A. A.; SAFARALIZADEH, M. H. Combination of microwaves radiation and cold storage for control of *Oryzaephilus surinamensis* (L.) (Col. Silvanidae). **Journal of Biological Sciences**, v. 9, n.3, p. 231-236, 2009.

WANG, S.; MONZON, M.; JOHNSON, J. A.; MITCHAM, E. J., TANG, J. Industrial scale radio frequency treatments for insect control in walnuts I: Heating uniformity and energy efficiency. **Postharvest Biology and Technology**, v. 45, p. 240-246, 2007.

WANG, S-J.; TANG, J-M. Radio frequency heating: a potential method for post-harvest pest control in nuts and dry products. **Journal of Zhejiang University Science**, v. 5, n.10, p. 1169-1174, 2004.

WIENDL, F. M.; ARTHUR, V. Longevidade e reprodução de *Cryptolestes pusillus* (Schoenherr) (Col., Cucujidae) após irradiação gama. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 51, n. 2, p. 222-225, mai./ago. 1994.

ZULETA, A.; DYNER, L.; SAMBUCETTI, M. E.; FRANCISCO, A. de. Effect of gamma irradiation on the functional and nutritive properties of rice flours from different cultivars. **Cereal Chemistry**, v. 83, n. 1, p. 76-79, 2006.

## 6 CAPÍTULO III

### **Radiação micro-ondas em pupas de *Zabrotes subfasciatus* visando seu controle em *Phaseolus lunatus*<sup>1</sup>**

### **Microwave radiation in *Zabrotes subfasciatus* pupae as method of control in *Phaseolus lunatus***

Kelly Mayara Silva da Paz Santos<sup>2\*</sup>; Lúcia da Silva Fontes<sup>3</sup>

#### **Resumo**

Desinfestação dos grãos usando micro-ondas constitui uma alternativa para o controle do inseto, pois não deixa resíduos químicos. O objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos da radiação micro-ondas em pupas de *Zabrotes subfasciatus* (Boh., 1833) nos acessos de fava UFPI-769 e UFPI-770 e determinar a influência dos acessos sobre o inseto. Foi utilizado um forno comercial para a irradiação, com frequência de 2.450 MHz, rendimento de potência de 1115 W, sendo utilizado em baixa potência (10 %). Adotou-se o delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2 (acessos de fava) x 5 (tempos de exposição à radiação micro-ondas: 0 (controle), 60, 90, 120 e 150 segundos), com 5 repetições. Observou-se um número menor de insetos emergidos após uma exposição mais longa das pupas de *Z. subfasciatus* à radiação micro-ondas. Os tempos de exposição de 90, 120 e 150 segundos foram os que produziram uma menor emergência do inseto e os acessos UFPI-769 e UFPI-770 não apresentaram qualquer tipo de resistência ao ataque do inseto.

**Palavras-chave:** caruncho, irradiação, método alternativo, grãos armazenados.

#### **Abstract**

Disinfestation of grains using microwaves is an alternative for insect control because it does not leave chemical residues. The objective of this study was to evaluate the effects of microwave radiation on *Zabrotes subfasciatus* pupae (Boh., 1833) in the lima bean samples UFPI-769 and UFPI-770 and the influence of samples on the insect. We used a commercial microwave oven for irradiation with frequency 2450 MHz, power output of 1115 W, being used in low power (10 %). We adopted the completely randomized design in factorial 2 (bean samples) x 5 (time of exposure to microwave radiation: 0 (control), 60, 90, 120 and 150 seconds) with five replicates. There was a smaller number of insects emerged after a longer exposure of the *Z. subfasciatus* pupae to microwave radiation. The exposure times of 90, 120 and 150 seconds were the ones that produced a lower emergence of insects. The samples UFPI-769 and UFPI -770 did not show any resistance to insect attack.

**Keywords:** weevil, irradiation, alternative method, stored grain.

---

\*autor para correspondência

<sup>1</sup> Parte de dissertação de mestrado do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Produção Vegetal, CCA/UFPI.

<sup>2</sup> Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal – PPGA, Centro de Ciências Agrárias – CCA, Universidade Federal do Piauí – UFPI, Campus de Socopo, Teresina – PI, CEP 64000-000. E-mail: kellymsps@hotmail.com

<sup>3</sup> Bióloga, Doutora e professora do Departamento de Biologia da Universidade Federal do Piauí (UFPI), Campus Universitário Ministro Petrônio Portela, Bloco 01-Bairro Ininga. E-mail: lsfontes@uol.com.br

## Introdução

A espécie *Phaseolus luanthus* L., pertencente à família Fabaceae, é conhecida como feijão fava, feijão-lima, feijão-de-lima, fava-de-lima ou simplesmente fava. É cultivada nas Américas do Norte e do Sul, na Europa, no leste e oeste da África e no sudeste da Ásia (OLIVEIRA et al., 2004; OLIVEIRA; TORRES; BEBEDITO, 2011).

O cultivo da fava é mais prático para os agricultores do que o plantio de *Phaseolus vulgaris*, pois se apresenta como uma cultura fácil de conduzir, adaptada a diferentes solos e climas (FONSECA; CASTRO, 1983), possuindo um elevado potencial agrônômico sobre condições adversas. Ancona et al. (2001) afirmam que a leguminosa “bebê feijão-lima” (*Phaseolus lunatus*), cultivada na região do Pacífico México contém uma alta porcentagem de amido e proteína. No Brasil, a fava constitui uma cultura de relevante importância social, representando fonte de proteínas para pequenos agricultores, além de atingir relativa importância econômica em alguns Estados (SILVA, 2006), incluindo o Piauí.

O inseto *Zabrotes subfasciatus* destaca-se pelas perdas ocasionadas por seu ataque a grãos do gênero *Phaseolus* durante o armazenamento. Os grãos servem de substrato para oviposição da fêmea e alimento para larvas. Conforme Souza et al. (2008) com a perfuração causada pelos insetos, os grãos adquirem sabor desagradável e têm seu valor comercial reduzido.

Conforme Mantilla et al. (2010) o uso de irradiação para preservar alimentos é um método eficaz e aconselhável, de acordo com várias evidências científicas. Grupos internacionais de cientistas estudaram este processo extensivamente e concluíram que a irradiação com doses recomendadas não é prejudicial. A irradiação de alimentos é um tratamento físico que consiste na exposição dos alimentos, já embalados ou a granel, a uma fonte de radiação ionizante (raios X, raios gama e elétrons acelerados), durante o tempo necessário para se obter as alterações desejáveis, tais como a inibição de brotamentos, eliminação de micro-organismos patogênicos, esterilização, desinfecção de grãos, cereais, frutas e especiarias (COUTO; SANTIAGO, 2010).

Segundo Ornellas et al. (2006) estudos de atitude e testes de compra demonstram que, quando é oferecida a oportunidade, os consumidores aceitam os alimentos irradiados. Os consumidores estão cada vez mais exigentes em relação à escolha de seus alimentos, e têm demonstrado grande interesse em conhecer novas tecnologias. Muitos deles estão propensos a comprar alimentos obtidos ou tratados por métodos alternativos.

Segundo Vadivambal e Jayas (2007) o uso de processos em larga escala de micro-ondas é crescente, melhorias recentes no projeto de fornos de micro-ondas de alta potência reduziram os custos de fabricação dos equipamentos e tendências em custos de energia elétrica oferecem um potencial significativo para o desenvolvimento de novos e melhorados processos industriais de micro-ondas.

