

PABLO DA COSTA GONTIJO

VARIAÇÃO TEMPORAL E ESPACIAL DO RISCO DE FALHAS DE  
CONTROLE QUÍMICO DE *Tuta absoluta*

Dissertação apresentada à Universidade  
Federal de Viçosa, como parte das  
exigências do Programa de Pós-  
Graduação em Fitotecnia, para obtenção  
do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA  
MINAS GERAIS - BRASIL  
2011

PABLO DA COSTA GONTIJO

VARIAÇÃO TEMPORAL E ESPACIAL DO RISCO DE FALHAS DE  
CONTROLE QUÍMICO DE *Tuta absoluta*

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 21 de fevereiro de 2011.

---

Prof. Raul Narciso Carvalho  
Guedes  
(Co-orientador)

---

Prof. Eliseu José Guedes  
Pereira  
(Co-orientador)

---

Prof. Ézio Marques da Silva

---

Marcelo Coutinho Picanço  
(Orientador)

## **AGRADECIMENTOS**

À Universidade Federal de Viçosa e ao Departamento de Fitotecnia, pela oportunidade da realização deste curso.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de estudo, sem a qual seria impossível a conclusão do curso.

Ao Professor Marcelo Coutinho Picanço, pela orientação, conselhos e amizade ao longo desses anos de convívio.

A todos os estagiários e amigos do Laboratório de Manejo Integrado de Pragas, pela amizade, ajuda e agradável convívio. Em especial aos amigos da Pós-Graduação Gerson, Jander, Júlio, Mateus, Nilson, Renan, Ricardo e Tarcísio pelos incentivos e valiosa ajuda.

Aos professores participantes da banca examinadora de defesa de dissertação: Eliseu José Guedes Pereira, Ézio Marques da Silva e Raul Narciso Carvalho Guedes pelas críticas e sugestões.

Aos demais professores responsáveis pelos conhecimentos adquiridos durante minha formação.

Ao senhor José Evaristo pela amizade, presteza e momentos de descontração durante esses anos de convívio.

Às secretárias da Fitotecnia e Entomologia, Tatiana e Paula, pela competência e dedicação ao trabalho.

Ao coordenador do programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, o professor Claudio Horst Bruckner, pela competência na execução de seu árduo trabalho.

Aos meus pais João e Selma pelo carinho, incentivo e confiança depositada, que fizeram com que eu chegasse até aqui.

Ao meu irmão Douglas e aos amigos de república Evair e Marcus pela amizade e companheirismo durante anos.

A minha namorada Anna pelo amor, amizade, companheirismo, confiança e compreensão ao longo destes anos de convivência.

E por fim, a todos aqueles que, direta ou indiretamente, contribuíram para a execução deste trabalho, os meus sinceros agradecimentos.

## **BIOGRAFIA**

Pablo da Costa Gontijo, filho de João dos Reis Gontijo e Selma Pereira da Costa Gontijo, nasceu no dia 20 de fevereiro de 1986, em Ipatinga, MG.

Cursou o ensino médio na Escola Estadual "Prof. Antônio Dias Maciel" concluindo-o em 2003 em Patos de Minas, MG. Cidade que adotou como terra natal.

Em março de 2004 ingressou no curso de Agronomia pela Universidade Federal de Viçosa. Durante a graduação, de março de 2005 a dezembro de 2008, foi estagiário no Laboratório de Manejo Integrado de Pragas do DBA/UFV sob orientação do Prof. Marcelo Coutinho Picanço, onde desenvolveu vários trabalhos com manejo integrado de pragas de hortaliças, grandes culturas, fruteiras e ornamentais. Nesse período foi bolsista de Iniciação Científica do PIBIC/CNPq por dois anos consecutivos. Foi monitor voluntário por quatro períodos da disciplina BAN 360 (Entomologia Agrícola) sob a orientação do Prof. Marcelo Coutinho Picanço. Em março de 2009, ingressou no curso de mestrado em Fitotecnia na Universidade Federal de Viçosa, defendendo dissertação em 21 de fevereiro de 2011.

## SUMÁRIO

RESUMO.....	vi
ABSTRACT.....	viii
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	3
2.1. Populações de <i>Tuta absoluta</i> .....	3
2.2. Inseticidas estudados.....	4
2.3. Bioensaios de suscetibilidade de <i>T. absoluta</i> aos inseticidas ao longo do tempo.....	4
2.3.1. Bioensaios com inseticidas neurotóxicos e inibidor respiratório.....	5
2.3.2. Bioensaios com inseticidas reguladores de crescimento.....	5
2.4. Análise estatística.....	6
2.4.1. Variação temporal da suscetibilidade de <i>T. absoluta</i> nos biomas...	6
2.4.2. Falhas de controle dos inseticidas ao longo do tempo nos biomas.	6
2.4.3. Dependência espacial da suscetibilidade de <i>T. absoluta</i> aos inseticidas nos biomas.....	6
2.4.4. Influência dos locais de coleta na suscetibilidade de <i>T. absoluta</i> aos inseticidas.....	7
3. RESULTADOS.....	11
3.1. Variação temporal da suscetibilidade de <i>T. absoluta</i> nos biomas.....	11
3.2. Dependência espacial da suscetibilidade de <i>T. absoluta</i> aos inseticidas nos biomas.....	13
3.3. Influência dos locais de coleta na suscetibilidade de <i>T. absoluta</i> aos inseticidas.....	16
4. DISCUSSÃO.....	19
5. CONCLUSÕES.....	24
6. LITERATURA CITADA.....	25

## RESUMO

GONTIJO, Pablo da Costa, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2011. **Variação temporal e espacial do risco de falhas de controle químico de *Tuta absoluta***. Orientador: Marcelo Coutinho Picanço. Co-orientadores: Raul Narciso Carvalho Guedes e Eliseu José Guedes Pereira.

A resistência a inseticidas é a principal causa de falhas de controle da traça do tomateiro *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae). No manejo da resistência é importante conhecer os fatores que influenciam a suscetibilidade da praga aos inseticidas. Assim, o objetivo desse trabalho foi monitorar a suscetibilidade de *T. absoluta* a inseticidas nos principais biomas de cultivo de tomate no Brasil e determinar a influência dos elementos climáticos e relevo na variação temporal e espacial da suscetibilidade a inseticidas. Foram usadas 20 populações, sendo sete populações do bioma Cerrado e 13 da Mata Atlântica. Estas populações foram coletadas nas safras de 2000, 2004 e 2007. Os inseticidas usados foram o inibidor respiratório clorfenapir, os neurotóxicos abamectina, bifentrina, espinosade e indoxacarbe e os reguladores de crescimento teflubenzurom e triflumurom. A maioria das populações de *T. absoluta* foi suscetível a abamectina, clorfenapir e

espinosade. O inverso ocorreu com a bifentrina, teflubenzurom e triflumurom. A suscetibilidade das populações brasileiras de *T. absoluta* foram variáveis no tempo e no espaço ao indoxacarbe. As populações *T. absoluta* do Cerrado foram menos suscetíveis à abamectina e indoxacarbe quando comparadas às populações da Mata Atlântica. Em locais de clima seco, quente e ensolarado foi maior o risco de desenvolvimento de resistência de *T. absoluta* aos inseticidas. Em relevo plano e em cultivos posicionados na direção dos ventos foram maiores os riscos da dispersão de *T. absoluta* e de propagação da sua resistência a inseticidas, como ocorreu no bioma do Cerrado brasileiro.

## ABSTRACT

GONTIJO, Pablo da Costa, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, February of 2011. **Temporal and spatial variation in the risk of failure of chemical control of *Tuta absoluta***. Advisor: Marcelo Coutinho Picanço. Co-advisors: Raul Narciso Carvalho Guedes and Eliseu José Guedes Pereira.

