

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

POLINIZAÇÃO EM CANOLA (*Brassica napus*) POR
Apis mellifera E *Tetragonisca angustula*

Autora: Simone Cristina Camargo
Orientador: Prof. Dr. Vagner de Alencar Arnaut de Toledo

MARINGÁ
Estado do Paraná
dezembro - 2017

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

POLINIZAÇÃO EM CANOLA (*Brassica napus*) POR
Apis mellifera E *Tetragonisca angustula*

Autora: Simone Cristina Camargo
Orientador: Prof. Dr. Vagner de Alencar Arnaut de Toledo
Coorientadora: Prof.^a. Dr.^a Regina Conceição Garcia

Tese apresentada, como parte das exigências para obtenção do título de DOUTORA EM ZOOTECNIA, no Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da Universidade Estadual de Maringá - Área de Concentração Produção Animal

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Biblioteca Central - UEM, Maringá, PR, Brasil)

C172p Camargo, Simone Cristina
Polinização em Canola (*Brassica napus*) por *Apis mellifera* e *Tetragonisca angustula* / Simone Cristina Camargo. -- Maringá, 2017.
97 f. : il. color., figs., tabs.

Orientador: Prof. Dr. Vagner de Alencar Arnaut de Toledo.

Coorientadora: Prof.^a Dr.^a Regina Conceição Garcia.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual de Maringá, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, 2017.

1. Canola (*Brassica napus*) - Polinização - Produção - Abelha nativa (*Tetragonisca angustula*).
2. Canola - Comportamento da abelha nativa (*Tetragonisca angustula*). 3. Canola - Comportamento da abelha *Apis mellifera*. 4. Polén - Qualidade nutricional. 5. Abelha Jataí. I. Toledo, Vagner de Alencar Arnaut de, orient. II. Garcia, Regina Conceição, coorient. III. Universidade Estadual de Maringá. Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Zootecnia. IV. Título.

CDD 21.ed. 638.1

Mariza Nogami
CRB 9/1569



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

POLINIZAÇÃO EM CANOLA (BRASSICA NAPUS) POR
APIS MELLIFERA E TETRAGONISCA ANGUSTULA

Autora: Simone Cristina Camargo
Orientador: Prof. Dr. Vagner de Alencar Arnaut de Toledo

TITULAÇÃO: Doutora em Zootecnia - Área de Concentração Produção
Animal

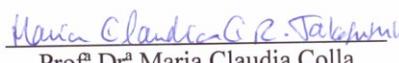
APROVADA em 21 de dezembro de 2017.



Profª Drª Regina Helena Nogueira
Couto



Profª Drª Regina Conceição
Garcia



Profª Drª Maria Claudia Colla
Ruyolo Takasusuki



Prof. Dr. Daniel Nicodemo



Prof. Dr. Vagner de Alencar Arnaut de Toledo
Orientador

“Tenho a impressão de ter sido uma criança brincando à beira-mar, divertindo-me em descobrir uma pedrinha mais lisa ou uma concha mais bonita que as outras, enquanto o imenso oceano da verdade continua misterioso diante de meus olhos”.

Isaac Newton

Aos

Meus irmãos e amigos,
pelas alegrias e tristezas compartilhadas.

Ao

Ângelo Carlos da Silva e Regina Conceição Garcia, por todo o incentivo e
ajuda.

Ao

Meu esposo Bruno Garcia Pires,
pela ajuda na superação dos obstáculos que surgiram durante esse período,
além da compreensão demonstrada durante minha ausência.

Ao

Meu filho Francisco Camargo Pires,
pelo carinho e compreensão demonstrado em todos os momentos.

DEDICO...

AGRADECIMENTOS

A realização desta tese contou com apoios e incentivos que foram essenciais para que a mesma se tornasse realidade, aos quais estarei eternamente grata.

À Universidade Estadual de Maringá - UEM e, em especial ao Programa de Pós-graduação em Zootecnia da UEM, pela oportunidade concedida.

Ao Professor Dr. Vagner de Alencar Arnaut de Toledo, pela sua orientação, pelo saber transmitido, pelas opiniões e críticas, pela colaboração para solucionar dúvidas e problemas que foram surgindo ao longo da realização deste trabalho e por todas as palavras de incentivo.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela bolsa de estudo concedida durante este período.

À Universidade Estadual do Oeste do Paraná, que forneceu estrutura física e suporte logístico para que este trabalho fosse realizado.

À BAYER, pelo apoio financeiro que possibilitou a realização deste trabalho.

À minha coorientadora Professora Dr.^a Regina Conceição Garcia, pela orientação, incentivo, disponibilidade e amizade.

