

# Efeito do extrato de *Simarouba versicolor* sobre *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae) em laboratório

Bruno Pavan Alexandre

## Resumo

O gorgulho *Sitophilus zeamais* é uma das principais pragas do milho armazenado. O seu controle é baseado no uso de inseticidas sintéticos. Entretanto, estes inseticidas podem causar problemas ambientais e seleção de insetos resistentes, o que torna desejável a busca por estratégias menos agressivas no manejo de *S. zeamais*. *Simarouba versicolor* é uma planta nativa do Brasil e causa efeitos letais e subletais sobre artrópodes. Devido à ausência de informações sobre a ação de *S. versicolor* em pragas de grãos armazenados, este trabalho avaliou o efeito letal (contato direto e residual) e subletal (taxa instantânea de crescimento ( $r_i$ ) e repelência) de extratos de *S. versicolor* sobre adultos de *S. zeamais*. O contato direto com *S. versicolor* causou uma baixa mortalidade de *S. zeamais*, sendo inferior a Citromax<sup>®</sup> (controle positivo) que causou uma mortalidade 72,7% superior à verificada para *S. versicolor* após 24h da exposição. O contato residual com *S. versicolor* e Citromax<sup>®</sup> causaram uma baixa mortalidade de *S. zeamais*. Em avaliações após 120h a mortalidade causada por *S. versicolor* não superou 5,0%, enquanto para Citromax<sup>®</sup> a mortalidade foi de 5,4%. A população de *S. zeamais* exposta a água destilada esterilizada teve o maior  $r_i$  (0,014), sendo  $\approx 28,5\%$  superior ao  $r_i$  das populações de *S. zeamais* expostas a *S. versicolor*. Citromax<sup>®</sup> apresentou uma  $r_i$  negativa, indicando seu declínio e provável extinção. *Simarouba versicolor* não apresentou atividades repelente.

**Palavras-chave:** gorgulho do milho, produtos armazenados, inseticida natural.

## Abstract

The weevil *Sitophilus zeamais* is one of the main pests of stored corn. Its control is based on the use of synthetic insecticides. However, these insecticides can cause environmental problems and selection of resistant insects, which makes the search for less aggressive strategies in the management of *S. zeamais* desirable. *Simarouba versicolor* is a plant native to Brazil and causes lethal and sublethal effects on arthropods. Due to the lack of information on the action of *S. versicolor* on stored grain pests, this work evaluated the lethal (direct and residual contact) and sublethal (instantaneous growth rate ( $r_i$ ) and repellency) effect of *S. versicolor* extracts on adults of *S. zeamais*. Direct contact with *S. versicolor* caused a low mortality of *S. zeamais*, being lower than the Citromax<sup>®</sup> (positive control), which caused a mortality 72.7% higher than that observed for *S. versicolor* after 24 hours of exposure. Residual contact with *S. versicolor* and Citromax<sup>®</sup> caused a low mortality of *S. zeamais*. In evaluations after 120h the mortality caused by *S. versicolor* did not exceed 5.0%, while for Citromax<sup>®</sup> the mortality was 5.4%. The population of *S. zeamais* exposed to sterilized distilled water had the highest  $r_i$  (0.014), being  $\approx 28.5\%$  higher than the  $r_i$  of the populations of *S. zeamais* exposed to *S. versicolor*. Citromax<sup>®</sup> showed a negative  $r_i$ , indicating its decline and probable extinction. *S. versicolor* showed no repellent activity.

**Key-words:** corn weevil, stored products, natural insecticide

## INTRODUÇÃO

O Brasil é o segundo maior exportador mundial de milho (*Zea mays* L., Poaceae) (Conab, 2021). O armazenamento é uma das etapas mais importantes para sua conservação, com a cadeia produtiva enfrentando desafios quantitativos e qualitativos devido ao ataque de pragas (Rehman et al., 2002; Reed et al., 2007; Park et al., 2012). O gorgulho *Sitophilus zeamais* Motschulsky, 1855 (Coleoptera: Curculionidae) é uma das principais pragas do milho armazenado (Faroni, 1992; Silveira et al., 2006). O inseto penetra nos grãos causando perdas significativas (Faroni, 1992; Caneppele et al., 2003), comprometendo a massa de grãos em um curto período (Evans, 1981; Faroni, 1992; Gallo et al., 2002; Lorini, 2008 Lorini et al., 2015).

O uso de inseticidas fumigantes é a principal estratégia no manejo de *S. zeamais* (Lorini, 2008). Entretanto, o uso de fumigantes pode ser ineficaz devido à aplicação inadequada, contribuindo para seleção de insetos resistentes (Santos et al., 2009). Além da fumigação, inseticidas piretroides e organofosforados são registrados para o manejo de *S. zeamais* (AGROFIT, 2022), com o uso intensivo destes produtos causando resíduos na massa de grãos e a seleção populações resistentes (Muzemu et al., 2003; Rosa et al., 2020). Nesse contexto, alternativas de controle de *S. zeamais* menos impactantes são desejáveis.

O uso de inseticidas botânicos é uma alternativa ao controle químico de *S. zeamais*. Espécies vegetais podem produzir compostos com atividade inseticidas e repelentes, sendo empregadas como extratos, óleos essenciais ou pó (McLaren, 1986; Koul et al., 2008; Santos et al., 2018). Entre as vantagens do uso de inseticidas botânicos está a possibilidade de serem inócuos a mamíferos e rapidamente degradados, reduzindo o risco de resíduos (Roel, 2001; Koul et al., 2008; Prates et al., 2019), além do menor custo de produção (Mazzonetto e Vendramim, 2003).