The resistance to insecticides is the main cause of control failure the tomato leafminer *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae). In resistance management is important to know how factors that influence the susceptibility of the pest to insecticides. Thus, the purpose of this study was monitoring the susceptibility of *T. absoluta* to insecticides in the major biomes of tomato cultivation in Brazil and the influence of climatic elements and relief in spatial and temporal variation to susceptibility to insecticides. We used 20 populations, seven this populations of the Brazilian savannah and 13 of Atlantic forest. These populations were collected in the harvests of 2000, 2004 and 2007. The insecticides used were respiratory inhibitor chlorfenapyr, neurotoxic abamectin, bifenthrin, spinosad and indoxacarb, and growth regulators teflubenzuron triflumuron. Most populations of *T. absoluta* was susceptible to abamectin, and spinosad chlorfenapyr. The susceptibility of Brazilian

populations of *T. absoluta* was variable in time and space to indoxacarb. Populations *T. absoluta* of Brazilian savannah is less susceptible to abamectin and indoxacarb in compared to the populations of the Atlantic. In dry climates hot and sunny was the greatest risk of developing resistance to *T. absoluta* insecticides. In relief and cultured positioned in wind direction were higher risks of dispersion of *T. absoluta* and propagation of its resistance to insecticides, as occurred in the Brazilian savannah biome.

## 1. INTRODUÇÃO

A traça do tomateiro *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae) é originária da região entre o Equador, Cordilheira do Andes, norte do Chile e litoral do Oceano Pacífico (Giordano & Silva, 1999). Este inseto é praga importante do tomate na América do Sul, Europa e costa mediterrânea da África (Desneux *et al.*, 2010). Sua ocorrência no Brasil foi relatada no início dos anos 1980 e em menos de dois anos ocorreu a dispersão para as principais regiões produtoras do país (Picanço *et al.*, 1995). Em 2006 ela foi introduzida na Espanha de onde se dispersou para a maioria dos países da Europa (Desneux *et al.*, 2010) e região mediterrânea da África (Garcia-Marí & Vercher, 2010).

As larvas de *T. absoluta* reduzem a produtividade do tomateiro por consumir o mesófilo foliar e causar danos ao caule, flores e frutos (Borgoni *et al.*, 2003; Picanço *et al.*, 1998, 2007). O principal método usado no seu controle é o químico com os agricultores chegando a realizar até 36 aplicações de inseticidas por cultivo (Picanço *et al.*, 1995). Entretanto, muitas vezes os inseticidas apresentam falhas no controle desta praga (Guedes *et al.*, 1994).

Entre as razões destas falhas está a seleção de populações da praga resistentes a inseticidas (Salazar & Araya, 1997; Siqueira *et al.*, 2001a).

Existem alguns trabalhos que relatam a resistência de *T. absoluta* a inseticidas (Siqueira *et al.*, 2000, 2001a, b; Salazar & Araya, 2001; Liettii *et al.*, 2005; Silva *et al.*, 2011). No manejo da resistência é importante se conhecer os fatores que influenciam a suscetibilidade de populações da praga aos inseticidas. Fatores como o clima, relevo, procedência das populações e biomas podem indicar os mecanismos envolvidos na dinâmica da resistência da praga aos inseticidas no tempo e no espaço. Até o momento não existe qualquer trabalho que estude a variação temporal da resistência de *T. absoluta* no espaço. Os elementos climáticos podem afetar a suscetibilidade dos insetos aos inseticidas devido à influência do clima na dinâmica populacional destes e na toxicidade dos inseticidas (Silva *et al.*, 2011). Os estudos de variação no tempo e espaço da suscetibilidade da praga aos inseticidas permitem prever o surgimento de resistência. Esta previsão possibilita o estudo da variação da resistência de pragas pela avaliação dos inseticidas utilizados em determinado local para se controlar a mesma.

Assim, o objetivo desse trabalho foi monitorar durante sete anos a suscetibilidade de populações de *T. absoluta* a inseticidas nos principais biomas de cultivo de tomate no Brasil e determinar a influência de elementos climáticos e relevo na variação temporal e espacial da suscetibilidade a inseticidas.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. Populações de *T. absoluta*

Vinte populações de *T. absoluta* foram coletadas em lavouras comerciais de tomate de diferentes localidades nos anos agrícolas de 2000; 2004 e 2007. Destes 20 locais sete pertencem ao bioma Cerrado e 13 ao bioma Mata Atlântica. Estes biomas foram selecionados por serem os principais locais de cultivo de tomate no Brasil e por possuírem diferentes relevos. O Cerrado apresenta relevo plano e clima com estação seca definida, temperaturas mais elevadas, alta insolação e com ventos predominantes no sentido leste-oeste. Já a Mata Atlântica apresenta relevo ondulado com cadeias de montanhas dispostas na direção norte-sul e clima com maior intensidade de chuvas, temperaturas mais amenas, com dias geralmente nublados e com ventos predominantes no sentido sudeste-noroeste (Marques *et al.*, 2004; Gonçalves, 2006) (Figuras 1 e 2).

As populações foram mantidas em laboratório a  $25 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ , umidade relativa do ar de  $75 \pm 5\%$  e fotofase de 12 horas. Na criação de cada população foram utilizadas quatro gaiolas de madeira (40 x 40 x 40 cm) revestidas por

organza, sendo uma gaiola para oviposição, uma para larvas de primeiro e segundo ínstar, uma para larvas de terceiro e quarto ínstar e uma para pupação e emergência dos adultos. As larvas foram alimentadas com folhas de tomate da variedade Santa Clara, cultivadas em casa de vegetação, sem a aplicação de inseticidas.

## **2.2. Inseticidas estudados**

Foram estudadas as doses recomendadas dos inseticidas inibidor respiratório clorfenapir (0,5 ml/L), os neurotóxicos abamectina (1 ml/L), bifentrina (0,5 ml/L), espinosade (0,1 ml/L) e indoxacarbe (0,016 g/L) e os reguladores de crescimento teflubenzurom (0,025 ml/L) e triflumurom (0,03 ml/L) (Tabela 1). Os inseticidas foram testados nas concentrações recomendadas para *T. absoluta* (MAPA, 2011). Estes produtos foram selecionados por representarem os principais grupos de inseticidas usados no controle de *T. absoluta* no Brasil (Andrei, 2009).

## **2.3. Bioensaios de suscetibilidade de *T. absoluta* aos inseticidas ao longo do tempo**

Os bioensaios foram realizados à temperatura de  $25 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ , umidade relativa do ar de  $75 \pm 5\%$  e fotoperíodo de 12 horas. A avaliação da suscetibilidade de *T. absoluta* ao longo do tempo foi realizada nos anos de 2000, 2004 e 2007. Os bioensaios foram divididos em dois grupos de acordo com o tempo de ação e ínstar de controle de *T. absoluta* dos inseticidas. O primeiro grupo foi constituído pelos inseticidas neurotóxicos e inibidor respiratório, os quais possuem ação rápida de controle sobre larvas de todos os ínstares. Já o segundo grupo foi formado pelos inseticidas reguladores de

crescimento, os quais apresentam ação de controle que variam de dois a quatro dias, atuando principalmente sobre larvas de primeiro e segundo ínstar (Reynolds, 1987; Fisk & Wright, 1992).

### **2.3.1. Bioensaios com inseticidas neurotóxicos e inibidor respiratório**

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado com cinco repetições. As unidades experimentais foram constituídas de folíolos de tomate da variedade Santa Clara, imersos por cinco segundos nas caldas inseticidas e em água na testemunha. Após secos a sombra, os folíolos foram acomodados em placas de Petri (9 cm de diâmetro x 2 cm de altura). Cada placa recebeu 10 larvas de *T. absoluta* de 3º ínstar. Após 48 horas avaliou-se a mortalidade dos insetos.

### **2.3.2. Bioensaios com inseticidas reguladores de crescimento**

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado com quatro repetições. As unidades experimentais foram constituídas por folhas de tomate da variedade Santa Clara imersas por cinco segundos nas caldas inseticidas e em água na testemunha. Após secas à sombra, as folhas foram acomodadas em garrafas Pet de 2 litros. Para cada folha foram transferidas 20 larvas de 2º ínstar de *T. absoluta*. Em cada garrafa foi confeccionada uma abertura de 10 x 15 cm para a introdução das folhas tratadas e das larvas. Esta abertura foi então fechada com organza para evitar a fuga dos insetos. Para manter as folhas túrgidas, as folhas tiveram seus pecíolos imersos frasco de vidro com volume de 100 mL, contendo água. Após sete dias avaliou-se a mortalidade dos insetos.