Aos Professores Dr. Edmar Soares de Vasconcelos e Dr. Newton Tavares Escocard de Oliveira, por toda dedicação e auxílio nas análises estatísticas.

Ao Professor Dr. José Barbosa Duarte-Júnior, pelos conhecimentos agronômicos repassados sobre a cultura de canola.

Aos servidores do Núcleo de Estações Experimentais da UNIOESTE, Alceu Maurício Hartleben, por todo o auxílio na instalação e manutenção do experimento, bem como sua amizade nesses anos de trabalho, e ao Marcelo Júnior Lang, pela prestação de serviço na instalação do experimento.

A empresa CELENA, pela doação das sementes de canola usadas neste trabalho.

Ao Bruno Garcia Pires, meu esposo e companheiro, pela ajuda e incentivo em todas as etapas de desenvolvimento da pesquisa.

Ao meu sogro Ângelo Carlos da Silva, por toda ajuda na instalação e logística do experimento.

Ao colega Milciades Melgarejo, por toda ajuda técnica desde o plantio à colheita da canola.

Aos colegas e amigos do grupo de pesquisa GEPA da UNIOESTE, que colaboraram para a realização desse trabalho, auxiliando na instalação do experimento coleta de dados e na realização das análises laboratoriais, Ana Tereza, Andrés Patinõ, Bárbara Letícia Marquioro, David Gomez, Douglas Galhardo, Edirlene Arnhold, Karin Royer, Luanda das Neves, Renato Ribeiro, Ricardo Mittank, Sandra Ströher, Tatiane Kaiser e Thiago Radtke.

Às colegas de curso Erica Gomes e Rejane Stubs, pela amizade e apoio.

A todos que de alguma forma contribuíram para a execução desse trabalho.

BIOGRAFIA

Simone Cristina Camargo, filha de Aristides Camargo e Anir Gema Camargo, nasceu em Toledo, Paraná, no dia 11 de março de 1985.

Em dezembro de 2007, concluiu o curso de Zootecnia pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná.

Em julho de 2009, iniciou no Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, em nível de Mestrado, área de concentração Produção Animal, na Universidade Estadual do Oeste do Paraná, realizando estudos na área de Apicultura, obtendo o título de Mestre em Zootecnia em dezembro de 2011.

Em março de 2014, ingressou no Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, em nível Doutorado – Área de Concentração Produção Animal na Universidade Estadual de Maringá.

No mês de junho de 2017, submeteu-se ao exame geral de qualificação.

No mês de dezembro de 2017, submeteu-se à defesa da tese.

ÍNDICE

	Páginas
LISTA DE TABELA	x
LISTA DE FIGURAS	xiii
RESUMO	xviii
ABSTRACT	xx
I – INTRODUÇÃO GERAL	1
1.1 Cenário econômico da agricultura no Brasil	1
1.2 Produção e dados econômicos da canola	2
1.3 Aspectos gerais da cultura de canola	5
1.3.1 Origem da canola	5
1.3.2 Desenvolvimento do Híbrido Hyola	6
1.4 Características botânicas da canola	7
1.4.1 Morfologia floral	7
1.4.2 Fenologia reprodutiva	8
1.5 Polinização	9
1.6 Dispersão dos grãos de pólen de canola	10
1.7 Efeito da polinização por <i>Apis mellifera</i> na produtividade de canola	11
1.8 Abelhas nativas polinizadoras de canola	12
1.9 Impacto da polinização por abelhas na economia	13
Referências	15
II – OBJETIVOS GERAIS	19

III – POLINIZAÇÃO REALIZADA POR <i>Apis mellifera</i> , <i>Tetragonisca angustula</i> E POR AMBAS EM ASSOCIAÇÃO, SOBRE A PRODUÇÃO E QUALIDADE DOS GRÃOS DE CANOLA (<i>Brassica napus</i> L.)	20
Resumo	20
Abstract	20
Lista de abreviações	22
Introdução.....	23
Material e Métodos.....	24
Resultados	28
Discussão.....	29
Referências	34
Legenda das figuras.....	38
IV – EFEITOS DOS HORÁRIOS DO DIA E COVARIÁVEIS AMBIENTAIS SOBRE O COMPORTAMENTO DE ABELHAS <i>Apis mellifera</i> E <i>Tetragonisca angustula</i> NA CULTURA DA CANOLA (<i>Brassica napus</i> L.).....	45
Resumo.....	45
Abstract	45
Introdução.....	47
Material e Métodos.....	48
Procedimentos Estatísticos	49
Resultados	51
Discussão.....	55
Referências	58
Legenda das figuras.....	62
V– VALOR NUTRICIONAL DO PÓLEN APÍCOLA COLETADO NO ALVADO E DO PÓLEN ARMAZENADO, PROVENIENTES DA CANOLA (<i>Brassica napus</i> L.), COLETADOS POR ABELHAS <i>Apis</i> <i>mellifera</i> L. E <i>Tetragonisca angustula</i> L	79
Resumo.....	79
Abstract	80
Lista de abreviações	81