A família Simaroubaceae possui potencial para emprego no controle de pragas agrícolas (Coelho et al., 2009; de Lima et al., 2020). De acordo com Barbosa et al (2011), esta família produz metabólitos secundários como triterpenos, alcaloides, flavonoides, quassinóides e antraquinonas que podem apresentar atividade inseticida ou repelente (Levin, 1973; Ferreira, 2001; Simmonds, 2003; Koul, 2005; Piubelli et al., 2005; Saraiva et al., 2006; Almeida et al., 2007; Alves et al., 2014). A espécie *Simarouba versicolor* possui propriedades inseticidas, afetando o desenvolvimento de insetos de importância médica e agrícola (Coelho et al., 2006a; Coelho et al., 2009; Peñaflores et al., 2009). Assim,

com o objetivo de reduzir a dependência de produtos químicos sintéticos no manejo de *S. zeamais* em grãos armazenados, este trabalho avaliou a ação letal, subletal e repelente de *S. versicolor* sobre *S. zeamais* em laboratório.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

### **Criação de *Sitophilus zeamais***

A criação de *S. zeamais* foi iniciada a partir da inoculação de 200 adultos, não sexados, em gaiolas plásticas (5000 mL), contendo 500g de milho. A criação foi mantida em condições controladas de  $26 \pm 1^\circ\text{C}$ , Umidade Relativa (UR): 70% e fotofase de 12h.

### **Preparo dos extratos de *Simarouba versicolor***

As folhas de *S. versicolor* foram coletadas entre 07 e 09 horas da manhã, em Campo Grande, Mato Grosso do Sul ( $21^\circ 13' 28''$  S,  $54^\circ 11' 28''$  W e 437 m de altitude). As folhas coletadas foram armazenadas em sacos plásticos higienizados e transportadas ao laboratório onde foram higienizadas em água corrente e secas em estufa de circulação forçada de ar por 72h a  $40^\circ\text{C}$  ( $\pm 1^\circ\text{C}$ ). Posteriormente, foram trituradas por um moinho industrial, até se obter um pó fino, utilizado para obtenção do extrato aquoso.

O extrato aquoso foi obtido pela diluição de 0,03g e 0,3g de pó fino de *S. versicolor* em 30ml de água destilada de modo a se obter concentrações de 0,01% e 0,1%, respectivamente. Após a diluição, os recipientes contendo as soluções com 0,01 e 0,1% de *S. versicolor* foram mantidos em ambiente refrigerado ( $10^\circ\text{C}$ ) durante 24h. Após esse período, as soluções foram filtradas para reter o material sólido e empregadas nos bioensaios.

## **Bioensaios**

### **Contato direto**

A ação do contato direto de *S. versicolor* sobre *S. zeamais* foi baseada em metodologia adaptada de Potrich et al. (2006). Para isso, adultos não sexados de *S. zeamais*, com até 15 dias de vida, foram pulverizados, por meio de um pulverizador manual com 1 ml de extrato aquoso de *S. versicolor* nas concentrações de 0,01% ( $1,0 \text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ ) e 0,1% ( $10,0 \text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ ), além de um controle negativo, formado por água destilada esterilizada, e um controle positivo, onde adulto de *S. zeamais* foram pulverizados com 1 ml de Original Neem Citromax<sup>®</sup> (Ingrediente ativo: *Azadirachta*

*indica* (A. Juss), grupo químico: Tetranotriterpenoide, concentração 0,12% p/p) na concentração 0,1%. Após a pulverização, grupos de 10 insetos foram acondicionados em placas de Petri com 10g de milho e mantidos a  $26 \pm 1^\circ\text{C}$ , UR: 70% e fotofase de 12h.

As avaliações de mortalidade ocorreram em intervalos de 24h, por cinco dias. Durante as vistorias, os insetos foram estimulados com o auxílio de um pincel de cerdas finas e aqueles que não reagissem ao estímulo eram considerados mortos. O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, sendo formado por quatro tratamentos (*S. versicolor* 0,01% e 0,1%, Original Neem Citromax<sup>®</sup> (controle positivo) e água destilada esterilizada (Controle negativo) e 10 repetições. Cada repetição foi formada por uma placa de Petri contendo 10 insetos.

### **Contato residual**

A ação do contato residual de *S. versicolor* sobre *S. zeamais* foi baseada em metodologia adaptada de Pimentel et al. (2012). Uma massa com 10g de milho foi pulverizada com 1,0 ml de extrato aquoso de *S. versicolor* nas concentrações de 0,01 e 0,1%, além de um controle negativo (água destilada esterilizada) e um controle positivo (Original Neem Citromax<sup>®</sup> na concentração 0,1%). As pulverizações foram realizadas por meio de um pulverizador manual, mantendo-se a distância de 20 cm da massa de grãos. Posteriormente, a massa com 10g de milho, pulverizado com cada um dos tratamentos, foi acondicionado em gaiolas plásticas de 50ml e após 1h foram introduzidos 10 adultos de *S. zeamais*, não sexados, com até 15 dias de idade. As gaiolas foram mantidas a  $26 \pm 1^\circ\text{C}$ , UR: 70% e fotofase de 12h.

As avaliações de mortalidade ocorreram em intervalos de 24h, durante cinco dias. Para isso, a massa de grãos de cada tratamento era vistoriada e os insetos localizados, estimulados com o auxílio de um pincel de cerdas finas e observados. Aqueles que não reagissem ao estímulo foram considerados mortos. O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, sendo formado por quatro tratamentos (*S. versicolor* 0,01% e 0,1%, Original Neem Citromax<sup>®</sup> (controle positivo) e água destilada esterilizada (Controle negativo) e 10 repetições. Cada repetição foi formada por uma gaiola (50 ml), contendo 10g de milho pulverizada com cada um dos tratamentos e 10 adultos de *S. zeamais*.

### **Teste de atratividade (com chance de escolha)**

Para a realização deste bioensaio foi empregada uma metodologia adaptada de Nunes e Rizental (2015). Para isso, uma gaiola plástica (50 ml) teve fixada ao seu redor, de modo equidistante, quatro gaiolas (50 ml). Cada uma das quatro gaiolas se ligava à gaiola central por meio de um tubo transparente com 2cm de comprimento e 0,5cm de Ø. No interior de cada gaiola lateral foi acondicionado 20g de milho previamente pulverizado com extrato aquoso de *S. versicolor*, nas concentrações de 0,01 e 0,1%, além de um controle negativo (água destilada esterilizada) e um controle positivo (Original Neem Citromax<sup>®</sup> na concentração 0,1%). Posteriormente, 10 adultos de *S. zeamais*, não sexados, e mantidos por 24h sem alimentação, foram liberados no interior da gaiola central. As gaiolas foram mantidas a  $26 \pm 1^\circ\text{C}$ , UR: 70% e fotofase de 12h.