## **2.4. Análises estatísticas**

### **2.4.1. Variação temporal da suscetibilidade de *T. absoluta* nos biomas**

Os dados das mortalidades de *T. absoluta* causadas pelos inseticidas foram corrigidos pela ocorrência na testemunha usando-se a fórmula de Abbott (1925). As mortalidades da praga foram submetidas à análise de variância e as médias desta característica para cada inseticida entre os anos foram comparadas pelo teste Tukey a  $p < 0,05$ .

### **2.4.2. Falhas de controle dos inseticidas ao longo do tempo nos biomas**

Foram calculadas as percentagens de populações de *T. absoluta* para as quais os inseticidas apresentaram falhas de controle. Foi considerada falha de controle quando o inseticida causou mortalidade significativamente menor que 80% pelo teste t a  $p < 0,05$ . Este valor foi utilizado como parâmetro de eficiência por ser a mortalidade mínima exigida pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento para o registro de inseticidas (Brasil, 1995).

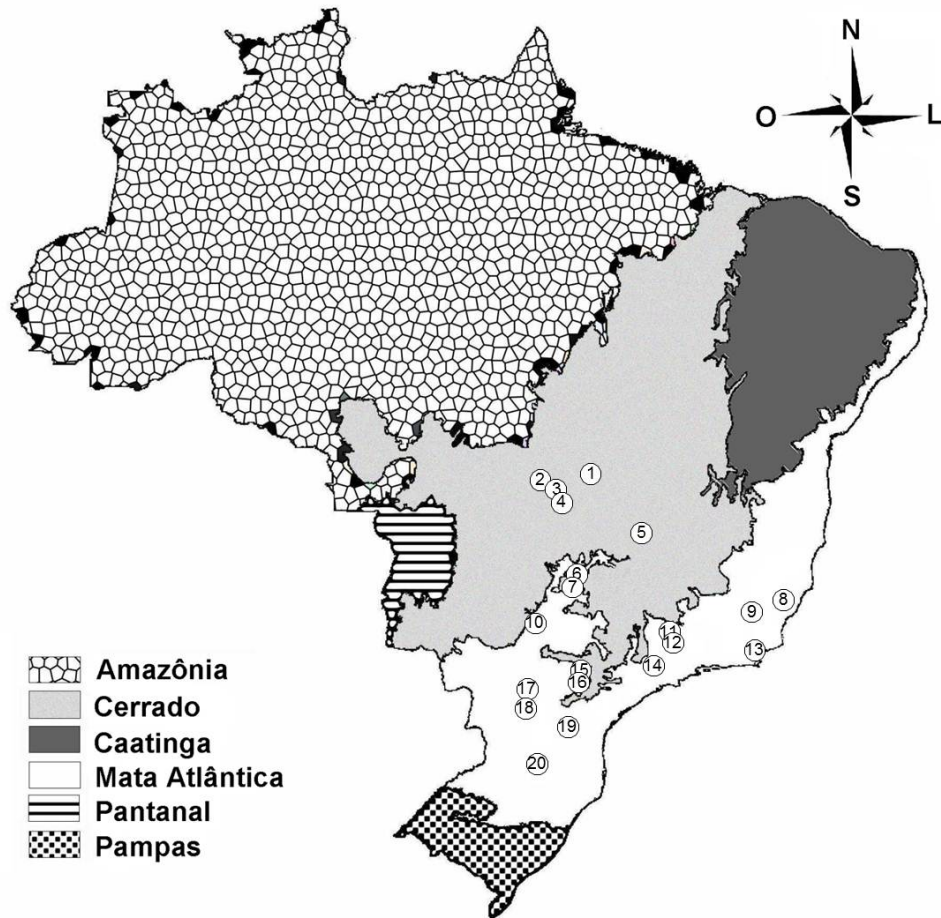
### **2.4.3. Dependência espacial da suscetibilidade de *T. absoluta* aos inseticidas nos biomas**

Modelos de semivariogramas foram estimados para se determinar a dependência espacial das mortalidades de *T. absoluta* causadas pelos inseticidas. Os semivariogramas foram estimados por análise de regressão a  $p < 0,10$  das semivariâncias das mortalidades das populações para cada inseticida em função da distância entre os locais de coleta das populações. As distâncias entre os locais de coleta das populações foram calculadas segundo Donnay (2007) com base nas coordenadas geográficas de cada local. O

segundo ponto de inflexão da curva do semivariograma representa a distância máxima de interferência das mortalidades das populações de *T. absoluta* para o inseticida (Liebhold *et al.*, 1993). Para os inseticidas que apresentaram modelo de semivariograma significativo ( $p < 0,10$ ) foi realizada análise de regressão a  $p < 0,05$  das semivariâncias das mortalidades com as distâncias em latitude (norte-sul) e longitude (leste-oeste) dos locais de coletas das populações de *T. absoluta*.

#### **2.4.4. Influência dos locais de coleta na suscetibilidade de *T. absoluta* aos inseticidas**

Realizou-se análise de componentes principais (PCA) das mortalidades de *T. absoluta* em função da insolação, temperatura média do ar e chuvas dos locais de coleta das populações. Os dados de insolação, temperatura do ar e chuvas correspondem à média local dos anos de avaliação. Para a realização da análise foi utilizado o programa Canoco 4.5 (Ter Braak, 1995). O PCA gerou gráfico de ordenadas “biplot”, no qual os gradientes de reposta foram representados por vetores com origem no ponto central dos eixos do diagrama de ordenação. Neste diagrama o comprimento do vetor é proporcional à importância da variável. As variáveis que apresentam correlação positiva possuem vetores com mesma direção e sentido. Já as variáveis com correlação negativa possuem vetores com mesma direção, mas sentido contrário. Quando o ângulo entre os vetores é de  $90^\circ$  as variáveis não são correlacionadas.



Cidade, Estado	Coordenadas geográficas	Temperatura (°C)	Chuvvas (mm/ano)	Insolação (KJm <sup>2</sup> )
Cerrado				
1 Brasília, DF	15°46'47"S 47°55'47"L	18,93	1825,0	782,7
2 Goiás, GO	15°56'04"S 50°08'25"L	23,76	372,2	891,0
3 Ouro Verde de Goiás, GO	16°13'13"S 49°11'36"L	20,83	313,9	786,2
4 Goianópolis, GO	16°30'31"S 49°01'26"L	23,35	355,9	786,2
5 Buritizeiro, MG	17°21'04"S 44°57'44"L	24,30	936,4	911,6
6 Araguari, MG	18°38'50"S 48°11'14"L	23,20	1522,8	803,9
7 Uberlândia, MG	18°55'07"S 48°16'38"L	20,66	1231,0	803,9
Mata Atlântica				
8 Santa Teresa, ES	19°56'08"S 40°36'01"L	21,85	1162,0	536,2
9 Venda Nova do Imigrante, ES	20°20'23"S 41°08'05"L	21,95	1065,0	536,2
10 Votuporanga, SP	20°25'22"S 49°58'22"L	23,98	968,4	908,3
11 Viçosa, MG	20°45'14"S 42°52'55"L	21,61	1620,0	638,7
12 Coimbra, MG	20°51'24"S 42°48'10"L	21,40	966,6	638,7
13 São João da Barra, RJ	21°38'25"S 41°03'04"L	25,71	889,0	719,6
14 Paty do Alferes, RJ	22°25'43"S 43°25'07"L	23,78	1045,1	670,0
15 Paulínia, SP	22°45'40"S 47°09'15"L	23,20	1465,4	943,7
16 Sumaré, SP	22°49'19"S 47°16'01"L	23,20	1465,4	943,7
17 Londrina, PR	23°18'37"S 51°09'46"L	21,20	1277,3	913,2
18 Marilândia do Sul, PR	23°44'41"S 51°18'28"L	21,13	1526,1	913,2
19 Apiaí, SP	24°30'34"S 48°50'33"L	21,88	1453,5	874,5
20 Caçador, SC	26°46'31"S 51°00'54"L	21,06	1635,5	80,6

Figura 1. Características dos locais de coleta das populações de *Tuta absoluta*.