A utilização da radiação micro-ondas é um método viável que tem potencial como um tratamento não químico alternativo. E com pesquisas futuras pode ser usada sob operações de larga escala

(KARABULUT; BAYKAL, 2002). É uma técnica alternativa que pode ser amplamente aplicada na produção de alimentos e na proteção dos cereais contra pragas (WARCHALEWSKI; GRALIK, 2010).

O presente trabalho foi desenvolvido com o objetivo de determinar através do uso de um aparelho comercial, um tempo de exposição à radiação micro-ondas letal para pupas do caruncho *Zabrotes subfasciatus* nos acessos de fava UFPI-769 e UFPI-770 e determinar a influência dos acessos ao ataque do inseto.

## Material e Métodos

O trabalho foi conduzido no Laboratório de Entomologia, Departamento de Biologia, Centro de Ciências da Natureza da Universidade Federal do Piauí. Para a instalação do experimento foram utilizados insetos da espécie *Zabrotes subfasciatus* (Boh., 1833), provenientes da criação estoque mantida no próprio laboratório, em recipientes de plásticos fechado de 1L com tampas plásticas perfuradas, a fim de permitir as trocas gasosas, sob temperatura de  $28 \pm 1$  °C e  $70 \pm 20$  % de umidade relativa em sala climatizada.

Para realização do experimento, o substrato utilizado foi a fava (*Phaseolus lunatus*), acessos UFPI-769 (Boca de Moça) e UFPI-770 (Branca), procedentes do Banco de Germoplasma da Universidade Federal do Piauí.

Para que não houvesse interferência de outros insetos, que por acaso se encontrassem no interior dos grãos, estes foram mantidos em baixa temperatura ( $-5^{\circ}$  C em refrigerador) por um período de aproximadamente 30 dias, a fim de se eliminar uma possível infestação latente.

Em placas de Petri, com 100 x 15 mm, foram colocados 15 grãos correspondendo à amostra de 75 grãos por tratamento. Também se colocaram em cada placa 15 insetos de *Z. subfasciatus*, com idade de 24 horas, sem determinação do sexo e deixados por um período de 24 horas, para que realizassem a oviposição.

Para a radiação foi utilizado um forno micro-ondas comercial, com frequência de 2450 MHz, rendimento de potência de 1115 W, sendo utilizado em baixa potência (10 %), correspondendo a 111,5 W, com prato giratório, que proporciona uma melhor distribuição da temperatura na fava. A distância da fonte de radiação até a fava foi de 13 cm, com as placas de Petri dispostas de maneira circular no prato.

Após 24 horas, retiraram-se os insetos das placas de Petri. A aplicação de micro-ondas foi realizada dezoito dias após a infestação, com um intervalo de 10 minutos entre uma placa e outra, evitando assim, efeito de pré-aquecimento que interfere na mortalidade.

Adotou-se o delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2 (acessos de fava: UFPI-769 e UFPI-770) x 5 (tempos de exposição à radiação micro-ondas: 0 (testemunha), 60, 90, 120 e 150 segundos), com 5 repetições. As placas de Petri foram mantidas sobre bancadas e analisadas diariamente. Próximo à possível data da emergência dos insetos, as placas foram substituídas por copos de 200 ml com tampa, possuindo 5,5 cm de altura e 7,5 cm de diâmetro de uma borda a outra para avaliação do número de

insetos emergidos por tratamento. O período ovo-adulto também foi avaliado, sendo as observações encerradas 44 dias após a infestação.

Os dados originais foram analisados quanto à variância, pelo teste F a 5 % de probabilidade. O programa usado para a análise foi o SAEG, versão 9.1. Para o estudo de fator quantitativo, quando avaliado isoladamente, utilizou-se análise de regressão.

## Resultados e Discussão

Observando os dados expostos na Tabela 1, é possível afirmar que não existe diferença significativa entre os acessos testados de *P. lunatus* a 5 % de probabilidade, pelo teste F, quando a variável dependente em questão é o número de insetos emergidos. Assim, a emergência de *Z. subfasciatus* não foi influenciada pelos acessos. A média de insetos emergidos utilizando UFPI-769 e UFPI-770 foi 9,04 e 11,2, respectivamente. Em relação às doses de radiação usadas, existe pelo menos um contraste entre médias dos níveis deste fator, estatisticamente diferente de zero, ao nível de 1 % de probabilidade. Não houve interação entre os fatores acessos e doses. Isto significa que um não depende do outro, podendo ser estudados de forma isolada.

**Tabela 1** Análise de variância da emergência de *Zabrotes subfasciatus* expostos à radiação micro-ondas durante o estágio de pupa em *Phaseolus lunatus*.

Fontes de Variação	G. L.	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Signif.
ACESSO (ACE)	1	58.320	58.320	1.772	0.19066 n.s.
DOSE	4	2754.880	688.7200	20.927	0.00000
ACE x DOSE	4	193.6800	48.42000	1.471	0.22900 n.s.
Resíduo	40	1316.400	32.91000		

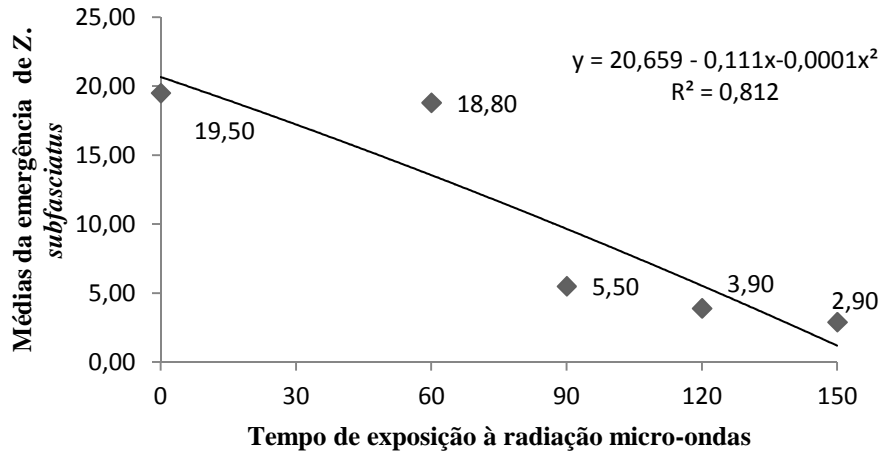
Coefficiente de Variação (%) = 56.687

n.s.: não significativo ao nível de 5 % de probabilidade.

Através da análise de regressão, concluiu-se que a equação polinomial de ordem 2 explica significativamente a variável dependente Y(emergência), ao nível de significância  $\alpha$  (Figura 1). A diminuição da emergência ocorre em função do aumento do tempo de exposição à radiação micro-ondas.

O tempo de exposição à radiação micro-ondas por 150 s apresenta a menor média de insetos emergidos quando comparada ao grupo controle e aos demais tempos testados. Sua média corresponde a 2,9 insetos emergidos. O aumento da mortalidade de pupas de *Tribolium castaneum* em função do aumento do tempo de exposição à radiação micro-ondas em centeio também foi achado por Vadivambal, Jayas e White (2010). A dose 60 s apresenta-se de forma negativa para o controle de *Z. subfasciatus* quando o processo de radiação acontece durante o estágio de pupa, visto uma média de emergência ( 18,8 insetos) muito próxima à obtida pelo grupo controle (19,5 insetos).





**Figura 1** Médias da emergência de *Zabrotes subfasciatus* expostos a micro-ondas durante seu estágio de pupa em *Phaseolus lunatus*.