Após 24h efetuou-se a contagem dos adultos de *S. zeamais* em cada uma das massas de grãos. Este experimento foi conduzido em um delineamento inteiramente casualizado, sendo formado por quatro tratamentos e cinco repetições. Cada repetição foi formada por cinco gaiolas (uma gaiola central interligada com quatro gaiolas laterais).

#### **Taxa instantânea de Crescimento ( $r_i$ )**

O efeito subletal de *S. versicolor* foi avaliado considerando os parâmetros demográficos de *S. zeamais*, de acordo com metodologia adaptada de Pereira et al., (2009). Para isso, 500g de milho foi pulverizada com 2 ml do extrato aquoso de *S. versicolor*, nas concentrações de 0,01 e 0,1%, um controle negativo (água destilada esterilizada) e um controle positivo (Original Neem Citromax<sup>®</sup> na concentração 0,1%). A pulverização de 2ml em 500g de milho equivale a uma aplicação de 4 litros por tonelada. Após a pulverização, a massa de grãos foi homogeneizada por cinco minutos e, posteriormente, foram acondicionadas 50g em uma gaiola plástica (50 ml). Após uma hora da pulverização, foram introduzidos 10 adultos não sexados de *S. zeamais*, com até quinze dias de vida, no interior de cada gaiola. Em seguida, as gaiolas foram mantidas em condições controladas ( $26 \pm 1^\circ\text{C}$ , UR: 70% e fotofase de 12h).

Após 90 dias, iniciaram-se as avaliações sobre os parâmetros de desenvolvimento populacional de *S. zeamais*. Para isso, foi utilizada a taxa instantânea de crescimento populacional ( $r_i$ ), descrita por Stark et al. (1997) e Walthall e Stark (1997):

$$r_i = \frac{[\ln(N_f - N_0)]}{\Delta t}$$

Onde:  $r_i$  = Taxa instantânea de crescimento,  $N_0$  = Número inicial de indivíduos,  $N_f$  = Número final de indivíduos e  $\Delta t$  = Período de duração do experimento.

Os valores de  $N_f$  de cada gaiola foram transformados pela somatória de 0,1 na presença de  $N_f$  igual a zero e  $N_f$  maior que zero num mesmo tratamento, pois quando  $N_f$  é igual a zero não é possível estimar a taxa instantânea de crescimento ( $r_i$ ) (Stark e Banken, 1999). Este experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, sendo formado por quatro tratamentos (extrato aquoso de *S. versicolor* nas concentrações de 0,01 e 0,1%, um controle negativo (água destilada esterilizada) e um controle positivo (Original Neem Citromax<sup>®</sup> na concentração 0,1%) e dez repetições. Cada repetição foi formada por uma gaiola (50 ml) contendo 50g de milho previamente tratado com cada um dos quatro tratamentos, e 10 adultos de *S. zeamais*.

### **Análise estatística**

A mortalidade de *S. zeamais*, expostos via contato direto ou residual, ao extrato aquoso de *S. versicolor*, nas concentrações de 0,01 e 0,1% e Original Neem Citromax<sup>®</sup> (0,1%), foi corrigida por Abbott (1925). Posteriormente, os dados foram transformados por arseen da raiz quadrada para normalização das distribuições e homogeneidade das variâncias (Haddad e Vendramin, 2000). Os dados de mortalidade transformados e o percentual de adultos de *S. zeamais* obtidos no teste com chance de escolha foram submetidos a análise de variância (One-Way ANOVA) e as interações significativas pelo teste *F* tiveram suas médias comparadas pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ) (Zar, 2009).

As diferenças entre as taxas instantâneas de crescimento ( $r_i$ ) de *S. zeamais* expostas às diferentes concentrações do extrato aquoso *S. versicolor* (0,01 e 0,1%) e Original Neem Citromax<sup>®</sup> (0,1%), foram comparadas por meio de Modelos Lineares Generalizados ( $p < 0,05$ ). Os valores de  $r_i$  também foram comparados entre os tratamentos:  $r_i$  positivo = houve crescimento populacional;  $r_i$  zero = estabilidade populacional;  $r_i$  negativo = população em declínio com provável extinção (Walthall e Stark, 1997; Hall, 1964). Para todas as análises foi usado o programa estatístico Minitab 18.0 (Statte College, PA).

## **RESULTADOS**

A exposição por contato direto às concentrações de *S. versicolor* causou uma baixa mortalidade de *S. zeamais*, não indicando ação inseticida (Tabela 1). Citromax<sup>®</sup> causou uma mortalidade 72,7% superior à verificada para *S. versicolor* após 24h. Apesar da significativa mortalidade inicial, em avaliações após 120h da exposição, houve um

baixo incremento na mortalidade (4,5%), com Citromax<sup>®</sup> matando 77, 2% dos insetos (Tabela 1).

**Tabela 1.** Mortalidade corrigida (%) ( $\pm$  Erro Padrão da Média) de *Sitophilus zeamais* expostos, via contato direto a diferentes concentrações de *S. versicolor* (0,01% e 0,1%) e Citromax<sup>®</sup> (0,1%).

Tratamento	Horas após a exposição				
	24	48	72	96	120
<i>S. versicolor</i> 0,01%	0,0 ( $\pm$ 0,0)b <sup>1</sup>	0,0 ( $\pm$ 0,0)b	0,0 ( $\pm$ 0,0)b	2,2 ( $\pm$ 1,2)b	7,0 ( $\pm$ 4,0)b
<i>S. versicolor</i> 0,1%	0,6 ( $\pm$ 0,0)b	2,3 ( $\pm$ 1,7)b	2,7 ( $\pm$ 1,7)b	3,8 ( $\pm$ 2,0)b	4,4 ( $\pm$ 2,3)b
Citromax <sup>®</sup>	73,5 ( $\pm$ 5,6)a	76,0 ( $\pm$ 5,8)a	76,5 ( $\pm$ 6,4)a	77,1 ( $\pm$ 6,7)a	77,2 ( $\pm$ 7,5)a
Valor <i>F</i>	169,62	155,49	130,12	107,75	65,88
<i>P</i> -valor	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001

<sup>1</sup>Letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey (p-valor < 0,05).