1 Tabela 1. Características dos inseticidas usados nos bioensaios de suscetibilidade de populações de *Tuta absoluta*.

2

Inseticida	Grupo químico	Concentração (g de i.a/L)/formulação	Mecanismo de ação do inseticida
Abamectina	Avermectina	18 CE	Ativador dos canais de cloro
Bifentrina	Piretróide	100 CE	Modulador dos canais de Na <sup>+</sup>
Clorfenapir	Clorfenapir	240 SC	Desacoplador da fosforilação oxidativa
Espinosade	Espinosinas	480 SC	Ativador dos receptores da acetilcolina
Indoxacarbe	Oxadiazina	300 WG	Bloqueador os canais de Na <sup>+</sup>
Teflubenzurom	Benzoiluréia	150 SC	Inibidor da formação de quitina
Triflumurom	Benzoiluréia	250 WP	Inibidor da formação de quitina

### 3. RESULTADOS

#### 3.1. Variação temporal da suscetibilidade de *T. absoluta* nos biomas

Clorfenapir apresentou alta eficiência de controle (100%) para todas as populações de *T. absoluta* ao longo do tempo em ambos os biomas. As mortalidades médias de *T. absoluta* causadas por clorfenapir e espinosade em ambos os biomas e para abamectina na Mata Atlântica não variaram ao longo do tempo. As menores mortalidades médias causadas por abamectina à *T. absoluta* no bioma do Cerrado ocorreram em 2004. Abamectina e espinosade apresentaram eficiência de controle à grande maioria das populações de *T. absoluta* dos biomas ao longo do tempo (Figuras 3A, 3B e 3C).

O indoxacarbe foi o inseticida com maior variação na mortalidade média e na percentagem de populações de *T. absoluta* com falhas de controle no tempo e no espaço. As mortalidades médias e as falhas de controle pelo indoxacarbe na Mata Atlântica foram menores em 2004 (Figura 3A). Verificou-se redução das mortalidades médias e das falhas de controle pelo indoxacarbe ao inseto no Cerrado ao longo do tempo (Figura 3D).

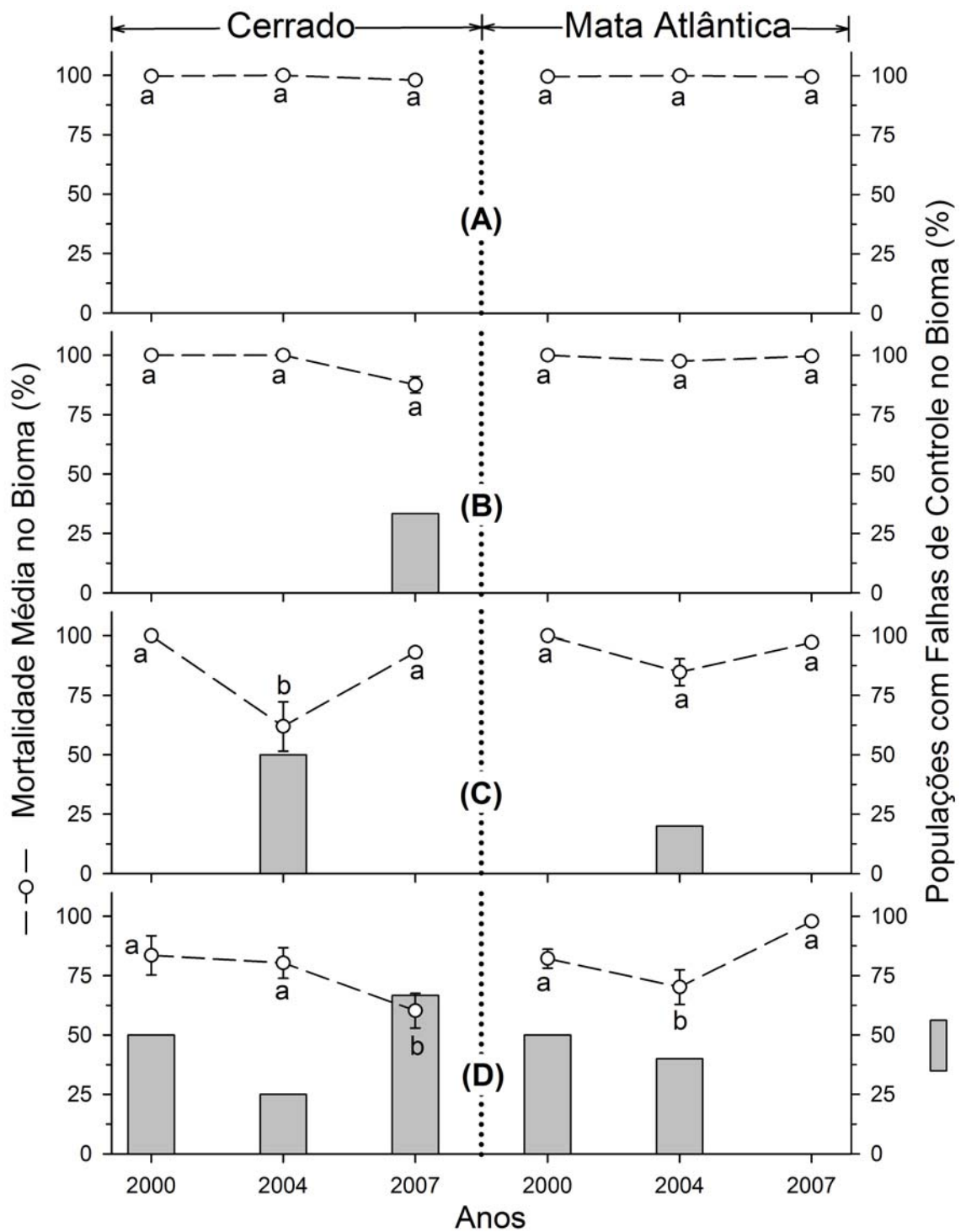


Figura 3. Mortalidade (média  $\pm$  erro padrão) e falhas de controle de populações de *Tuta absoluta* dos biomas Cerrado (sete populações) e Mata Atlântica (treze populações) por (A) clorfenapir, (B) espinosade, (C) abamectina e (D) indoxacarbe. Médias seguidas pela mesma letra não diferem, entre si, pelo teste Tukey a  $p < 0,05$ .

A bifentrina causou alta mortalidade média (>80%) em 2000. Entretanto em 2004 e 2007 este inseticida foi ineficaz no controle (mortalidade menor que 80%) de todas as populações de *T. absoluta*. As menores mortalidades médias causadas pelo teflubenzurom no Cerrado ocorreram em 2004. Já na Mata Atlântica as menores mortalidades médias causadas por esse inseticida ocorreram em 2004 e 2007. O teflubenzurom apresentou falha no controle para a grande maioria das populações de *T. absoluta*, sendo que a porcentagem de populações com falhas de controle por ele tendeu a aumentar ao longo do tempo. Verificou-se aumento da mortalidade média de *T. absoluta* pelo triflumurom ao longo do tempo, sobretudo para as populações do Cerrado. Entretanto este aumento de mortalidade não foi suficiente para que este inseticida tivesse eficiência de controle para qualquer população de *T. absoluta*. As maiores mortalidades médias causadas pelo triflumurom a *T. absoluta* no bioma Cerrado ocorreram em 2007. Já na Mata Atlântica as maiores mortalidades médias causadas por esse inseticida ocorreram em 2004 e 2007 (Figuras 4A, 4B e 4C).

### **3.2. Dependência espacial da suscetibilidade de *T. absoluta* aos inseticidas nos biomas**

No bioma do Cerrado apenas para abamectina e indoxacarbe verificaram-se semivariogramas significativos a  $p < 0,10$ . O segundo ponto de inflexão das curvas dos semivariogramas de abamectina e indoxacarbe foram às distâncias de 352 e 296 km, respectivamente. Portanto, estas foram às distâncias máximas de interferência dos locais de coleta das populações de *T. absoluta* na suscetibilidade a abamectina e indoxacarbe no bioma Cerrado (Figura 5). Já no bioma Mata Atlântica nenhum dos inseticidas estudados apresentou semivariograma significativo a  $p < 0,10$ .