Vadivambal, Jayas e White (2008) encontraram mortalidade de pupas de *Tribolium castaneum* em cevada significativamente maior em níveis mais elevados de energia. A mortalidade foi de 63, 94, e 100 %, a 200, 300 e 400 W, respectivamente, para um tempo de exposição de 56 s. Possivelmente, o uso de maiores tempos de exposição à radiação micro-ondas ou utilização de maiores níveis de energia, na presente pesquisa, também poderia alcançar a mortalidade de 100 % para pupas de *Zabrotes subfasciatus*, visto a influência da exposição à radiação micro-ondas sobre a emergência do inseto.

Watters (1976) testou a susceptibilidade de *Tribolium confusum* (Jacquelin du Val) à energia de micro-ondas a um pulso de frequência de 4000 Hz. A mortalidade variou em função do tempo de exposição e teor de umidade de trigo. Sobrevivência de pupas perto da superfície de trigo indica que o calor não foi distribuído uniformemente.

Barbosa e Fontes (2011) estudaram a eficiência da radiação para o controle de pupas de *Callosobruchus maculatus* em duas cultivares de caupi. Houve tendência dos grãos da cultivar BRS Xique-xique serem mais resistentes em relação aos da cultivar BRS Paraguaçu, pois apresentaram emergência por tratamento de 48,84 % e por grão de 48,75 %, respectivamente. Os tempos de exposição de 90, 120 e 150 segundos à radiação micro-ondas, com frequência de 2.450 MHz, rendimento de potência de 800 W e baixa potência (30 %) provocam a morte de 100 % das pupas do inseto. No tempo de 60 s a mortalidade de pupas não chegou a 100 %, mas houve redução no número de insetos emergidos por tratamento, por grão e aumento do período de desenvolvimento de ovo a adulto.

Através da literatura exposta e dos resultados apresentados neste experimento, é possível afirmar que pupas de *Z. subfasciatus* podem ser erradicadas ou controladas com níveis relativamente baixos de irradiação micro-ondas.

As médias estimadas para a dependência do período ovo-adulto do *Z. subfasciatus* em cada tratamento não diferiram significativamente ao nível de 5 % de probabilidade, pelo teste F (Tabela 2). Nesta análise foram considerados dez tratamentos (combinação dos acessos de fava e tempos de exposição a micro-

ondas), contudo, na realização deste experimento várias repetições não apresentaram sobreviventes depois que as pupas foram expostas à radiação micro-ondas para que pudesse se observar o período ovo-adulto.

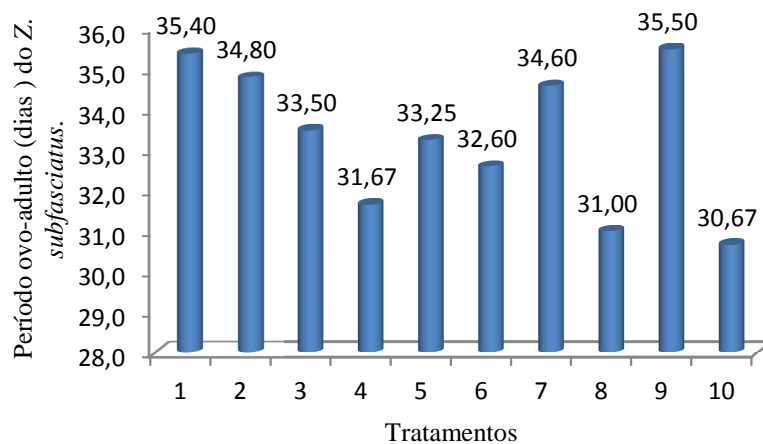
**Tabela 2** Análise de variância do período ovo-adulto (dias) de *Zabrotes subfasciatus* expostos à radiação micro-ondas durante a fase de pupa em *Phaseolus lunatus*.

Fontes de Variação	G. L.	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Signif.
TRATAMENTOS	9	118.1213	13.12459	0.898	n.s.
Resíduo	33	482.4833	14.62071		

Coeficiente de Variação (%) = 11.434

n.s.: não significativo ao nível de 5 % de probabilidade.

Na Figura 2 é possível observar que o ciclo biológico do inseto variou entre 30,67 a 35,5 dias. A quantidade de insetos sobreviventes por repetição, o número de repetições descartadas por ausência de insetos e a exposição à radiação micro-ondas podem ter interferido na média do período ovo-adulto (em dias) de cada tratamento em questão. O aumento na duração em dias do ciclo influencia a quantidade de geração do inseto por ano, quanto mais dias acrescentados ao período ovo-adulto menos gerações podem ocorrer.



**Figura 2** Médias do período ovo-adulto (em dias) de *Zabrotes subfasciatus* expostos à radiação micro-ondas durante a fase de pupa em *Phaseolus lunatus*.

## Conclusões

O número de insetos emergidos foi significativamente menor após uma exposição mais longa das pupas de *Z. subfasciatus* à radiação micro-ondas.

Os tempos de exposição de 90, 120 e 150 segundos à radiação micro-ondas produziram uma menor emergência de *Z. subfasciatus* dentre os tempos testados, o que significa uma atuação efetiva no controle durante a fase de pupa.

Os acessos UFPI-769 e UFPI-770 não apresentaram qualquer tipo de resistência ao ataque do inseto.

## Referências

ANCONA, D. A. B.; GUERRERO, L. A. C.; MATOS, R. I.C.; ORTIZ, G. D. Physicochemical and functional characterization of baby lima bean (*Phaseolus lunatus*) starch. **Starch/Stärke**, v. 53, p. 219-226, 2001.

BARBOSA, D. R. e S.; FONTES, L. da S. Radiação micro-ondas para o controle de pupas de *Callosobruchus maculatus* em cultivares de feijão-caupi. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v.6, n.4, p.551-556, out./dez. 2011.

COUTO, R. R.; SANTIAGO, A. J. Radioatividade e Irradiação de Alimentos. **Revista Ciências Exatas e Naturais**, v.12, n. 2, jul./dez. 2010.

FONSECA, J. R.; CASTRO, T. de A. P. e. **Coleta de germoplasma de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), feijão de fava (*Phaseolus lunatus*) e caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp.) no Estado de Goiás, e algumas considerações sobre os seus cultivos**. Goiânia: Goiás, Embrapa, 1983. (EMBRAPA–CNPAP. Documentos, 6).

KARABULUT, O. A.; BAYKAL, N. Evaluation of the use of microwave power for the control of postharvest diseases of peaches. **Postharvest Biology and Technology**, v.26, p.237-240, 2002.

MANTILLA, S. P. S.; SANTOS, E. B.; VITAL, H. de C.; MANO, S. B.; FRANCO, R. M. Atmosfera modificada e irradiação: Métodos combinados de conservação e inocuidade alimentar. **Revista Científica Eletrônica de Medicina Veterinária**, Ano VIII, n.15, jul. 2010.

OLIVEIRA, A. P.; ALVES, E. U.; ALVES, A. U.; DORNELAS, C. S. M.; SILVA, J. A.; PÔRTO, M. L.; ALVES, A.V. Produção de feijão-fava em função do uso de doses de fósforo em um Neossolo Regolítico. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 22, n. 3, p. 543-546, jul./set. 2004.

OLIVEIRA, F. N. de.; TORRES, S. B.; BEBEDITO, C. P. Caracterização botânica e agrônômica de acessos de feijão fava, em Mossoró, RN. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 24, n. 1, p. 143-148, jan./mar. 2011.

ORNELLAS, C. B. D.; GONÇALVES, M. P. J.; SILVA, P. R.; MARTINS, R. T. Atitude do consumidor frente à irradiação de alimentos. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 26, n.1, p. 211-213, jan./mar. 2006.