Introdução.....	82
Material e Métodos.....	83
Resultados	86
Discussão.....	87
Referências	90
Legenda da figura.....	93

LISTA DE TABELAS

	Páginas
III – POLINIZAÇÃO REALIZADA POR <i>Apis mellifera</i>, <i>Tetragonisca angustula</i> E POR AMBAS EM ASSOCIAÇÃO, SOBRE A PRODUÇÃO E QUALIDADE DOS GRÃOS DE CANOLA (<i>Brassica napus</i> L.)	
Tabela 1. Valores médios de rendimento de grãos de canola (Hyola 76), de acordo com os testes de polinização e os anos agrícolas. Entre Rios do Oeste, Paraná, Brasil	39
Tabela 2. Estimativa da média do número de síliquas por planta (NSP), número de grãos por síliqua (NGS), massa de grãos por síliqua (MGS), comprimento de síliqua (CS), rendimento (REND), germinação (GER), extrato etéreo (EE), proteína bruta (PB) dos grãos de canola (Hyola 76) de acordo com os testes de polinização. Entre Rios do Oeste, Paraná, Brasil	40
Tabela 3. Valores das estatísticas calculadas de Shapiro-Wilk (W) e Kolmogorov-Smirnov (d)	41
IV – EFEITOS DOS HORÁRIOS DO DIA E COVARIÁVEIS AMBIENTAIS SOBRE O COMPORTAMENTO DE	

**ABELHAS *Apis mellifera* E *Tetragonisca angustula* NA
CULTURA DA CANOLA (*Brassica napus* L.)**

Tabela 1. Resultados dos valores de “scaled deviance”* para mensurar a qualidade do ajuste dos modelos lineares generalizados	64
Tabela 2. Análise das estimativas dos parâmetros dos modelos de regressão e respectivos níveis descritivos.....	65
V – VALOR NUTRICIONAL DO PÓLEN APÍCOLA COLETADO NO ALVADO E DO PÓLEN ARMAZENADO, PROVENIENTES DA CANOLA (<i>Brassica napus</i> L.), COLETADOS POR ABELHAS <i>Apis mellifera</i> L. E <i>Tetragonisca angustula</i> L.	
Tabela 1. Análise de variância das variáveis: matéria seca (MS), matéria mineral (MM), proteína bruta (PB), extrato etéreo (EE), carboidratos totais (CT) de amostras de pólen apícola e pólen armazenado, coletado pelas abelhas <i>A. mellifera</i> e <i>T. angustula</i> na cultura de canola (Hyola 76). Entre Rios do Oeste, Paraná, Brasil.....	94
Tabela 2. Desdobramento da interação entre amostras de pólen x ano agrícola, referente às variáveis ¹ : matéria seca (MS), proteína bruta (PB) e carboidratos totais (CT) do pólen apícola e pólen armazenado, coletados pelas abelhas <i>A. mellifera</i> e <i>T. angustula</i> na cultura de canola. Entre Rios do Oeste, Paraná, Brasil.....	95
Tabela 3. Valores médios* da matéria mineral (MM) e extrato etéreo (EE) de amostras de pólen apícola e pólen armazenado, coletados pelas abelhas <i>A. mellifera</i> e <i>T. angustula</i> na	

cultura de canola (Hyola 76), de acordo com as amostras de pólen e os anos agrícolas. Entre Rios do Oeste, Paraná, Brasil.....	96
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

LISTA DE FIGURAS

	Páginas
I – INTRODUÇÃO GERAL	
Figura 1. Triângulo de U: Relação genômica das principais espécies cultivadas de <i>Brassica</i> . Fonte: OGTR (2016).....	5
 III – POLINIZAÇÃO REALIZADA POR <i>Apis mellifera</i>, <i>Tetragonisca angustula</i> E POR AMBAS EM ASSOCIAÇÃO, SOBRE A PRODUÇÃO E QUALIDADE DOS GRÃOS DE CANOLA (<i>Brassica napus</i> L.)	
Figura 1. Uso e ocupação da terra, em um raio de 1.500 m ao redor do cultivo de canola no ano de 2015 (A) e no ano de 2016 (B). Entre Rios do Oeste, PR, Brasil.....	42
Figura 2. Dados meteorológicos obtidos na estação climatológica da UNIOESTE, município de Entre Rios do Oeste, Paraná, Brasil, no período de maio a outubro dos anos de 2015 e 2016. Temperatura máxima, mínima e média (°C); UR (%) - Umidade Relativa	43
Figura 3. Área experimental do ano de 2015, com os testes de polinização constituídos por áreas livres, gaiolas de polinização com abelhas: <i>Apis mellifera</i> , <i>A. mellifera</i> mais	