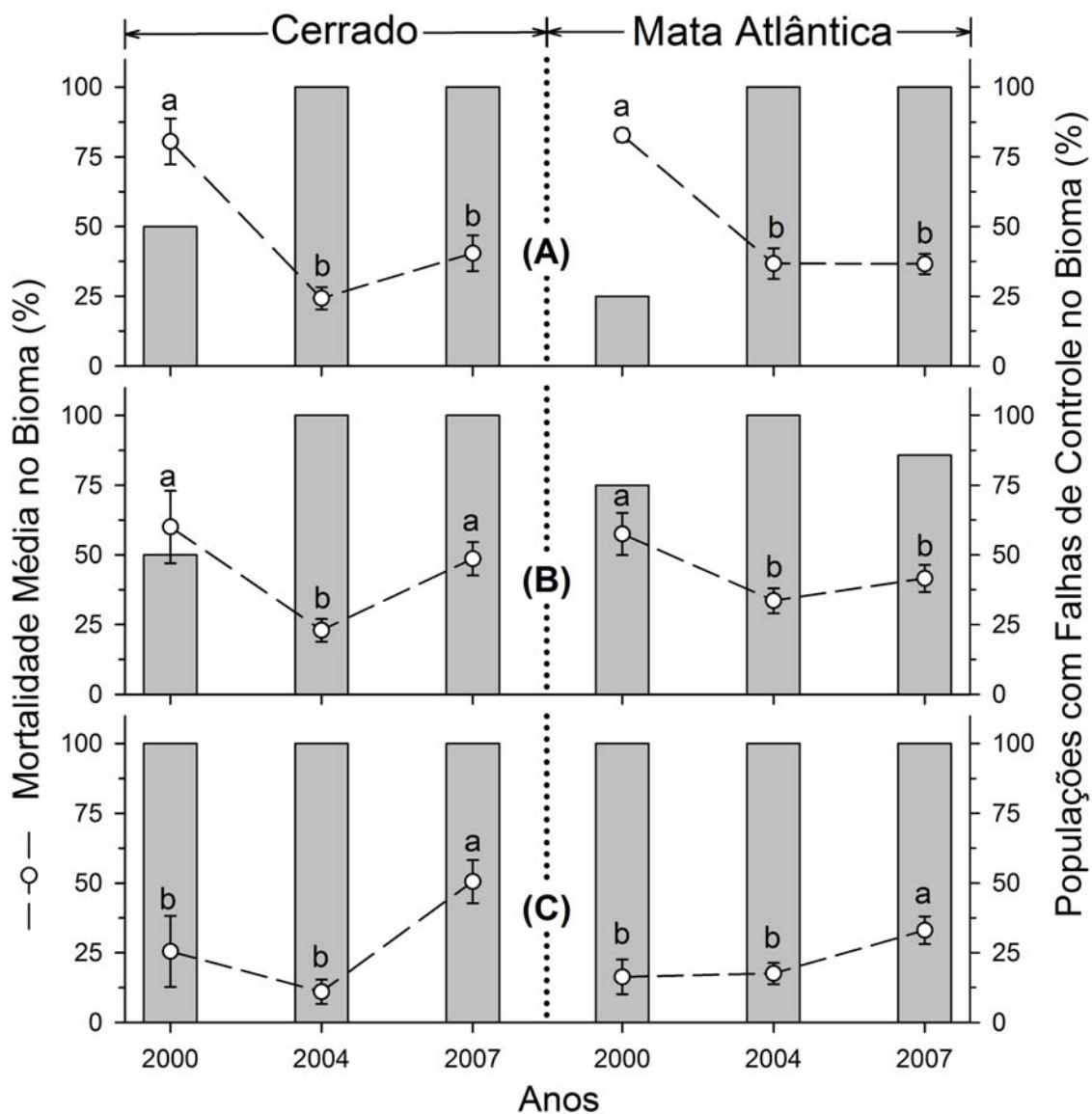


Figura 4. Mortalidade (média  $\pm$  erro padrão) e falhas de controle de populações de *Tuta absoluta* dos biomas Cerrado e Mata Atlântica por (A) bifentrina, (B) teflubenzurom e (C) triflumurom. Médias seguidas pela mesma letra não diferem, entre si, pelo teste Tukey a  $p < 0,05$ .

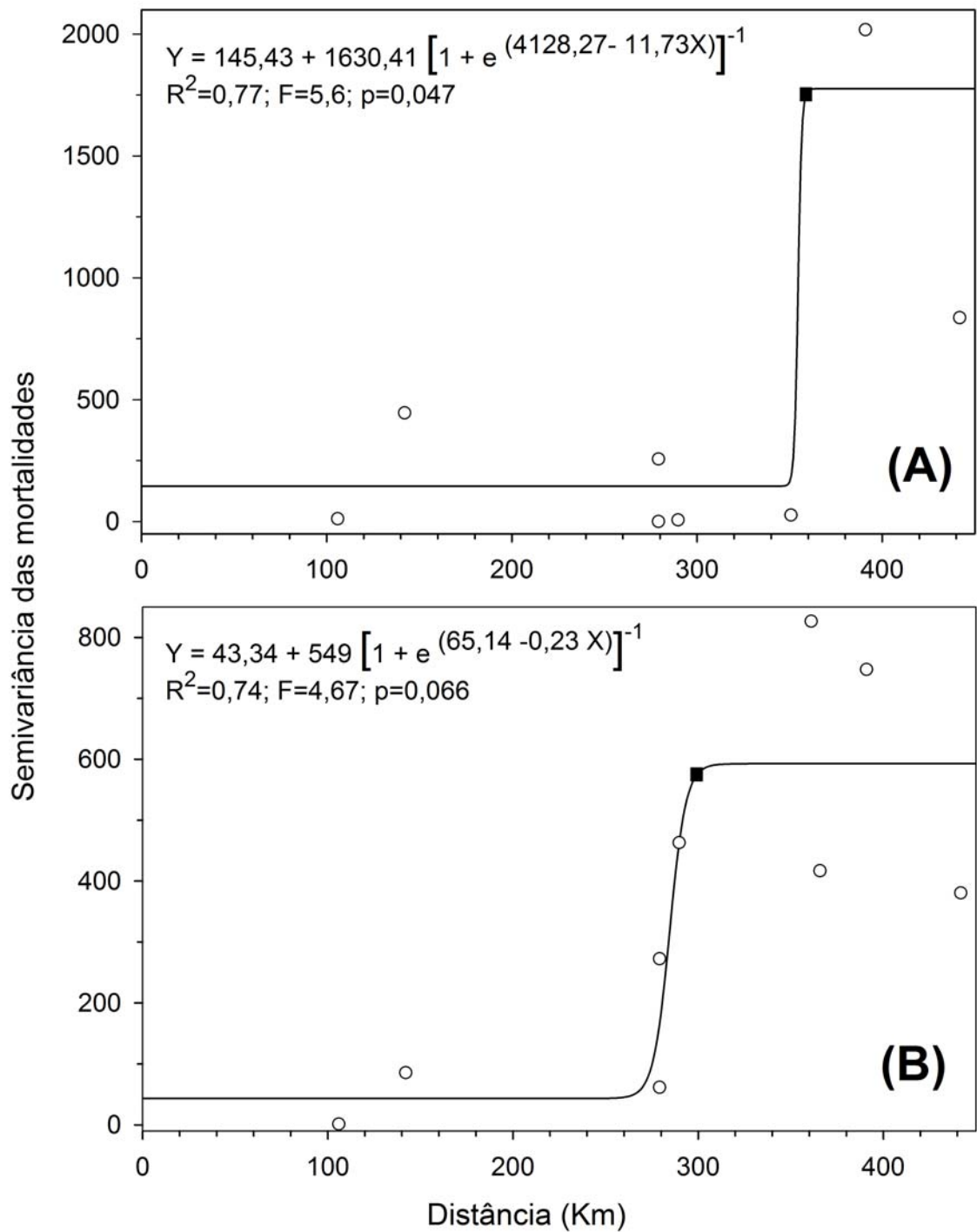


Figura 5. Semivariograma das mortalidades dos inseticidas (A) abamectina e (B) indoxacarbe em função da distância entre os locais de coleta das populações de *Tuta absoluta* no bioma Cerrado.

Verificou-se que a regressão das semivariâncias entre as mortalidades causadas pelos inseticidas abamectina e indoxacarbe foram significativas ( $p < 0,05$ ) para a distância em longitude (direção Leste-Oeste) dos locais de coleta das populações de *T. absoluta* (Figura 6).