SAEG. **Sistema para Análises Estatísticas**. Viçosa, 2007. Versão 9.1, Fundação Arthur Bernardes - UFV.

SILVA, S. J. C. da. **Deteção, caracterização molecular e diversidade genética de *Begomovirus* que infecta a fava (*Phaseolus lunatus* L.)**. 2006. 66f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Alagoas, Rio Largo, 2006.

SOUZA, G. A. de; CARVALHO, M. R. de O.; MARTINS, E. R.; GUEDES, R. N. C.; OLIVEIRA, L. O. de. Diversidade genética estimada com marcadores ISSR em populações brasileiras de *Zabrotes subfasciatus*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n.7, p.843-849, jul. 2008.

VADIVAMBAL, R.; JAYAS, D. S. Changes in quality of microwave-treated agricultural products - a review. **Biosystems Engineering**, v. 98, p. 1-16, 2007.

VADIVAMBAL, R.; JAYAS, D. S.; WHITE, N. D. G. Controlling life stages of *Tribolium castaneum* (Coleoptera: Tenebrionidae) in stored rye using microwave energy. **The Canadian Entomologist**, v. 142, n. 3, p.369-377. 2010.

VADIVAMBAL, R.; JAYAS, D. S.; WHITE, N. D. G. Determination of mortality of different life stages of *Tribolium castaneum* (Coleoptera: Tenebrionidae) in stored barley using microwaves. **Journal of Economic Entomology**, v. 101, n. 3, p. 1011-1021, jun. 2008.

WARCHALEWSKI, J. R.; GRALIK, J. Influence of microwave heating on biological activities and electrophoretic pattern of albumin fraction of wheat grain. **Cereal Chemistry**, v.87, n.1, p.35-41, jan./fev. 2010.

WATTERS, F. L. Microwave radiation for control of *Tribolium confusum* in wheat and flour. **Journal of Stored Products Research**, v.12. n.1, p. 19-25, mar. 1976.

## 7 CAPÍTULO IV

### Radiação micro-ondas em adultos de *Zabrotes subfasciatus* visando seu controle e da sua geração filial em *Phaseolus lunatus*<sup>1</sup>

### Microwave radiation in adults of *Zabrotes subfasciatus* aiming their control as well as their brood in samples of *Phaseolus lunatus*

Kelly Mayara Silva da Paz Santos<sup>2\*</sup>; Lúcia da Silva Fontes<sup>3</sup>

#### Resumo

Inseticidas geralmente são utilizados para o controle de insetos em grãos, contudo, o seu uso pode resultar em resíduos e os insetos podem eventualmente desenvolver resistência. O objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos da radiação micro-ondas em adultos de *Zabrotes subfasciatus* (Boh., 1833) e em sua geração filial nos acessos de fava UFPI-769 e UFPI-770 e determinar a influência dos acessos sobre o inseto. Foi utilizado um forno comercial para a irradiação, com frequência de 2.450 MHz, rendimento de potência de 1115 W, sendo utilizado em baixa potência (10 %). Adotou-se o delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2 (acessos de fava) x 5 (tempos de exposição à radiação micro-ondas: 0 (controle), 60, 90, 120 e 150 segundos), com 5 repetições. Observou-se que quanto maior foi o tempo de exposição à radiação micro-ondas maior foi a mortalidade dos adultos de *Z. subfasciatus* irradiados após 24 horas. Não houve influência dos acessos de fava em relação ao número de insetos emergidos. Os insetos apresentaram um período ovo-adulto (dias) maior quando o acesso usado foi o UFPI-769. A exposição à radiação micro-ondas por 60 s causou uma alteração positiva sobre o inseto, apresentando a maior média de adultos emergidos da geração filial quando comparada com todos os tempos testados. A longevidade dos adultos de *Z. subfasciatus* expostos à radiação micro-ondas não diferiu do grupo controle e também não foi influenciada por UFPI-769 e UFPI-770.

**Palavras-chave:** praga, fava, irradiação, grãos armazenados.

#### Abstract

Insecticides are commonly used to control insects in grain, however, its use may result in residues and insects eventually develop resistance. The objective of this study was to evaluate the effects of microwave radiation in adult of *Zabrotes subfasciatus* (Boh., 1833) and their brood in samples of lima bean UFPI-769 and UFPI -770 and determine the influence of the samples on the insect. We used a commercial microwave oven for irradiation with frequency 2450 MHz, power output of 1115 W being used in low power (10 %). We adopted the completely randomized design in factorial 2 (bean samples) x 5 (time of exposure to microwave radiation: 0 (control), 60, 90, 120 and 150 seconds) with five replicates. It was observed that longer time of exposure to microwave radiation increased mortality of *Z. subfasciatus* adults irradiated after 24 hours. There was no influence of the bean sample in relation to the number of emerged insects. The insects showed an egg-adult period (days) longer when sample was used UFPI-769. Exposure to microwave radiation for 60 seconds caused a positive change on the insect, with the highest average number of adults emerged from the brood when compared with all the times tested. Adult longevity of *Z. subfasciatus* exposed to microwave radiation did not differ from control group and was not influenced by UFPI-769 and UFPI-770.

**Keywords:** pest, lima bean, irradiation, stored grain.

---

\*autor para correspondência

<sup>1</sup> Parte de dissertação de mestrado do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Produção Vegetal, CCA/UFPI.

<sup>2</sup> Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal – PPGA, Centro de Ciências Agrárias – CCA, Universidade Federal do Piauí – UFPI, Campus de Socopo, Teresina – PI, CEP 64000-000. E-mail: kellymsps@hotmail.com

<sup>3</sup> Bióloga, Doutora e professora do Departamento de Biologia da Universidade Federal do Piauí (UFPI), Campus Universitário Ministro Petrônio Portela, Bloco 01-Bairro Ininga. E-mail: lsfontes@uol.com.br

## Introdução

De acordo com Santos (2008) os feijões e a fava, por proporcionarem nutrientes essenciais, são utilizados como alternativa em substituição a carnes e outros produtos proteicos pela população de baixa renda. A fava (*Phaseolus lunatus* L.), juntamente com outras plantas do gênero *Phaseolus*, tem uma relevante importância socioeconômica para uma grande parte da população brasileira (SILVA NETO, 2010).

Dentre os insetos que atacam os grãos do gênero *Phaseolus* no período de armazenamento, destaca-se o bruquídeo *Zabrotes subfasciatus* (Bohemann, 1833) (Coleoptera: Chrysomelidae: Bruchinae), que causa prejuízos devido às galerias feitas pelas larvas, destruindo os cotilédones, reduzindo o peso e o poder germinativo das sementes (BOTTEGA et al., 2012).

Conforme Ding, Jones e Weckler (2009), grãos armazenados devem ser protegidos por muitos motivos. Durante o armazenamento, os grãos perdem peso e qualidade, quando atacadas por insetos, ácaros, roedores, aves e microorganismos. Insetos, não só consomem os cereais, mas também os contamina com seus subprodutos metabólicos e partes do corpo. Grãos fortemente infestados podem ser impróprios para fins de sementes e produtos feitos a partir deles são inadequados para consumo humano.

Por muitos anos, as medidas de controle químico têm dominado os métodos para controle de pragas em grãos, mas, recentemente, mais interesse tem sido direcionado para métodos não químicos (MOURIER; POULSEN, 2000). Para Vadivambal e Jayas (2007) a segurança alimentar significa proteger o alimento de perigos ou contaminação microbiana, física (infestação na secagem) e química (ranço, escurecimento) que podem ocorrer durante todas as fases da produção de alimentos, como crescimento, processamento da colheita, transporte, distribuição e armazenamento.