A exposição por contato residual às concentrações de *S. versicolor* e Citromax<sup>®</sup> causaram uma baixa mortalidade de *S. zeamais*. Em avaliações após 120h da introdução de adultos do gorgulho em uma massa de grãos tratados com os extratos e o bioinseticida, a mortalidade causada por *S. versicolor* não superou 5,0%, enquanto para Citromax<sup>®</sup> a maior mortalidade foi de 5,4% (Tabela 2).

**Tabela 2.** Mortalidade corrigida (%) ( $\pm$  EPM<sup>1</sup>) de *Sitophilus zeamais* expostos, via contato residual a diferentes concentrações de *S. versicolor* (0,01% e 0,1%) e Citromax<sup>®</sup> (0,1%).

Tratamento	Horas após a exposição				
	24	48	72	96	120
<i>S. versicolor</i> 0,01%	1,0 (1,0)ab <sup>2</sup>	0,0 (0,0)b	0,0 (0,0)b	2,0 (1,3)a	2,0 (1,3)a
<i>S. versicolor</i> 0,1%	0,0 (0,0)b	2,0 (1,3)ab	4,0 (2,2)ab	5,0 (3,1)a	5,0 (3,1)a
Citromax <sup>®</sup>	5,0 (2,2)a	7,3 (2,7)a	7,3 (2,7)a	5,4 (2,3)a	5,4 (2,3)a
Valor <i>F</i>	3,50	4,62	3,25	0,61	0,61
<i>P</i> -valor	0,04	0,02	0,05	0,55	0,55

<sup>1</sup>Erro Padrão da Média; <sup>2</sup>Letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey (p-valor < 0,05).

A taxa instantânea de crescimento populacional ( $r_i$ ) de *S. zeamais* foi menor para as populações expostas à *S. versicolor* e Citromax<sup>®</sup>, quando comparadas com a população controle. A população controle apresentou o maior  $r_i$  (0,014), sendo  $\approx$  28,5% superior ao  $r_i$  das populações de *S. zeamais*, expostas às duas concentrações de *S. versicolor* (Tabela 3). Apesar de *S. versicolor* ter proporcionado um baixo  $r_i$ , as populações apresentaram

um crescimento populacional positivo (Tabela 3). Citromax<sup>®</sup> apresentou um crescimento populacional negativo, indicando que a população está em declínio e provável extinção, pois após 90 dias o número final de *S. zeamais* foi menor que o inicial (tabela 3)

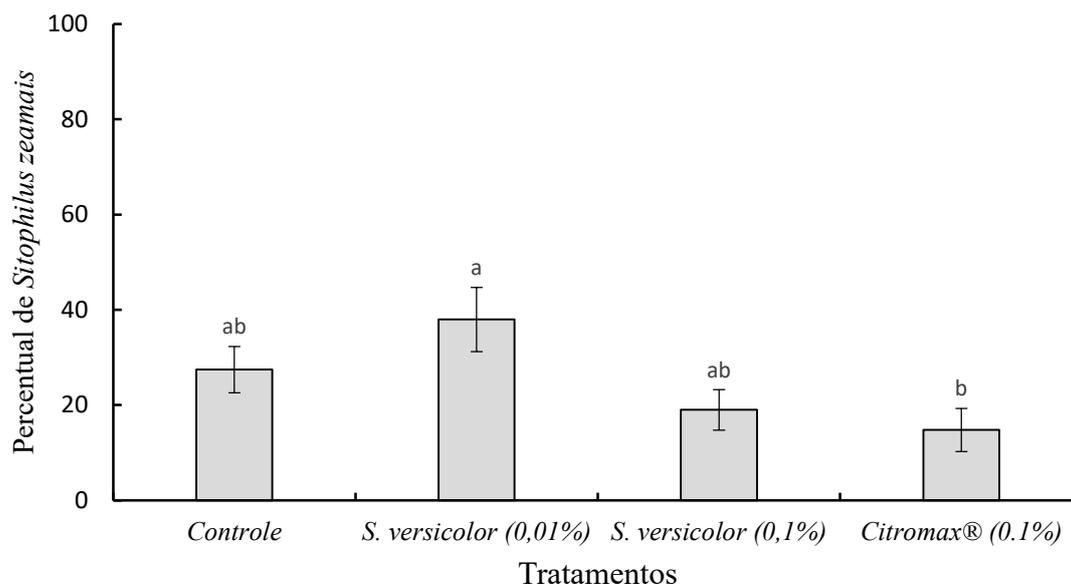
**Tabela 3.** Número médio de adultos por tratamento ( $\pm$  Erro Padrão da Média) e taxa instantânea de crescimento populacional ( $r_i$ ) após 90 dias da inoculação de 10 adultos de *Sitophilus zeamais* em 50 g de grãos de milho tratados com diferentes concentrações de *S. versicolor* (0,1 e 0,01%) e Citromax<sup>®</sup> (0,1%).

Tratamento	Número de insetos		$r_i$
	Inicial <sup>1</sup> (dia zero)	Final <sup>2</sup> (Após 90 dias)	
<i>S. versicolor</i> 0,01%	10	110 ( $\pm 2,9$ )b	0,001b
<i>S. versicolor</i> 0,1%	10	253 ( $\pm 12,4$ )ab	0,001b
Citromax <sup>®</sup>	10	4 ( $\pm 0,4$ )b	-0,001b
Controle	10	435 ( $\pm 10,3$ )a	0,014a
Valor <i>F</i>		5,20	4,98
<i>P</i> -valor		0,004	0,005

<sup>1</sup>Número total de insetos nas dez repetições de um mesmo tratamento no dia zero.

<sup>2</sup>Número total de insetos nas dez repetições de um mesmo tratamento após 90 dias do início do experimento.

Houve uma atratividade diferenciada de *S. zeamais* entre as massas de grãos expostas aos tratamentos. O percentual de insetos atraídos para o controle (27,5%), *S. versicolor* 0,1 (19%) e *S. versicolor* 0,01 (38%) não apresentaram diferenças significativas (Figura 1). Diferenças significativas ocorreram entre *S. versicolor* 0,01 e Citromax<sup>®</sup> (14,8%), com o extrato atraindo 61% mais insetos que o bioinseticida comercial (Figura 1).



**Figura 1.** Porcentagem de adultos de *Sitophilus zeamais* em cada tratamento após 24h do início de teste com chance de escolha.