### **3.3. Influência dos locais de coleta na suscetibilidade de *T. absoluta* aos inseticidas**

Dos elementos climáticos dos locais de coleta de *T. absoluta* apenas a insolação, temperatura do ar e chuvas apresentaram correlações significativas ( $p < 0,05$ ) com a suscetibilidade de *T. absoluta* aos inseticidas ao longo dos anos. O modelo de componentes principais (PCA) da suscetibilidade de *T. absoluta* aos inseticidas em função das características dos locais de cultivo do tomate gerou quatro eixos que explicaram 89,4% da variância. Neste modelo o fator que mais influenciou a suscetibilidade de *T. absoluta* foi a chuva, seguida pela insolação e temperatura. De acordo com o PCA, a suscetibilidade das populações de *T. absoluta*, os inseticidas podem ser divididos em quatro grupos: 1) clorfenapir; 2) espinosade e indoxacarbe; 3) abamectina e 4) bifentrina, teflubenzurom e triflumurom. A suscetibilidade de *T. absoluta* a clorfenapir correlacionou-se positivamente com a temperatura do ar e insolação e negativamente com as chuvas. As suscetibilidades de *T. absoluta* a espinosade e indoxacarbe correlacionaram-se positivamente com as chuvas e negativamente com a temperatura do ar. Já as suscetibilidades de *T. absoluta* a abamectina, bifentrina, teflubenzurom e triflumurom correlacionaram-se negativamente com a insolação (Figura 7).

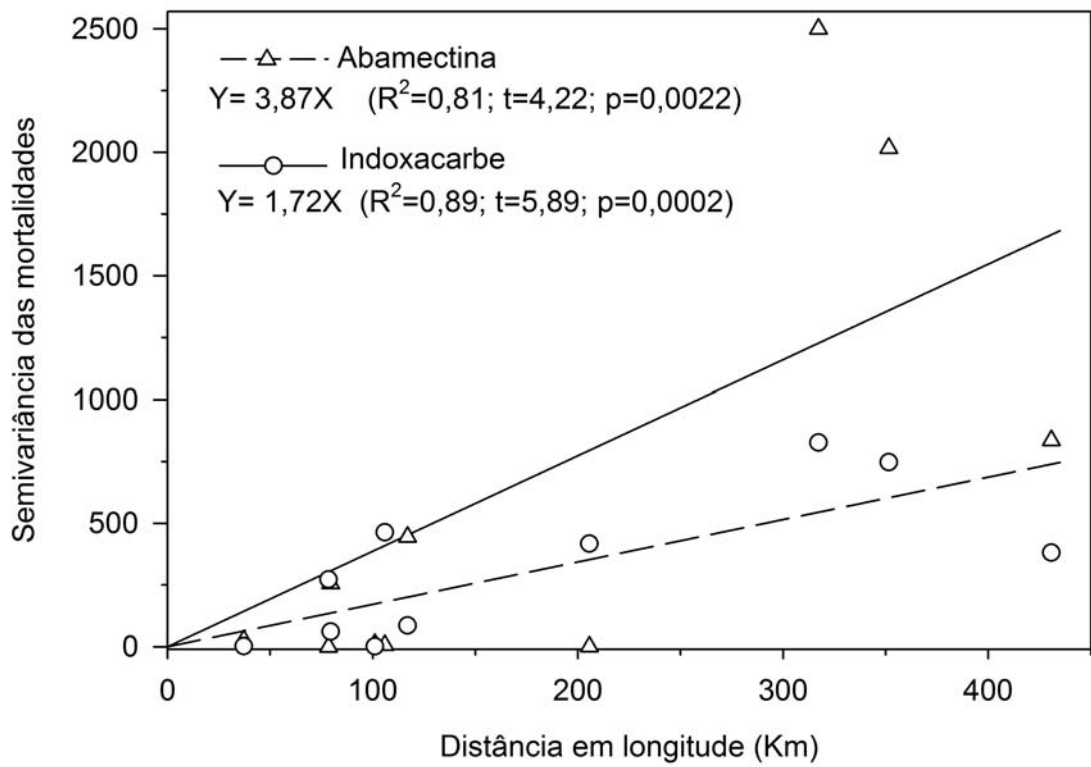


Figura 6. Regressão das semivariâncias das mortalidades causadas pelos inseticidas abamectina e indoxacarbe com as distâncias em longitude dos locais de coleta das populações de *Tuta absoluta* no bioma Cerrado.

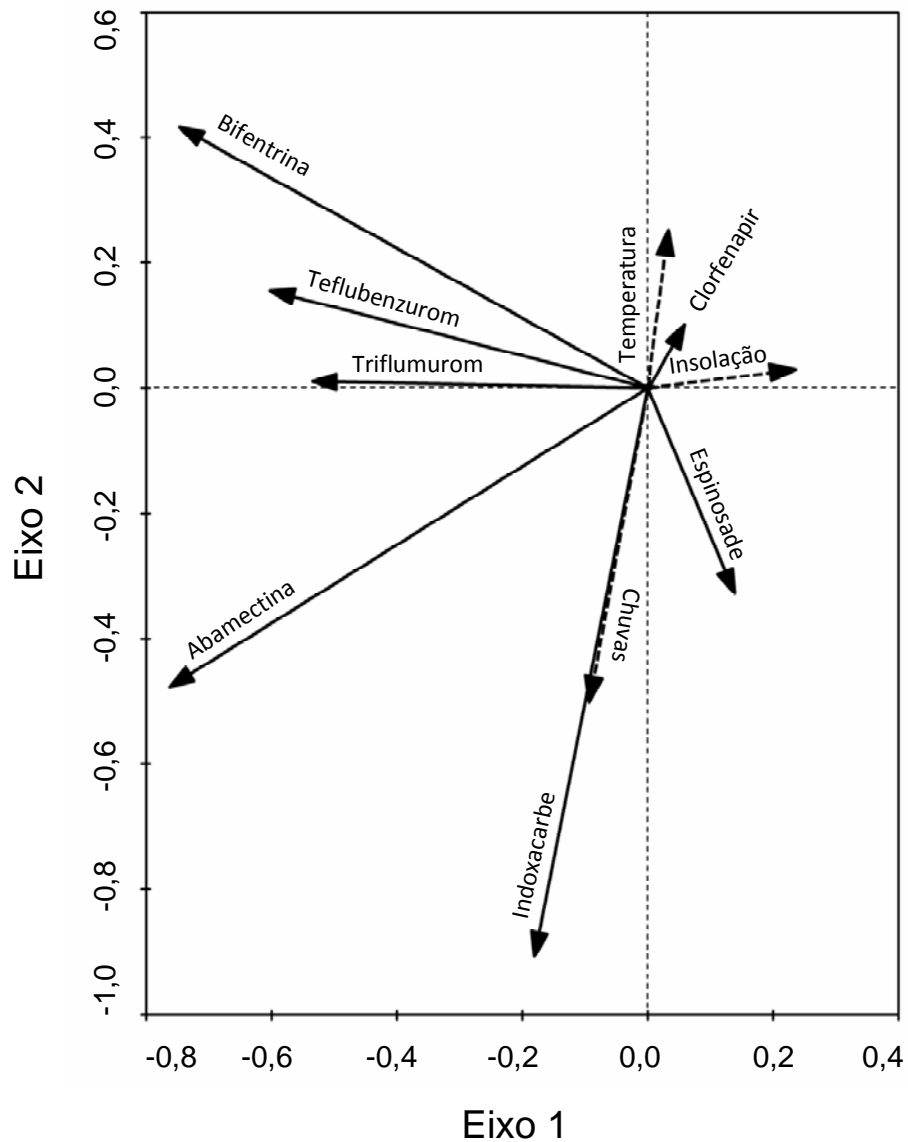


Figura 7. Diagrama da análise dos componentes principais (PCA) do efeito da insolação (KJm<sup>2</sup>), temperatura do ar (°C) e chuvas (mm/ano) dos locais de coleta das populações de *Tuta absoluta* nas mortalidades dos inseticidas. O comprimento do vetor é proporcional à importância da variável. Variáveis com correlação positiva possuem vetores com mesma direção e sentido. Variáveis com correlação negativa possuem vetores com mesma direção e sentido contrário. Quando o ângulo entre os vetores é de 90° as variáveis não são correlacionadas.

#### 4. DISCUSSÃO

Este é o primeiro trabalho que reporta a variação espacial da suscetibilidade de *T. absoluta* a inseticidas ao longo do tempo e o primeiro a avaliar a suscetibilidade de populações deste inseto ao clorfenapir. A suscetibilidade *T. absoluta* aos inseticidas variou no espaço ao longo do tempo. Esta suscetibilidade teve padrões diferenciados em função do inseticida. Assim o monitoramento da resistência de *T. absoluta* aos inseticidas deve ser realizado de forma distinta em locais que possuam características diferentes (biomas) onde o tomate é cultivado no Brasil. Este monitoramento também deve ser feito de forma constante ao longo do tempo nos diferentes locais.