De acordo com Silva e Roza (2010), no Brasil ainda não são comercializados alimentos “inteiros” irradiados, como frutas ou carnes. O que existe são ingredientes irradiados (temperos e condimentos) que podem ser encontrados em produtos industrializados como embutidos e salgadinhos. Tem sido verificada tendência crescente entre a população pelo consumo de alimentos minimamente processados ou livres de aditivos ou substâncias químicas, como os orgânicos.

A utilização de micro-ondas para matar insetos baseia-se no efeito do aquecimento dielétrico produzido no grão, que é relativamente um bom condutor de eletricidade. Uma vez que este aquecimento depende das propriedades elétricas do material, existe uma possibilidade de aquecimento seletivo vantajosa em misturas de diferentes substâncias (VADIVAMBAL; JAYAS; WHITE, 2007).

Visando um método mais eficiente de preservação do produto e redução do custo de produção, Varith et al. (2007) decidiram testar uma secagem com radiação micro-ondas combinada com ar quente para logan (*Dimocarpus longan* Lour.) descascados. Através dos resultados, concluíram que um potencial maior de energia micro-ondas pode encurtar o tempo de secagem. Assim, o tratamento demonstra ser um método eficaz para obter uma fruta com excelentes características para consumo.

Informação sobre as propriedades dielétricas de commodities e inseto-praga é necessária no desenvolvimento de tratamentos térmicos na pós-colheita para controle de insetos baseados em

radiofrequência (RF) e energia micro-ondas. Estes tipos de tratamento não deixam resíduos químicos nos produtos e podem melhorar a qualidade de preservação do alimento (WANG et al., 2003).

Desinfestação com micro-ondas parece ter um grande potencial como um método alternativo para matar insetos em grãos armazenados. Uso de aquecimento por micro-ondas e secagem já conquistou um lugar nas indústrias de alimentação e agricultura (VADIVAMBAL et al., 2010).

O presente trabalho foi conduzido visando avaliar as possíveis influências da radiação micro-ondas sobre os adultos de *Zabrotes subfasciatus* e de forma indireta sobre a emergência da geração filial e determinar a influência dos acessos sobre o inseto.

## Material e Métodos

O trabalho foi conduzido no Laboratório de Entomologia, Departamento de Biologia, Centro de Ciências da Natureza da Universidade Federal do Piauí. Para a instalação do experimento foram utilizados insetos da espécie *Zabrotes subfasciatus* (Boh., 1833), provenientes da criação estoque mantidas no próprio laboratório, em recipientes de plásticos fechado de 1L com tampas plásticas perfuradas, a fim de permitir as trocas gasosas e evitar a entrada de outros insetos, sob temperatura de  $28 \pm 1$  °C e  $70 \pm 20$  % de umidade relativa em sala climatizada.

Para realização do experimento, o substrato utilizado foi a fava (*Phaseolus lunatus*), acessos UFPI-769 (Boca de Moça) e UFPI-770 (Branca), procedentes do Banco de Germoplasma da Universidade Federal do Piauí.

Para que não houvesse interferência de outros insetos, que por acaso se encontrassem no interior dos grãos, estes foram mantidos em baixa temperatura (-5 °C em refrigerador) por um período de aproximadamente 30 dias, a fim de se eliminar uma possível infestação latente.

Em placas de Petri, com 100 x 15 mm foram colocados três grãos de fava e 15 insetos de *Z. subfasciatus*, com idade de 24 horas, sem determinação do sexo e deixados por um período de 24 horas, para que pudessem se adaptar. Após a adaptação, os três grãos de cada placa foram substituídos por 15 grãos, correspondendo à amostra de 75 grãos por tratamento. A aplicação única da radiação micro-ondas sobre os adultos foi realizada imediatamente após a substituição dos grãos, com um intervalo de 10 minutos entre uma placa e outra, evitando assim, efeito de pré-aquecimento que interfere na mortalidade. Os adultos expostos à radiação micro-ondas foram colocados em copos plásticos de 100 ml correspondente a sua devida repetição dentro do tratamento para observar sua longevidade.

Para a radiação foi utilizado um forno micro-ondas comercial, com frequência de 2450 MHz, rendimento de potência de 1115 W, sendo utilizado em baixa potência (10 %), correspondendo a 111,5 W, com prato giratório, que proporciona uma melhor distribuição da temperatura na fava. A distância da fonte de radiação até a fava foi de 13 cm, com as placas de Petri dispostas de maneira circular no prato.

Adotou-se o delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2 (acessos de fava: UFPI-769 e UFPI-770) x 5 tempos de exposição à radiação micro-ondas: ( 0 (testemunha), 60, 90, 120 e 150 segundos), com cinco repetições. As placas de Petri foram mantidas sobre bancadas e analisadas diariamente. Próximo à possível data da emergência dos insetos, as placas foram substituídas por copos de 200 ml com tampa, possuindo 5,5 cm de altura e 7,5 cm de diâmetro de uma borda a outra para avaliação do número de insetos emergidos por tratamento. O período ovo-adulto também foi avaliado, sendo as observações encerradas 44 dias após a infestação.

Os dados originais foram analisados quanto à variância, pelo teste F a 5 % de probabilidade. O programa usado para a análise foi o SAEG, versão 9.1. Para o estudo de fator quantitativo, quando avaliado isoladamente, utilizou-se análise de regressão.

## Resultados e Discussão

Não houve diferença significativa entre os acessos de fava testados para a variável dependente mortalidade (Tabela 1), o comportamento do UFPI-769 é estatisticamente igual ao UFPI-770. A média estimada de adultos da espécie *Z. subfasciatus* mortos logo após a irradiação em um período de 24 h foi para UFPI-769 e UFPI-770 de 1,52 e 1,76, respectivamente.

**Tabela 1** Análise de variância correspondente à mortalidade dos adultos de *Zabrotes subfasciatus* 24 horas após exposição a micro-ondas em *Phaseolus lunatus*.

Fontes de Variação	G. L.	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Signif.
ACESSO (ACE)	1	0.72	0.72	0.200	ns
DOSE	4	68.92	17.23	4.786	0.00300
ACE x DOSE	4	17.88	4.47	1.242	0.30886
Resíduo	40	144.00	3.60		

Coefficiente de Variação (%) = 115.693

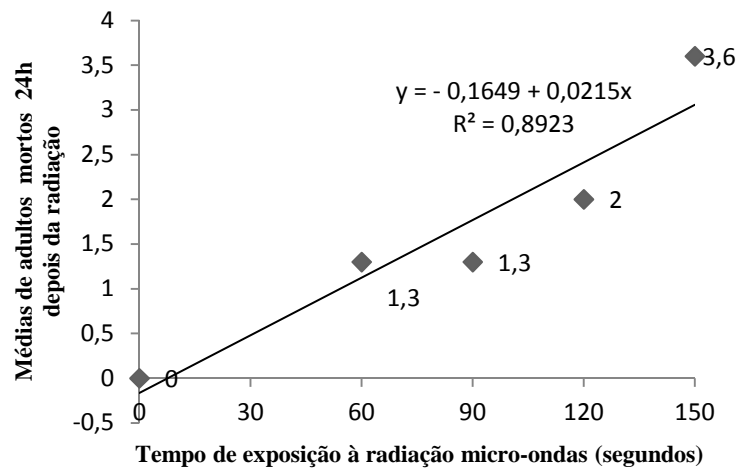
n.s.: não significativo ao nível de 5 % de probabilidade.