## DISCUSSÃO

A busca por bioinseticidas menos agressivos ao ambiente é desejável no manejo de pragas (Kim et al., 2003; Menezes, 2005). *Simarouba versicolor* apresenta ação acaricida e inseticida (Latif et al., 2000; Coelho, 2006b; Simote, 2006; Marreco da Silva, 2021), sendo esta característica atribuída a seus metabólitos secundários. Entretanto, além do efeito letal, *S. versicolor* pode causar efeitos subletais sobre artrópodes (Almeida, 2005; Gordon-Weeks e Pickett, 2009; Rezende et al., 2016).

Entre os metabólitos com propriedades inseticidas produzidos por *S. versicolor* destacam-se os quassinóides, triterpenos, flavonóides e alcalóides. Os quassinóides são triterpenos encontrados quase que exclusivamente na família Simarubaceae, possuindo ação inseticida e fagoinibitória (Almeida et al., 2007). Os triterpenos ocasionam perturbações fisiológicas por meio de repelência alimentar, inibição do desenvolvimento, crescimento e reprodução de insetos (Almeida, 2005). Os alcalóides causam efeitos subletais e letais em insetos (Chowanski, et al., 2015), como o comprometimento do sistema nervoso, por exemplo, afetando os receptores de acetilcolina (Tomizawa e Casida, 2005). Os flavonóides participam em sinalizações hormonais e defesa química contra insetos, afetando o desenvolvimento e o padrão de alimentação de alguns insetos mastigadores (Simmonds, 2003; Piubelli et al., 2005)

A exposição, via contato direto e residual, de *S. zeamais* a 0,01% (1,0 mg. mL<sup>-1</sup>) e 0,1% (10,0 mg. mL<sup>-1</sup>) do extrato de *S. versicolor*, causou uma baixa mortalidade do inseto ( $\leq 7,0\%$ ). Apesar de *S. versicolor* possuir ação inseticida (Simote, 2006; Penãflor et al., 2009) e causar efeitos subletais em insetos (de Souza et al., 2020; de Lima et al., 2020), a ausência de mortalidade pode ser justificada por fatores como uma concentração inadequada do extrato (Shaalán et al., 2005), local e época de coleta do material vegetal (Frankenberger et al., 2022), parte da planta utilizada para obtenção dos extratos (Nascimento, 2011) e método de exposição do inseto ao extrato (Price e Mills, 1988).

O bioinseticida Citromax<sup>®</sup> foi mais letal a *S. zeamais* em bioensaios de contato direto (>77% mortalidade), em detrimento ao contato residual (5,4% mortalidade). A maior mortalidade verificada no bioensaio de contato direto pode estar associada ao método de exposição mais drástico, caracterizada pela aplicação diretamente sobre o inseto, influenciando diretamente na mortalidade do inseto (Afonso et al., 2005). Nesse contexto, *A. indica* possui metabólitos secundários como taninos, esteroides livres, flavonas, flavonóis, flavanonas e saponinas (Mordue e Nisbet, 2000; Martinez e Vanemden, 1999, Sousa, 2018) que poderiam causar a morte do inseto de forma mais efetiva ao entrarem em contato diretamente com o seu exoesqueleto.

Apesar da mortalidade ser um dos parâmetros mais avaliados, seus resultados estão limitados ao efeito da concentração do produto utilizada, fase de desenvolvimento do inseto e o período de exposição. O uso de metodologias tradicionais não permite uma ampla avaliação do efeito tóxico de um inseticida (Forbes e Calow, 1999; Stark e Banken, 1999). Assim, a mortalidade causada por *S. versicolor* e Citromax<sup>®</sup> não fornecem uma visão ampla sobre os efeitos destes produtos sobre *S. zeamais*. O emprego de análises toxicológicas demográficas na avaliação de um inseticida é uma importante ferramenta em ecotoxicologia (Daniels e Allan, 1981; Bechmann, 1994; Callow et al., 1997), sendo a  $r_i$  uma ferramenta que permite uma avaliação abrangente da ação dos efeitos letais e subletais de *S. versicolor* e Citromax<sup>®</sup> sobre *S. zeamais*.

A exposição à Citromax<sup>®</sup> e *S. versicolor* afetou a  $r_i$  de *S. zeamais*. A  $r_i$  das populações expostas à *S. versicolor* mostraram uma tendência a redução, indicando a ocorrência de efeitos subletais. Trabalhos com *S. versicolor* mostram efeitos subletais, por meio dos metabólitos secundários, comprometendo parâmetros biológicos e comportamentais para as ordens Lepidoptera (de Lima et al., 2020; de Souza et al., 2020) e Hemiptera (Coelho et al., 2009), sendo recomendado investigações sobre os metabólitos envolvidos de modo a integrar estes compostos biorracionais no manejo de pragas

(Coelho et al., 2009). A exposição à Citromax<sup>®</sup> causou um  $r_i$  negativo, indicando a extinção da população de *S. zeamais*. O bioinseticida Citromax<sup>®</sup> tem como ingrediente ativo a planta *A. indica*, reconhecida por possuir ação inseticida contra *S. zeamais* (Coitinho et al., 2006) e causar efeitos subletais, como o comprometimento de populações de *S. zeamais* expostos a *A. indica* (Borsonaro et al., 2013).

As concentrações do extrato de *S. versicolor* não causaram ação repelente em *S. zeamais*. Em um programa de manejo de pragas de grãos armazenados, a integração de estratégias é desejável, sendo a repelência uma importante ferramenta. Apesar de não se diferenciar do tratamento controle, houve uma tendência de ocorrer um menor número de insetos na massa de grãos tratadas com *S. versicolor*, sendo possível que concentrações mais elevadas cause ação repelente, pois *S. versicolor* pode sintetizar metabólitos secundários com estas características. Citromax<sup>®</sup> apresentou atividade repelente contra *S. zeamais*, sendo reportado a atividade repelente de *A. indica* sobre insetos por meio de metabólitos secundários como flavonas, flavonóis e flavanonas (Simmonds, 2003; Sousa et al, 2010; Koul, 2004).