Tetragonisca angustula, *T. angustula* e sem abelhas, distribuídos aleatoriamente nos cinco blocos. Entre Rios do Oeste, Paraná, Brasil..... 44

IV – EFEITOS DOS HORÁRIOS DO DIA E COVARIÁVEIS AMBIENTAIS SOBRE O COMPORTAMENTO DE ABELHAS *Apis mellifera* E *Tetragonisca angustula* NA CULTURA DA CANOLA (*Brassica napus* L.)

Figura 1. Gaiolas de polinização instaladas na cultura de canola. Entre Rios do Oeste, PR, Brasil..... 67

Figura 2. Superfície de resposta (lado esquerdo) e de contorno (lado direito) dos efeitos de horário do dia (x) e umidade relativa (ur) sobre a proporção (μ) de abelhas *A. mellifera* (a) e *T. angustula* (b) coletoras de néctar. (a) $\mu = e^{2,1074+0,1230x-0,0484ur}/1 + e^{2,1155+0,1230x-0,0484ur}$; (b) $\mu = e^{2,3623+0,1230x-0,0484ur}/1 + e^{2,3698+0,1230x-0,0484ur}$ 68

Figura 3. Superfície de resposta (lado esquerdo) e de contorno (lado direito) dos efeitos de temperatura (temp) e umidade relativa (ur) sobre a proporção (μ) de abelhas *A. mellifera* (a) e *T. angustula* (b) coletoras de néctar nos nectários medianos. (a) $\mu = e^{-8,2162+0,0874temp+0,0198ur}/1 + e^{-,2162+0,0874temp+0,0198ur}$; (b) $\mu = e^{-4,3712+0,0874temp+0,0198ur}/1 + e^{-4,3712+0,0874temp+0,0198ur}$ 69

Figura 4. Superfície de resposta (lado esquerdo) e de contorno (lado direito) dos efeitos de temperatura (temp) e umidade relativa (ur) sobre a proporção (μ) de abelhas *A. mellifera* (a) e *T. angustula* (b) coletoras de néctar nos nectários laterais. (a) $\mu = e^{7,9298-0,2590temp-0,0408ur}/1 + e^{7,9298-0,2590temp-$

0,0408ur, (b) $\mu = e^{7,0904-0,2590temp-0,0408ur/1} + e^{7,0904-0,2590temp-0,0408ur}$ 70

Figura 5. Superfície de resposta (lado esquerdo) e de contorno (lado direito) dos efeitos de horário do dia (x) e umidade relativa (ur) sobre a proporção (μ) de abelhas *A. mellifera* (a) e *T. angustula* (b) coletoras de néctar nos nectários medianos e laterais. (a) $\mu = e^{1,9337+0,1256x-0,0386ur/1} + e^{1,9337+0,1256x-0,0386ur}$, (b) $\mu = e^{-0,1217+0,1256x-0,0386ur/1} + e^{-0,1217+0,1256x-0,0386ur}$ 71

Figura 6. Superfície de resposta (lado esquerdo) e de contorno (lado direito) dos efeitos de horário do dia (x) e temperatura (temp) sobre a proporção (μ) de abelhas *A. mellifera* (a) e *T. angustula* (b) coletoras de pólen. (a) $\mu = e^{-2,9449-0,2951x+0,1459temp/1} + e^{-2,9449-0,2951x+0,1459temp}$, (b) $\mu = e^{-2,0130-0,2951x+0,1459temp/1} + e^{-2,0130-0,2951x+0,1459temp}$; Ponto de corte da umidade relativa média em 56,64%..... 72

Figura 7. Superfície de resposta do efeito da umidade relativa (ur) sobre a proporção (μ) de abelhas *A. mellifera* (a) e *T. angustula* (b) coletoras de néctar e pólen. (a) $\mu = e^{3,8724+0,0424ur/1} + e^{3,8724+0,0424ur}$, (b) $\mu = e^{-8,2201+0,0424ur/1} + e^{-8,2201+0,0424ur}$ 73