Diversos fatores influenciam o desenvolvimento de populações de insetos resistentes aos inseticidas, entre eles a pressão seletiva exercida pelo uso contínuo e intenso destes produtos. Assim, esperava-se que *T. absoluta* apresentasse maior suscetibilidade aos produtos com menor tempo de uso no seu controle. Entretanto, nem sempre isto ocorreu. Por exemplo, abamectina, teflubenzurom e triflumurom tinham sete anos de uso no controle de *T. absoluta* no início deste trabalho. Porém durante os sete anos de duração

deste trabalho a maioria das populações de *T. absoluta* foi suscetível a abamectina e o inverso ocorreu com os outros dois inseticidas. Também foi verificado entre 2000 e 2007 que a grande maioria das populações de *T. absoluta* foi suscetível ao clorfenapir e espinosade enquanto que o mesmo não ocorreu com o indoxacarbe. Estes inseticidas começaram a ser utilizados para o controle de *T. absoluta* em 2003.

O indoxacarbe foi o inseticida com maior variação na mortalidade média e na percentagem de populações de *T. absoluta* com falhas de controle no tempo e no espaço. Esta variabilidade, possivelmente, está relacionada ao uso prévio de outros inseticidas que selecionaram mecanismos de resistências em populações de *T. absoluta* também resistentes ao indoxacarbe. Os nossos resultados corroboram com esta hipótese já que antes do início do uso do indoxacarbe ou de qualquer inseticida com o mesmo mecanismo de ação, já existiam populações de *T. absoluta* para as quais ele apresentava falha no controle (Silva *et al.*, 2011; Ahmad *et al.*, 2009). A resistência cruzada ao indoxacarbe já foi relatada em *Spodoptera litura*, *Earias vittella* (Lepidoptera: Noctuidae) e *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae) induzidas por piretróides (Sayyed & Wright, 2006; Ahmad *et al.*, 2008, 2009).

A bifentrina causou alta mortalidade média (>80%) no início das avaliações. Entretanto nos anos seguintes este inseticida foi ineficaz no controle de todas as populações de *T. absoluta*. Isto ocorreu, possivelmente, devido ao uso contínuo e intenso de outros piretróides em anos anteriores. Tal hipótese é baseada no fato que o piretróide permetrina foi o único inseticida usado no controle de *T. absoluta* no início da década de 1980 no Brasil. Este uso era intenso com até 36 aplicações/cultivo. No final da década de 1980 já era relatado pelos tomaticultores falhas de controle generalizadas da traça do

tomateiro pela permetrina (Picanço *et al.* 1998). Assim no início da década de 1990 não se utilizou mais a permetrina no controle de *T. absoluta*. Situação esta que permaneceu por 10 anos quando teve início o uso da bifentrina com boa eficiência (>80%). Entretanto, em quatro anos a bifentrina já não era eficiente no controle de *T. absoluta*.

A partir de 2004 verificou-se aumento da suscetibilidade de *T. absoluta* ao triflumurom. Este aumento foi maior no Cerrado do que na Mata Atlântica. Assim pode-se pensar no retorno do uso deste inseticida no controle de *T. absoluta* em anos futuros. Realizando simulação do retorno de uso deste inseticida em anos futuros encontramos que o triflumurom atingiria entre 2011 e 2012 eficiência suficiente (>80%) para seu uso no Cerrado (Mortalidade (%) =  $31138 + 19,54 \times \text{Ano}$ ;  $R^2=0,74$ ;  $F=14,33$ ;  $p=0,013$ ). Entretanto, não foi possível simular quando ocorreria este retorno de uso na Mata Atlântica devido a menor elevação da mortalidade ao longo do tempo neste bioma.

Nos locais mais secos e quentes foi menor a suscetibilidade de *T. absoluta* ao espinosade e indoxacarbe. Já locais de maior insolação foi menor a suscetibilidade do inseto a abamectina, bifentrina, teflubenzurom e triflumurom. Os elementos climáticos podem afetar a resistência de insetos a inseticidas devido à influência do clima no desempenho biológico destes e na toxicidade dos inseticidas. Provavelmente, isto ocorreu devido a *T. absoluta* apresentar maior desempenho reprodutivo em locais de clima mais seco, quente e ensolarado (Miranda *et al.*, 1998). Em adição, pode ter ocorrido um sinergismo entre o maior desempenho reprodutivo dessa praga e as sucessivas pulverizações de inseticidas, resultando na seleção de populações resistentes a estes compostos.

As populações de *T. absoluta* do Cerrado foram menos suscetíveis a abamectina e indoxacarbe que as populações da Mata Atlântica. Este resultado pode estar relacionado às diferenças climáticas destes dois biomas. O Cerrado na época de cultivo do tomate apresenta temperatura mais elevada e baixa pluviosidade. Estas características podem afetar tanto o desempenho biológico de *T. absoluta* como a toxicidade dos inseticidas (Bacci, 2006; Daam & Van den Brink, 2010).

A não observação de dependência espacial da suscetibilidade de *T. absoluta* para a bifentrina, clorfenapir, espinosade, teflubenzurom e triflumurom indica que a resistência a estes inseticidas está associada a fatores locais como o clima do local de cultivo do tomate e as práticas usadas na cultura.

As grandes distâncias de interferência dos locais de coleta das populações do Cerrado na toxicidade da abamectina e indoxacarbe indicam que é elevado o fluxo de genes entre populações deste inseto. Isto se deve a capacidade de dispersão de *T. absoluta*, o que pode ser verificado pela sua rápida dispersão no Brasil no final da década de 1970. Dois anos após a sua constatação essa praga encontrava-se dispersa por mais de 2000 km, O mesmo fenômeno vem ocorrendo na Europa e África, onde em apenas três anos essa praga se dispersou por vários países (Morais & Normanha Filho, 1982; Garcia-Marí & Vercher, 2010).

A verificação de dependência espacial da suscetibilidade de *T. absoluta* a abamectina e indoxacarbe no Cerrado e não na Mata Atlântica se deve, possivelmente, aos relevos destes biomas interferirem na dispersão do inseto. O relevo na Mata Atlântica é montanhoso enquanto no Cerrado ele é plano. Como os obstáculos geográficos dificultam a migração (Finn *et al.*, 2006), este fenômeno deve ser maior no Cerrado do que na Mata Atlântica. Isso, que deve

ser o responsável pela dependência espacial da suscetibilidade de *T. absoluta* a abamectina e indoxacarbe apenas no Cerrado. Como vento é um dos principais fatores envolvidos na dispersão dos insetos (Reynolds *et al.* 1997) a verificação no Cerrado de dependência espacial apenas no sentido leste-oeste se deve, possivelmente, aos ventos neste bioma serem predominantemente nesta direção e sentido (Gonçalves, 2006).

Nossos resultados mostram a influência do tempo e do espaço na suscetibilidade de *T. absoluta* aos inseticidas. Neste contexto o clima e o relevo, os locais de cultivo influenciam o desenvolvimento de resistência de *T. absoluta* aos inseticidas. Em locais de clima seco, quente e ensolarado são maiores os riscos de desenvolvimento de resistência de *T. absoluta* aos inseticidas. Em relevo plano e em cultivos posicionados na direção dos ventos são maiores os riscos de dispersão de *T. absoluta* e de propagação da sua resistência a inseticidas como ocorre no Cerrado brasileiro.

## 5. CONCLUSÕES

A maioria das populações brasileiras de *T. absoluta* é suscetível a abamectina, clorfenapir e espinosade e não é suscetível a bifentrina, teflubenzurom e triflumurom. É variável no tempo e espaço a suscetibilidade das populações brasileiras de *T. absoluta* ao indoxacarbe. Populações *T. absoluta* do Cerrado são menos suscetíveis a abamectina e indoxacarbe que populações da Mata Atlântica. Em locais de clima seco, quente e ensolarado são maiores os riscos de desenvolvimento de resistência de *T. absoluta* a inseticidas. Em relevo plano e em cultivos posicionados na direção dos ventos são maiores os riscos de dispersão de *T. absoluta* e de propagação da sua resistência a inseticidas.