A busca por estratégias alternativas a inseticidas no manejo de pragas é altamente desejável. Nesse contexto, os testes com as concentrações 1,0 e 10,0 mg. mL<sup>-1</sup> não foram efetivos no controle de *S. zeamais* em bioensaios de contato direto e residual. Entretanto, a avaliação da ação de *S. versicolor* sobre o desenvolvimento populacional e repelência indicaram uma tendência de comprometimento destes parâmetros. Deste modo, um aprofundamento destes estudos é importante para que se tenha um melhor conhecimento sobre os efeitos letais e subletais de *S. versicolor* sobre *S. zeamais*.

## REFERÊNCIAS

Abbott, W. S. A Method of Computing the Effectiveness of an Insecticide. *Journal of Economic Entomology*, [S.L.], v. 18, n. 2, p. 265-267, 1 abr. 1925. Oxford University Press (OUP). <http://dx.doi.org/10.1093/jee/18.2.265a>

Afonso, A. P. S; Faria, J. L.; Botton, M.; Loeck, A. E. Controle de *Sitophilus zeamais* Mots., 1855 (Coleoptera: Curculionidae) com inseticidas empregados em frutíferas temperadas. *Ciência Rural*, v. 35, p. 253-258, 2005.

AGROFIT. Sistema de agrotóxicos fitossanitários. MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Disponível em: <[https://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit\\_cons/principal\\_agrofit\\_cons](https://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons)>. Acesso em: 19/05/2022.

Almeida, F. A. C. et al. Efeitos de extratos alcoólicos de plantas sobre o caruncho do feijão vigna (*Callosobruchus maculatus*). Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 9, n. 4, p. 585-590, 2005.

Almeida, M. M. B. et al. Ocorrência e atividade biológica de quassinóides da última década. Química Nova, v. 30, p. 935-951, 2007.

Alves, I. A. B. S.; Miranda, M. H.; Soares, L. A. L.; Randau, K. P. Simaroubaceae Family: botany, chemical composition and biological activities. Brazilian Journal of Pharmacognosy, v. 24, n.4, p. 481-501 2014.

Barbosa, L. F.; Braz-Filho, R.; Vieira, I. J. C. Chemical constituents of plants from the genus *Simaba* (Simaroubaceae). Chemistry e Biodiversity, vol. 8, n.2, 2011.

Bechmann, R. K. Use of life tables and LC<sub>50</sub> tests to evaluate chronic and acute toxicity effects to copper on the marine copepod *Tisbe furcata* (Baird.). Environmental Toxicology Chemistry, v. 13, p. 1509 – 1517, 1994.

Borsonaro, M. T.; Iamaguti, P. S; Neves, M. C. T.; Seno, K. C. A. Extrato aquoso de folhas de neem (*Azadirachta indica* A. Juss) no controle de *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae) em milho (*Zea mays* L) armazenado. Nucleus, v.10, n. 1, p. 155-161, 2013.

Calow, P.; Sibly, R. M.; Forbes, V. Risk assessment on the basis of simplified life-history scenarios. Environmental Toxicology Chemistry, v. 16, n. 9. 1983-1989, 1997.

Caneppele, M. A. B; Caneppele, C.; Lázari, F. A.; Lázari, S. M. N. Correlation between the infestation level of *Sitophilus zeamais* Motschulsky, 1855 (Coleoptera, Curculionidae) and the quality factors of stored corn, *Zea mays* L. (Poaceae). Revista Brasileira de Entomologia, v.47, n. 4, p.625-630, 2003.

Chowanski, S. et al. A review of bioinsecticidal activity of solanaceae alkaloids. Toxins, v, 8, n. 3, p. 1-28, 2016.

Coelho, A. A. M.; Paula, J. E.; Espíndola, L. S. Efeito do extrato de plantas do Cerrado em *Dipetalogaster maxima* (Uhler) (Hemiptera: Reduviidae). Revista Brasileira de Entomologia, v. 53 (3), p. 444-451, 2009.

Coelho, A. A. M. Análise inseticida de extratos de plantas do bioma cerrado sobre triatomíneos e larvas de *Aedes Aegypti*. Brasília, 138p. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-graduação em Ciências da Saúde, Universidade de Brasília, 2006a.

Coelho, A. A. M.; Paula J. E.; Espíndola, L. S. Inseticida lactivity of cerrado plan textractson *Rhodnius milesi* Carcavallo, Rocha, Galvão & Jurberg (Hemiptera: Reduviidae) under laboratory conditions. Neotropical Entomology, vol. 35 n. 1, p. 133-138, fev 2006b.

Coitinho, R. L.B. C.; Oliveira, J. V.; Godim Junior, M. G. C.; Câmara, C. A. G. Efeito residual de inseticidas naturais no controle de *Sitophilus zeamais* Mots. em milho armazenado. Revista Caatinga, Mossoró, v. 19, n. 2, p. 183-191, abr/jun 2006.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da Safra Brasileira – Grãos. Monitoramento agrícola – Safra 2019/20, v. 7. n. 8. Brasília, DF: CONAB, 2020. 66 p.

Daniels, R. E.; Alan, J. D. Life table evaluation of chronic exposure to pesticides. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, v. 38/ n. 5, p. 485-494, 1981.

de Lima, D. B. et al. Atividade inseticidas de extratos de plantas coletadas no cerrado sobre lagartas de *Spodoptera frugiperda* (J. E. SMITH, 1979). In: Spers, E. E. Agrárias: Pesquisa e inovação nas ciências que alimentam o mundo. Editora Artemis, p. 23-31, 2020. Disponível em: <<https://sistema.editoraartemis.com.br/index.php/admin/api/artigoPDF/31900>>

de Souza, S. A. et al. Extrato aquoso de *Simarouba versicolor*, A. St-Hill (Simaroubaceae) afeta a oviposição de traça-das-crucíferas. In: Santos, C. C. Agrobiodiversidade: Manejo e produção sustentável, p. 116-126, 2020. Disponível em: <https://editorapantanal.com.br/ebooks/2020/agrobiodiversidade-manejo-e-producao-sustentavel/Cap10.pdf>.

Evans, D. E. The biology of stored products Coleoptera. In: Champ. B. R.; Highley, E. (Eds.). Proceedings of the Australian Development Assistance Course on the Preservation of Stored Cereals. Canberra: CSIRO Division of Entomology, p. 149-185, 1981.