Ainda de acordo com a Tabela 1, observa-se que existe pelo menos um contraste entre médias dos níveis do fator dose, estatisticamente diferente de zero, ao nível de 1 % de probabilidade para variável dependente mortalidade. Não existe interação entre os fatores acessos e doses, ao nível de 5 % de probabilidade. Isto significa que o comportamento de um fator não depende dos níveis do outro fator, portanto, independentes.

Após a análise de regressão concluiu-se que a mortalidade dos adultos de *Z. subfasciatus* acendeu de forma linear com o aumento do tempo de exposição à radiação micro-ondas (Figura 1), ou seja, quanto maior foi a dose em segundos utilizada, maior foi o número de insetos mortos para o mesmo período de 24 horas, demonstrando uma relação positiva entre o tempo de exposição e a mortalidade. Neste caso, o tempo de



exposição 150 s à radiação micro-ondas foi a mais eficaz entre as doses testadas com mortalidade média de 3,6 adultos no período de 24 horas após o processo.



**Figura 1** Médias do número de adultos de *Zabrotes subfasciatus* mortos após serem expostos à radiação micro-ondas, no período de 24 horas, em *Phaseolus lunatus*.

O resultado obtido no presente trabalho se assemelha ao encontrado por Barbosa (2010), os efeitos na mortalidade dos insetos de *Callosobruchus maculatus* através da aplicação de radiação micro-ondas foram incrementados com um maior tempo de exposição. De acordo com Fagundes (1998) com o aumento do tempo de exposição à radiação, o material biológico é submetido a uma maior exposição ao campo eletromagnético e conseqüentemente a um maior aquecimento chegando progressivamente mais perto da faixa de aquecimento corpóreo letal, resultando em aumentos no nível de mortalidade.

Vadivambal, Jayas e White (2008) determinaram a mortalidade de diferentes estágios de vida de *T. castaneum* em cevada. O estágio adulto de *T. castaneum* foi o menos susceptível a energia de micro-ondas. Hassan, Hörsten e Lücke (2010) aplicando energia micro-ondas sobre *Sitophilus zeamais* e Valizadegan, Pourmirza e Safaralizadeh (2011) testando micro-ondas como método de controle ao *Oryzaephilus surinamensis* (L.) e *Lasioderma serricorne* (F.) também obtiveram em seus resultados uma mortalidade maior para adultos irradiados em função de um maior tempo de exposição.

Ainda de acordo com a Figura 2, a média de adultos mortos em 24 horas após o tempo de exposição por 60 e 90 s foi igual, correspondendo a 1,3 e a 120 s foi 2,0 insetos. O grupo controle para o mesmo período não apresentou mortalidade de insetos. A baixa taxa de mortalidade pode possivelmente ser explicada pela relação da quantidade de água encontrada no corpo do inseto e a radiação micro-ondas, ou seja, neste estágio do ciclo biológico a quantidade de água presente em um adulto é menor que na fase de ovo ou larva. As micro-ondas são transmitidas como ondas que penetram no material, sendo absorvidas e convertidas em calor. A fricção molecular das moléculas de água produz calor e vai depender do teor de umidade no inseto.

Pode-se observar no presente trabalho que embora a maioria dos adultos irradiados não tenha morrido nas 24 horas após a exposição à radiação, alguns perderam a capacidade locomotora e ficaram assim até sua morte. Isto aconteceu sobre a influência de 120 e 150 s, independente do acesso de fava testado. No tempo de exposição a micro-ondas de 60 s ocorreu o inverso, pois na tentativa de dissipar o calor recebido,

os adultos se locomoveram sem direção nas placas de Petri de forma vigorosa. Observou-se também uma alteração no formato de alguns ovos colocados por fêmeas expostas à radiação micro-ondas por 60 e 90 s que apesar de deformados, é possível afirmar que os embriões passaram para a fase de larva.

Resultado parecido foi encontrado por Fagundes, Habib e Solis (2005); os adultos de *Anagasta kuehniella* apresentaram alterações comportamentais durante difentes tempos de exposição à micro-ondas. Durante o processo de irradiação apresentaram uma intensificação progressiva no batimento de asas, além de movimentação intensa e não direcionada / aleatória pela superfície da placa de Petri. O estresse provocado pelo aquecimento levou algumas fêmeas a colocarem ovos precocemente na placa durante o processo de irradiação.

Halverson et al. (1996) analisaram a mortalidade de adultos de *Sitophilus zeamais* e *Tribolium castaneum* quando expostos à radiação micro-ondas. Durante o primeiro teste, os efeitos da exposição sobre a maioria dos adultos de ambas as espécies foram instantâneos. Cessaçãõ imediata do movimento de todos os indivíduos foi observada antes de atingir a temperatura máxima para todos os níveis de exposição.

Vadivambal, Jayas e White (2007) testaram a desinfestação de trigo utilizando um aparelho micro-ondas a 2,45 GHz. As amostras de trigo foram expostas a energia micro-ondas em quatro níveis de potência (250, 300, 400 e 500 W) e dois tempos de exposição de 28 e 56 s. A mortalidade de todos os adultos das espécies *Tribolium castaneum* (Herbst), *Cryptolestes ferrugineus* (Stephens) e *Sitophilus granarius* (L.) foi conseguida a 500 W com um tempo de exposição de 28 s. À medida que a potência foi aumentada, a mortalidade dos insetos dessas espécies também aumentou. Com o tempo de exposição mais alto, uma maior mortalidade foi obtida em potências mais baixas de energia. Com base nos resultados os autores concluíram que não houve diferença significativa na qualidade da proteína dos grãos, na proteína da farinha, no rendimento da farinha e no pão com volume de trigo tratado com energia de micro-ondas.

Não houve diferença significativa entre os acessos de fava ao nível de 5 % de probabilidade, pelo teste F, em relação ao número de insetos emergidos (Tabela 2). Neste caso, a emergência da geração filial não foi influenciada por nenhuma das favas testadas. O comportamento do acesso UFPI-769 é estatisticamente igual ao UFPI-770. A média estimada de adultos emergidos foi 35,32 e 36,88, para UFPI-769 e UFPI-770, respectivamente.

**Tabela 2** Análise de variância referente à emergência de *Zabrotes subfasciatus*, provenientes de adultos expostos a micro-ondas em *Phaseolus lunatus*.

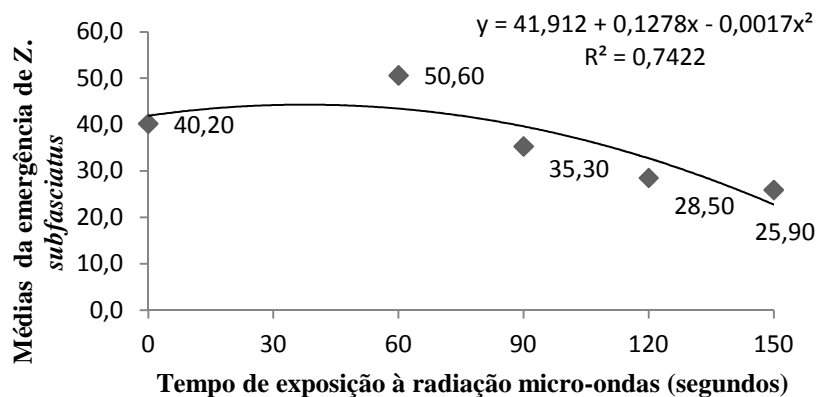
Fontes de Variação	G. L.	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Signif.
ACESSO (ACE)	1	30,92	0,122	0,122	n.s.
DOSE	4	3895,00	973,75	3,906	0,00906
ACE x DOSE	4	1974,28	493,57	1,980	0,11617
Resíduo	40	9972,80	249,32		

Coefficiente de Variação (%) = 43,739

n.s.: não significativo ao nível de 5 % de probabilidade.