## 6. LITERATURA CITADA

- Abbott, W.S. A method of computing the effectiveness of an insecticide. **Journal of Economic Entomology**, v.18, p.265-266. 1925.
- Ahmad, M.; Arif, M.I. Resistance of Pakistani field populations of spotted bollworm *Earias vittella* (Lepidoptera: Noctuidae) to pyrethroid, organophosphorus and new chemical insecticides. **Pest Management Science**, v.65, p.433-439. 2009.
- Ahmad, M.; Sayyed, A.H.; Saleem, M.A.; Ahmad, M. Evidence for field evolved resistance to newer insecticides in *Spodoptera litura* (Lepidoptera: Noctuidae) from Pakistan. **Crop Protection**, v.27, p.1367-1372. 2008.
- Andrei, E. **Compêndio de defensivos agrícolas**: São Paulo-SP, Andrei editora, 8ed, 2009. 1380p.
- Bacci, L. **Fatores determinantes do ataque de *Tuta absoluta* ao tomateiro**. Tese (Doutorado em Fitotecnia). - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2006. 133p.
- Borgoni, C.P.; Silva, R.A.; Carvalho, G.S. Consumo de mesofilo foliar por *Tuta absoluta* (Meyrick, 1917) (Lepidoptera: Gelechiidae) por três cultivares de *Lycopersicon esculentum* Mill. **Ciência Rural**, v.33, p.7-11. 2003.
- Brasil. **Normas e exigências para execução de testes de produtos químicos para fins de registro no MAPA**. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. Brasília: MAPA 1995.
- Daam, M.A.; Van den Brink, P.J. Implications of differences between temperate and tropical freshwater ecosystems for the ecological risk assessment of pesticides. **Ecotoxicology**, v.19, n1, p.24-37. 2010.

- Desneux, N.; Wajnberg, E.; Wyckhuys, K.A.G.; Burgio, G.; Arpaia, S.; Narváez-Vasquez, C.A.; González-Cabrera, J.; Catalán, R.D.; Tabone, E.; Frandon, J.; Pizzol, J.; Poncet, C.; Cabello, T.; Urbaneja, A. Biological invasion of European tomato crops by *Tuta absoluta*: ecology, geographic expansion and prospects for biological control. **Journal of Pest Science**, v.83, p.197-215. 2010.
- Donnay, J.D.H. **Spherical Trigonometry**. New York: Interscience Publishers. 2007.
- Finn, D.S.; Theobald, D.M.; Black, W.C.; Poff, N.L. Spatial population genetic structure and limited dispersal in a Rocky Mountain alpine stream insect. **Molecular Ecology**, v.15, p.3553-3566. 2006.
- Fisk, T.; Wright, D.J. Response of *Spodoptera exempta* (Walk) larvae to simulated field spray applications of acylurea insect growth-regulators with observations on cuticular uptake of acylureas. **Journal Pest Science**, v.35, p.321-330. 1992.
- Garcia-Marí, F.; Vercher, R. Descripción, origen y expansión de *Tuta absoluta* (Lepidoptera; Gelechiidae). **Phytoma-España**, v.20, p.16-20. 2010.
- Giordano, L.B.; Silva, C. Hibridação em tomate. In: Borém, A. (Ed.). **Hibridação artificial de plantas**. Viçosa: UFV, p.463-480, 1999.
- Gonçalves, W.B. **Contribuições quanto aos aspectos bioclimáticos**. Brasília, DF, p.14. 2006.
- Guedes, R.N.C.; Picanço, M.C.; Matioli, A.L.; Rocha, D.M. Efeito de inseticidas e sistemas de condução do tomateiro no controle de *Scrobipalpus absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae). **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, v.23, p.321-325. 1994.
- Liebholt, A.M.; Rossi, R.E.; Kemp, W.P. Geostatistics and geographic information systems in applied insect ecology. **Annual Review of Entomology**, v.38, p.303-327. 1993.
- Lietti, M.; Bottoii, E.; Alzogaray, R. Insecticide resistance in Argentine populations of *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae). **Neotropical Entomology**, v.3, p.113-119. 2005.
- MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Relatório de produtos formulados**. Brasília: Departamento de Fiscalização de Insumos Agrícolas. Coordenação -Geral de Agrotóxicos e Afins. 2011.
- Marques, O.; Tienne, L.; Cortine, E.; Valcarcel, R. Atributos ambientais definidores de presença de fragmentos florestais de Mata Atlântica em micro-bacias instáveis. **Revista Universidade Rural**, v.24, p.145-150. 2004.

- Miranda, E.E. Brasil em Relevô. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2005. Disponível em: <<http://www.relevobr.cnpem.embrapa.br>>. Acesso em: 01 fevereiro 2011.
- Miranda, M.M.M.; Picanço, M.C.; Zanuncio, J.C.; Guedes, R.N.C. Ecological life table of *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae). **Biocontrol Science Technology**, v.8, p.597-606. 1998.
- Morais, G.J.; Normanha Filho, J.A. Surto de *Scropipalpula absoluta* (Meyrick) em tomateiro no Trópico Semi-Árido. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.17, p.503-504. 1982.
- Picanço, M.C.; Bacci, L.; Crespo, A.L.B.; Miranda, M.M.M; Martins, J.C. Effect of Integrated pest management practices on tomato *Lycopersicon esculentum*, production and preservation of natural enemies of pests. **Agricultural and Forest Entomology**, v.9, p.201-212. 2007.
- Picanço, M.C.; Guedes, R.N.C.; Leite, G.L.D.; Fontes, P.C.R.; Silva, E.A. Incidência de *Scrobipalpuloides absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae) em tomateiro sob diferentes sistemas de tutoramento e controle químico de pragas. **Horticultura Brasileira**, v.13, p.180-183. 1995.
- Picanço, M.C.; Leite, G.L.D.; Guedes, R.N.C.; Silva, E.A. Yield loss in trellised tomato affected by insecticidal sprays and plant spacing. **Crop Protection**, v.17, p.447-452. 1998.
- Reynolds, M.H.; Snetsinger, T.J.; Herrmann, C.M. Kauai's endangered solitaires: update on population status and distribution. **Transactions of the Western Section of the Wildlife Society**, v.33, p.49-55. 1997.
- Reynolds, S.E. The cuticle, growth regulators and moulting in insects: the essential background to the action of acylurea insecticides. **Journal Pest Science**, v.20, p.131-146. 1987.
- Salazar, E.; Araya, J. Tomato moth, *Tuta absoluta* (Meyrick) response to insecticides in Arica, Chile. **Agricultura Técnica**, v.61, p.429-435. 2001.
- Salazar, E.R.; Araya, J.E. Detección de resistencia a insecticidas en la polilla del tomate. **Simiente**, v.67, p.8-22. 1997.
- Sayed, A.H.; Wright, D.J. Genetics and evidence for an esterase-associated mechanism of resistance to indoxacarb in a field population of diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae). **Pest Management Science**, v.62, p.1045-1051. 2006.
- Silva, G.A.; Picanço, M.C.; Bacci, L.; Crespo, A.L.B.; Rosado, J.F.; Guedes, R.N.C. Control failure likelihood and spatial dependence of insecticide

resistance in the tomato pinworm, *Tuta absoluta*. **Pest Management Science**. 2011. (prelo).

Siqueira, H.A.A.; Guedes, R.N.C.; Fragoso, D.B.; Magalhães, L.C. Abamectin resistance and synergism in Brazilian populations of *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae). **International Journal of Pest Management**, v.47, p.247-251, 2001a.

Siqueira, H.A.A.; Guedes, R.N.C.; Picanço, M.C. Cartap resistance and synergism in populations of *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae). **Journal Applied Entomology**, v.124, p.233-238. 2000.

Siqueira, H.A.A.; Guedes, R.N.C.; Picanço, M.C. Insecticide resistance in populations of *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae). **Agricultural and Forest Entomology**, v.2, p.147-153, 2001b.

Ter Braak, C.J.F. Ordination. In: Jongman, R.H.G; Ter Braak, C.J.F.; Van Tongeren, O.F.R. (Eds.). **Data analysis in community and landscape ecology**. Cambridge: Cambridge University Press, p.91-173, 1995.