Faroni, L. R. D. A. Manejo das pragas dos grãos armazenados e sua influência na qualidade do produto final. *Revista Brasileira de Armazenamento*, v.17, p.36-43, 1992.

Forbes, V. E; Calow, P. Is the per capita rate of increase a good measure of populational-level effect in ecotoxicology? *Environmental Toxicology and Chemistry*, v. 18, n. 7, p. 1544-1556, 1999.

Frankenberger, L. et al. Chemical Composition of *Dysphania ambrosioides* from Hydroponics and Soil and Its Activity Against *Sitophilus zeamais*. *Brazilian Journal of Pharma Cognosy*, v. 1, p. 1-8, 2022.

Gallo, D. et al. *Entomologia agrícola*. Piracicaba: FEALQ, 2002. 920 p.

Gordon-Weeks, R.; PICKETT, J. A. Role of natural products in nature: Plant- insect interaction. In: Osbourn, A. E.; Lanzotti, V. (ed). *Plant-derived natural products: synthesis, function and application* Springer, New York. p. 321, 2009.

Haddad, M. L.; Vendramim, J. D. Comparison of percentage data with cases of extreme values of 0 and 100%. *An. Soc. Entomol. Brasileira*, Piracicaba, v. 29, n. 4, p. 835- 837, dez. 2000.

Hall, D. J. An Experimental Approach to the Dynamics of a Natural Population of *Daphnia Galeata Mendotae*. *Environmental Science*, v. 45, n. 1, p. 94-112, 1964.

Kim, S. I. et al. Insecticidal activities of aromatic plant extracts and essential oils against *Sitophilus oryzae* and *Callosobruchus chinensis*. *Journal of Stored Products Research*, v.39, n. 3, p.293-303, 2003.

Koul, O. A global perspective. p.1-19. In: KOUL, O; WAHAB, S. (eds.). *Neem: Today and in the New Millennium*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 276p., 2004.

- Koul, O. Insect Antifeedants. GRG Press, Boca Raton, Florida, p.1024, 2005.
- Koul, O.; Walia, S.; Dhaliwal, G. S. Essential oils as green pesticides: potential and constraints. *Biopesticides Int*, vol. 4, n. 1, p. 63-84, 2008.
- Latif, Z. L. An insecticidal quassinoid from the new Australian species *Quassia* sp. aff. *bidwillii*. *Biochemical Systematics and Ecology*, vol. 28, n. 2, 183-184, mar 2000.
- Lorini, I. et al. Manejo Integrado de Pragas de Grãos e Sementes Armazenadas. Brasília: Embrapa Soja, 2015. 86 p.
- Lorini, I. Manejo integrado de pragas de grãos de cereais armazenados. 2. ed. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2008. 71 p. (Embrapa Trigo. Documentos, 73).
- Marreco da Silva, M. M. et al. Extratos aquosos simarouba *versicolor* A. St. Hill (Simaroubaceae) afetam o desenvolvimento larval de *Spodoptera frugiperda* J.E. Smith, 1797 (Lepidoptera:Noctuidae). *Convibra*, 2021. Disponível em: <[https://convibra.org/congresso/res/uploads/pdf/artigo\\_pdfX6xBQC24.04.2021\\_17.52.28.pdf](https://convibra.org/congresso/res/uploads/pdf/artigo_pdfX6xBQC24.04.2021_17.52.28.pdf)>.
- Martinez, S. S.; Van Emden, H. F. Sublethal concentrations of azadirachtin affect food intake, conversion efficiency and feeding behaviour of *Spodoptera littoralis* (Lepidoptera: Noctuidae). *Bulletin of Entomological Research*: 89, 65-71, 1999.
- Mazzonetto, F.; Vendramim, J. D. Efeito de pós de origem vegetal sobre *Acanthoscelides obtectus* (Say) (Coleoptera: Bruchidae) em feijão armazenado. *Neotropical Entomology*, vol. 32, n. 1, p. 145- 149, jan./mar. 2003.
- McLaren, J. S. Biologically active substances from higher plants: status and future potential. *Pesticide Science*, v. 17, n. 5, p. 559-578, out. 1986.
- Menezes, E. L. A. Inseticidas botânicos: seus princípios ativos, modo de ação e uso agrícola. Seropédica, Rio de Janeiro: Embrapa Agrobiologia, 2005. 58p. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rbpm/a/d5SxQVKhnYNCcjYfphdPNgn/?format=pdf&lang=pt>>
- Mordue, A. J.; NISBET A.J. Azadirachtin from the neem tree *Azadirachta indica*: its actions Against insects. *An. Soc. Entomol. Bras*, vol. 29, n. 4, p. 615-632, dez. 2000.
- Muzemu, S.; Chitamba, J.; Goto, S. Screening of stored maize (*Zea mays* L.) varieties grain for tolerance against maize weevil, *Sitophilus zeamais* (Motsch.). *Int J Plant*, vol. 3, n. 3, p. 17-22, jun. 2003.
- Nascimento, M. M. N. G. et al. Efeito inseticida de extratos de plantas do Cerrado sobre *Spodoptera frugiperda* e *Sitophilus zeamais*. 2011. Disponível em: <<http://www.sbpcnet.org.br/livro/63ra/conpeex/pibic/trabalhos/michelle.pdf>>.
- Nunes, M. P.; Rizental, M. Preferência alimentar de *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae) em variedades de milho transgênico. *Revista Connection Online*, n. 12, p. 84 – 89, 2015.
- Park, C. E.; Kim, Y. S.; Park, K. J.; Kim, B. K. Changes in physicochemical characteristics of rice during storage at diferente temperatures. *Journal of Stored Products Research*, v.48, p.25-29, jan. 2012.

Peñaflor, M. F. V. Toxicity of substances isolates from *Simarouba versicolor* St. Hil. (Simaroubaceae) to the leaf-cutting Ant *Atta Sexdens* L. (Hymenoptera: Formicidae) and the symbiotic fungus *Leucoagaricus gongylophorus* (Singer). *BioAssay*, v. 4, p. 1-7, 2009.

Pereira, C. J. et al. Organophosphate resistance in the maize weevil *Sitophilus zeamais*: magnitude and behavior. *Crop Protection Oxford: Elsevier B.V.*, v. 28, n. 2, p. 168-173, 2009.