Existe pelo menos um contraste entre médias dos níveis do fator dose, estatisticamente diferente de zero, ao nível de 1 % de probabilidade para variável dependente emergência. Não houve interação entre os fatores acesso e dose. Isto significa que o comportamento de um fator não depende dos níveis do outro fator, portanto, independentes.

Após a análise de regressão concluiu-se que uma equação quadrática é a que melhor explica significativamente a influência do tempo de exposição à radiação micro-ondas sobre a emergência da geração filial de *Zabrotes subfasciatus* (Figura 2). Com exceção da dose 60 s, quanto maior foi o tempo de exposição à radiação micro-ondas menor foi à emergência de insetos quando comparada a emergência do grupo controle.



**Figura 2** Médias da emergência de *Zabrotes subfasciatus* (geração filial), provenientes de adultos expostos a micro-ondas em *Phaseolus lunatus*.

A exposição à radiação micro-ondas durante 150 s promoveu uma média de emergência da geração filial igual a 25,9 insetos e menor que a média (50,6 insetos) alcançada em 60 s. As médias da emergência no tempo de exposição 90 e 120 s, sob as mesmas condições foram 35,3 e 28,5 insetos, respectivamente. A variação das médias de emergência pode estar relacionada aos efeitos indiretos sobre a geração filial causado pelos diferentes tempos de exposição aos qual a geração parental foi submetida. Embora não deletérias, podem ter causados alterações fisiológicas e bioquímicas importantes para o desenvolvimento de uma prole saudável.

A média de emergência estimada para o grupo controle foi de 40,2 insetos e mesmo assim foi menor que a média apresentada na dose 60 s. A explicação para o fato pode ser uma alteração positiva para o inseto ocasionada pela exposição à radiação, pois há citações na literatura sobre o aumento da longevidade, no número de insetos emergidos e da resistência da geração filial. Franco (2001) explica que este resultado provavelmente está relacionado a radioestimulação que faz parte de uma área de estudos denominada "Hormese", definida como sendo a estimulação positiva de um sistema biológico por quantidades subdanosas de qualquer agente físico, químico ou biológico.

Em geral, na pesquisa feita por Fagundes, Habib e Solis (2005) os tratamentos com radiação micro-ondas produziram efeitos crônicos nos adultos da *Anagasta kuehniella*, praga secundária característica de ambientes de armazenagem, que levaram a uma redução em pelo menos 50 % no número de ovos obtidos,

quando comparado ao obtido para o grupo testemunha. Em relação a emergência de uma geração filial oriunda de adultos irradiados, verificou-se que a radiação não interferiu na capacidade de eclosão de larvas.

Fagundes (1998) observou, em relação ao impacto na capacidade reprodutiva, variações no número médio de ovos/fêmea de *Anagasta kuehniella*, entre diversos tratamentos de exposição à radiação micro-ondas. Mesmo as exposições aos tempos subletais (20 e 22 segundos) chegaram a diminuir o número médio de ovos por fêmea cerca de, no mínimo, 2 vezes. Este trabalho difere da presente pesquisa, visto que o número de ovos viáveis ovipositados por fêmeas de *Z. subfasciatus* expostas a radiação micro-ondas por 60, 90, 120 e 150 segundos foi muito próximo ao número de ovos colocados por fêmeas do grupo controle.

Existe diferença significativa entre os acessos UFPI-769 e UFPI-770, ao nível de 5 % de probabilidade, pelo teste F (Tabela 3). Neste caso, o ciclo biológico do *Zabrotes subfasciatus* sofreu influência dos acessos testados. O melhor dentre os usados foi o UFPI-769 com insetos apresentando uma média de período ovo-adulto estimado em 35,32 dias, o que significa que quanto maior o ciclo do inseto menos será o número de gerações durante o ano. O acesso UFPI-770 apresentou insetos com período ovo-adulto médio estimado em 33,64 dias.

Ainda de acordo com a Tabela 3 não houve diferença significativa entre os níveis do fator dose, ao nível de 5 % de probabilidade, pelo teste F. Os tempos de exposição em segundos à radiação micro-ondas 0, 60, 90, 120 e 150 são estatisticamente iguais e não influenciaram no período ovo-adulto da geração filial de *Z. subfasciatus*. As médias do período ovo-adulto do grupo controle, 60, 90, 120 e 150 s foram 34,4; 34,6; 36,0; 33,3 e 34,1, respectivamente. Não existe interação entre os acessos e os tempos de exposição a micro-ondas (0, 60, 90, 120 e 150). Por isso, pode se estudar de forma isolada o efeito deles sobre o ciclo biológico do inseto.

**Tabela 3** Análise de variância referente ao período ovo-adulto (dias) da geração filial proveniente de adultos de *Zabrotes subfasciatus* expostos a micro-ondas em *Phaseolus lunatus*.

Fontes de Variação	G. L.	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Signif.
ACESSO (ACE)	1	35.28	35.28	4.717	0.03586
DOSE	4	38.68	9.67	1.293	0.28915 n.s.
ACE x DOSE	4	9.32	2.33	0.311	n.s.
Resíduo	40	299.20	7.48		

Coeficiente de Variação (%) = 7.932

n.s.: não significativo ao nível de 5 % de probabilidade.

Barbosa (2010) determinou, através do uso de um aparelho comercial, os efeitos da exposição à radiação micro-ondas em insetos adultos do caruncho *Callosobruchus maculatus* e em sua geração filial nas cultivares de feijão-caupi BRS Paraguaçu e BRS Xique-xique e avaliou-as quanto à resistência. Nas duas cultivares de feijão-caupi, observou-se um aumento do período médio ovo-adulto no tempo de 90 segundos de radiação micro-ondas em relação ao tratamento testemunha e no tempo de 60 segundos, esse aumento foi de 4,66 e 4,24 % para as cultivares BRS Paraguaçu e BRS Xique-xique, respectivamente. Os tempos de 0 e 60 segundos foram significativamente diferentes entre as cultivares, com a cultivar BRS Paraguaçu

apresentando, em média, um período ovo-adulto 5,06 % menor que a cultivar BRS Xique-xique em relação a estes tratamentos. Concluiu que a cultivar BRS Xique-xique foi mais resistente que a cultivar BRS Paraguaçu por apresentar um período ovo-adulto maior.

**Tabela 4** Análise de variância correspondente à longevidade dos adultos de *Zabrotes subfasciatus* expostos à radiação micro-ondas em *Phaseolus lunatus*.

Fontes de Variação	G. L.	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Signif.
ACESSO (ACE)	1	0.72	0.72 ns	0.045	ns
DOSE	4	25.48	6.37 ns	0.398	ns
ACE x DOSE	4	69.88	17.47 ns	1.091	0.37399
Resíduo	40	640.40	16.01		

Coefficiente de Variação (%) = 27.56  
ns – não significativo pelo teste F

A longevidade (Tabela 4) dos adultos de *Z. subfasciatus* expostos a diferentes tempos de radiação micro-ondas não diferiu do grupo controle e também não foi influenciada pelos dois acessos de fava em estudo. Não houve interação entre os fatores acesso e dose. Isto significa que o comportamento de um fator não depende dos níveis do outro fator, portanto, independentes. A longevidade varia de acordo com a espécie e na presente pesquisa, o adulto de *Zabrotes subfasciatus* teve uma longevidade média entre 12,2 e 17,2 dias.

Este resultado difere do encontrado por Fagundes (1998), em seu estudo sobre a influência da radiação micro-ondas sobre *Anagasta kuehniella* as exposições a micro-ondas conferiram, através de danos fisiológicos, uma longevidade significativamente menor aos adultos em relação à testemunha. Já no estudo feito por Fagundes, Habib e Solis (2005) no caso dos machos de *Anagasta kuehniella*, a longevidade não diferiu significativamente entre os tratamentos com radiação, mas foi significativamente inferior à obtida para o grupo testemunha.

## Conclusões

Quanto maior foi o tempo de exposição à radiação micro-ondas maior foi à mortalidade dos adultos de *Z. subfasciatus* irradiados após 24 horas.

Não houve influência dos acessos de fava em relação ao número de insetos emergidos.

Os insetos apresentaram um período ovo-adulto (dias) maior quando o acesso usado foi o UFPI-769.

A exposição à radiação micro-ondas por 60 s causou uma alteração positiva sobre o inseto, apresentando a maior média de adultos emergidos da geração filial quando comparada com todos os tempos testados.

A longevidade dos adultos de *Z. subfasciatus* expostos à radiação micro-ondas não diferiu do grupo controle e também não foi influenciada por UFPI-769 e UFPI-770.

## Referências

- BARBOSA, D. R. e S. **Efeitos da radiação micro-ondas nas diferentes fases do ciclo evolutivo de *Callosobruchus maculatus* (Fabr., 1775) (Coleoptera: Bruchidae) visando seu controle em feijão-caupi**. 2010, 89 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2010.
- BOTTEGA, D. B.; RODRIGUES, C. A.; JESUS, F. G. de; SILVA, A. G. da; PEIXOTO, N. Resistência de genótipos de feijão-vagem ao ataque de bruquíneos, em condições de laboratório. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 25, n. 1, p. 92-97, jan./mar. 2012.
- DING, F.; JONES, C. L.; WECKLER, P. RF / microwave technology application for identification of stored-grain insects under electric fields. **Sensory and Instrumentation for Food Quality**, v. 3, p. 227-238, 2009.
- FAGUNDES, G. G. **Análise do efeito da radiação de micro-ondas sobre *Anagasta kuhniella* Zeller (1879) (Lepidoptera: Pyralidae) e seus dois agentes de controle biológico *Bracon hebetor* (Say, 1836) (Hymenoptera: Braconidae) e *Bacillus thuringiensis* var. *kurstaki* (H: 3a – 3b)**, 1998. 98f. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas) - Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Biologia, Campinas, 1998.
- FAGUNDES, G. G.; HABIB, M.; SOLIS, D. R. Respostas biológicas de *Anagasta kuehniella* e de seu parasitoide, *Bracon hebetor*, à radiação por micro-ondas (2450 MHz). **Revista de Agricultura**, p.12-34, 2005.
- FRANCO, J. G. **Efeitos da radiação micro-ondas nas diferentes fases do ciclo evolutivo de *Sitophilus oryzae* (Linné, 1763) Coleoptera, Curculionidae em arroz, visando o seu controle**. 2001. 45 f. Dissertação (Mestrado em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear-Aplicações) - IPEN- Autarquia associada à Universidade de São Paulo. São Paulo, 2001.
- HALVERSON, S. L.; BURKHOLDER, W. E.; BIGELOW, T. S.; NORDHEIM, E. V.; MISENHEIMER, M. E. High-power microwave radiation as an alternative insect control method for stored products. **Journal of Economic Entomology**, v. 89, n. 6, p. 1638-1648, 1996.
- HASSAN, A.; HÖRSTEN, D. von; LÜCKE, W. Application of microwave energy to control maize weevil (*Sitophilus zeamais*) in maize grains (*Zea Mays*). **Tropentag**, Zurich, p. 14-16, set. 2010.
- MOURIER, H; POULSEN, K. P. Control of insects and mites in grain using a high temperature/short time (HTST) technique. **Journal of Stored Products Research**, v.36, p. 309-318, 2000.
- SAEG. **Sistema para Análises Estatísticas**. Viçosa, 2007. Versão 9.1, Fundação Arthur Bernardes - UFV.
- SANTOS, J. O. **Divergência genética em feijão-fava (*Phaseolus lunatus* L.)**. 2008. 97 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2008.

- SILVA, A. L. F. da; ROZA, C. R. da. Uso da irradiação em alimentos: revisão. **Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos**, Curitiba, v. 28, n. 1, p. 49-56, jan./jun. 2010.
- SILVA NETO, J. R. da. **Caracterização morfo-agronômica e avaliação da resistência em acessos de fava ao mosaico dourado e à antracnose**. 2010. 93f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal e Proteção de Plantas) - Universidade Federal de Alagoas, Rio Largo, 2010. 93 f.
- VADIVAMBAL, R.; JAYAS, D. S. Changes in quality of microwave-treated agricultural products—a review. **Biosystems Engineering**, v. 98, p. 1-16, 2007.
- VADIVAMBAL, R.; JAYAS, D. S.; WHITE, N. D. G. Determination of mortality of different life stages of *Tribolium castaneum* (Coleoptera: Tenebrionidae) in stored barley using microwaves. **Journal of Economic Entomology**, v. 101, n. 3, p. 1011-1021, jun. 2008.
- VADIVAMBAL, R.; JAYAS, D. S.; WHITE, N. D. G. Wheat disinfestation using microwave energy. **Journal of Stored Products Research**, v. 43, p. 508-514, 2007.
- VADIVAMBAL, R.; DEJI, O. F.; JAYAS, D.S.; WHITE, N. D. G. Disinfestation of stored corn using microwave energy. **Agriculture and Biology Journal of North America**, v. 1, n.1, p.18-26, 2010.
- VALIZADEGAN, O.; POURMIRZA, A. A.; SAFARALIZADEH, M. H. The impact of microwaves irradiation and temperature manipulation for control of stored-products insects. **African Journal of Biotechnology**, v.10, n. 61, p. 13256-13262, out. 2011.
- VARITH, J.; DIJKANARUKKUL, P.; ACHARIYAVIRIYA, A.; ACHARIYAVIRIYA, S. Combined microwave-hot air drying of peeled longan. **Journal of Food Engineering**, v.81, p. 459-468, 2007.
- WANG, S.; TANG, J.; JOHNSON, J.A.; MITCHAM, E.; HANSEN, J. D.; HALLMAN, G.; DRAKE, S. R.; WANG, Y. Dielectric properties of fruits and insect pests as related to radio frequency and microwave treatments. **Biosystems Engineering**, v. 85, n. 2, p. 201-212, 2003.

## 8 CONCLUSÕES GERAIS

De um modo geral os acessos de fava UFPI-769 e UFPI-770 não influenciaram a biologia do inseto, com exceção a emergência de insetos irradiados na fase de larva, afetada pelos dois acessos e na fase adulta, observando-se que a geração filial apresentou um período ovo-adulto (dias) mais longo no acesso UFPI-769.

O estágio de larva foi o mais sensível no tempo de exposição à radiação microondas correspondente a 150 s.

Quanto maior foi o tempo de exposição à radiação microondas menor foi a emergência de insetos, em todas as fases do ciclo de vida.

A exposição à radiação microondas por 60 s causou uma alteração positiva sobre o inseto na fase adulta, apresentando a maior média de adultos emergidos da geração filial.

O tempo de exposição 150 s à radiação microondas, em um forno de 2450 MHz, na potência 111,5 W foi o mais eficiente para o controle de *Zabrotes subfasciatus* em todas as fases de vida do inseto.