Pimentel, M. A. G.; Ferreira, E. G. Toxicidade de Produtos Formulados à Base de Fungos Entomopatogênicos para o Caruncho-do-Milho. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, [S.L.], v. 11, n. 2, p. 209-215, 30 ago. 2012. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*. <http://dx.doi.org/10.18512/1980-6477/rbms.v11n2p209-215>.

Piubelli, G. C. et al. Are chemical compounds important for soybean resistance to *Anticarsia gemmatalis*? *Journal of Chemical Ecology*, vol. 31, n. 7, p.1509-1525, 2005.

Potrich, M. et al. Avaliação de *Beauveria bassiana* (Bals.) Vuill. e *Metarhizium anisopliae* (Metsch.) Sorok. para Controle de *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae). *Sociedade Entomológica do Brasil, Cascavel*, v. 12, n. 1, p. 1-9, 2006.

Prates, L. H. F. et al. Eugenol diffusion coefficient and its potential to control *Sitophilus zeamais* in rice. *Sci Rep*, 2019. Disponível em: <<https://www.nature.com/articles/s41598-019-47562-1>>.

Price, L. A.; Mills, K. A. The toxicity of phosphine to the immature stages of resistant and susceptible strains of some common stored product beetles and implications for their control. *Journal Stored Products Research, Kidlington*, v.24, p.51-59, 1988

Reed, C.; Doyungan, S.; Ioerger, B.; Getchell, A. Response of storage molds to different initial moisture contents of maize (corn) stored at 25 °C, and effect on respiration rate and nutrient composition. *Journal of Stored Products Research*, v.43, n. 4, p.443-458, 2007.

Rehman, Z. U.; Habib, F.; Zafar, S. I. Nutritional changes in maize (*Zea mays*) during storage at three temperatures. *Food Chemistry*, v.77, n. 2, p.197-201, 2002.

Rezende, F. M.; Rosado, D.; Moreira, F. A.; Carvalho, W. R. S. Vias de síntese de metabólitos secundários em plantas. *Botânica no Inverno*, n.6 p.93, 2016.

Roel, A. R. Utilização de plantas com propriedades inseticidas: uma contribuição para o desenvolvimento rural sustentável. *Interações-Revista Internacional de Desenvolvimento Local, Campo Grande*, v. 1, n. 2, p. 43- 50, mar./ago. 2001.

Rosa, J. S. et al. Bioactivity of some Apiaceae essential oils and their constituents Against *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae). *Bull Entomol Res*, vol. 110, n. 3, p. 406-416, 2020.

Santos, J. C. et al. Toxicity of pyrethroids and organophosphorus insecticides to Brazilian populations of *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae). *Bioscience Journal*, v.25, n.6, p.75-81, 2009.

Santos, V. S. V.; da Cunha, J. R.; Soares da Silva, P. H. Atividade ovicida e repelente de pó de citronela sobre o caruncho do feijão-caupi. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, vol. 13, n. 2, p. 146-149, 2018.

Saraiva, R. C. G.; Pinto, A. C.; Nunomura, S. M.; Pohlit, M. A. Triterpenos e alcalóide tipo cantinona dos galhos de *Simaba polyphylla* (Cavalcante) WW Thomas (Simaroubaceae). *Química Nova*, v. 29, n. 2, p. 264-268, 2006.

Shaalán, E. A.; Canyon, D.; Younes, M. W. F.; Abdel-Wahaba, H.; Mansour, A. A review of botanical phytochemicals with mosquitocidal potential. *Environment International*, v.31, p.1149-66, 2005.

Silveira, R. D.; Faroni, L. R. D. A.; Pimentel, M. A. G.; Zocolo, G. J. Influência da temperatura do grão de milho, no momento da pulverização, e do período de armazenamento, na mortalidade de *Sitophilus zeamais* e *Tribolium castaneum*, pela mistura bifenthrin e pirimifós-metil. *Revista Brasileira de Armazenamento*, v.31, p.120-124, 2006.

SIMMONDS, M.S.J. Flavonoid–insect interactions: recent advances in our knowledge. *Phytochemistry*, vol. 64, n. 1, p. 21-30, set 2003.

Simote, S. Y. Estudo Fitoquímico de *Helietta puberula* (Rutaceae), *Simarouba versicolor* (Simaroubaceae) e Busca de um Processo de Microencapsulação de Compostos Ativos, visando o Controle de Formigas Cortadeiras. 2006. Tese (Doutorado) – Curso de Química, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2006. 232p.

Sousa, J. V. P. et al. Triagem Fitoquímica do extrato alcóolico das folhas de neen. In: Congresso Brasileiro de Química, 58º, 2018, São Luís. Anais. São Luís: 2018. Disponível em: <<http://www.abq.org.br/cbq/2018/trabalhos/7/1268-26364.html>>.

Souza, M. N. et al. Pós de folhas, ramos e sementes de nim (*Azadirachta indica* A. juss) como repelente de *Sitophilus zeamais* (coleoptera: curculionidae em milho armazenado). *Revista Brasileira de Pesquisa em Alimentos*, v. 1, n. 1, p. 21-24, 2010.

Stark, J. D.; Banken, J. A. Importance of population structure at the time and toxicant exposure. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, v. 42, n. 3, p. 282-287, mar 1999.

Stark, J. D.; Tanigoshi, L.; Bounfour, M.; Antonelli, A. Reproductive Potential: its influence on the susceptibility of a species to pesticides. *Ecotoxicology And Environmental Safety*, online, vol. 37, n. 3, p. 273-279, ago 1997.

Tomizawa, M.; Casida, J. E. Neonicotinoid insecticide toxicology: mechanism of selective action. *Annual Review of Pharmacology and Toxicology*, vol. 45, p. 247-268. 2005.

Walthall, W. K.; Stark, J. D. Comparison of two population-level ecotoxicological endpoints: the intrinsic ( $r_m$ ) and instantaneous ( $r_i$ ) rates of increase. *Environmental Toxicology And Chemistry*, v. 16, n. 5, p. 1068-1073, 1997.

Zar, J. H. Two-Factor Analysis of Variance. In: ZAR, Jerrold H. *Biostatistical analysis*. 5. ed. New Jersey: Pearson Prentice Hall, 2009. Cap. 11. p. 249-284.