Figura 8. Superfície de resposta (lado esquerdo) e de contorno (lado direito) dos efeitos de horário do dia (x) e temperatura (temp) sobre a proporção (μ) de abelhas *A. mellifera* (a) e *T. angustula* (b) com pólen na corbícula. (a) $\mu = \mu = e^{0,1248-0,2231x+0,0653temp/1} + e^{0,1248-0,2231x+0,0653temp}$, (b) $\mu = e^{-0,4988-0,2231x+0,0653temp/1} + e^{-0,4988-0,2231x+0,0653temp}$; Ponto de corte da umidade relativa média em 56,64%..... 74

Figura 9. Superfície de resposta (lado esquerdo) e de contorno (lado direito) dos efeitos de horário do dia (x) e temperatura (temp) sobre o tempo médio (μ) de permanência das abelhas *A. mellifera* (a) e *T. angustula* (b) na flor. (a) $\mu = e^{0,7187-0,0245x+0,0341temp}$; (b) $\mu = e^{1,8489-0,0245x+0,0341temp}$, Ponto de corte da umidade relativa média em 56,64%..... 75

Figura 10. Superfície de resposta (lado esquerdo) e de contorno (lado direito) dos efeitos de horário do dia (x) e umidade relativa (ur) sobre a média de flores visitadas pelas abelhas *A. mellifera* (a) e *T. angustula* (b) em um minuto. (a) $\mu = e^{2,9502-0,0120x-0,0039ur}$; (b) $\mu = e^{1,8229-0,0120x-0,0039ur}$ 76

Figura 11. Superfície de resposta do efeito da umidade relativa (ur) sobre a proporção (μ) de abelhas *A. mellifera* (a) e *T. angustula* (b) em contato com as anteras e estigma. (a) $\mu = \frac{e^{4,9006+0,0350ur}}{1 + e^{4,9006+0,0350ur}}$; (b) $\mu = \frac{e^{-4,4860+0,0350ur}}{1 + e^{-4,4860+0,0350ur}}$ 77

Figura 12. Superfície de resposta do efeito da umidade relativa (ur) sobre a proporção (μ) de abelhas *A. mellifera* (a) e *T. angustula* (b) em contato com as anteras. (a) $\mu = -0,1450 + 0,0026ur$; (b) $\mu = 0,0341 + 0,0026ur$ 78

V – VALOR NUTRICIONAL DO PÓLEN APÍCOLA COLETADO NO ALVADO E DO PÓLEN ARMAZENADO, PROVENIENTES DA CANOLA (*Brassica napus* L.), COLETADOS POR ABELHAS *Apis mellifera* L. E *Tetragonisca angustula* L.

Figura 1. Dados meteorológicos obtidos na estação climatológica da UNIOESTE, município de Entre Rios do Oeste, Paraná, Brasil, no período de maio a outubro dos anos de 2015 e

2016. Temperatura máxima, mínima e média (°C); UR (%) - Umidade Relativa	97
-----------------------------------------------------------------------------------	----

POLINIZAÇÃO EM CANOLA (*Brassica napus*) POR *Apis mellifera* E *Tetragonisca angustula*

RESUMO

Os trabalhos foram realizados objetivando avaliar a contribuição da polinização realizada por *Apis mellifera*, *Tetragonisca angustula* e de ambas em associação, na produção e qualidade das sementes de canola (*Brassica napus* L., cv. Hyola 76), semeadas nos anos de 2015 e 2016, por meio de testes de polinização. Foram avaliados também, os efeitos de horas do dia, temperatura e umidade relativa sobre o comportamento dessas abelhas na cultura de *B. napus*, bem como a composição bromatológica do pólen de canola, comparando o pólen apícola coletado no alvado com o pólen armazenado pelas abelhas *A. mellifera* e *T. angustula*. No primeiro trabalho, os tratamentos foram constituídos pela combinação de duas classes de ano (2014 e 2015), alocadas nas parcelas, e cinco testes de polinização (área demarcada livre à visitação de insetos - controle; gaiola de polinização com uma colônia de *A. mellifera*; gaiola de polinização com uma colônia de *T. angustula*; gaiola de polinização com uma colônia de *A. mellifera* e uma colônia de *T. angustula*; gaiola de polinização sem abelhas), que foram alocados nas subparcelas. Os blocos foram constituídos de cinco conjuntos contendo cinco testes de polinização cada. As variáveis analisadas foram número de síliquas por planta, número de grãos por síliqua, massa de grãos por síliqua, comprimento das síliquas, rendimento de grãos, germinação, teor de óleo e proteína bruta dos grãos. Neste trabalho, as análises foram realizadas por meio dos modelos mistos. No segundo trabalho, os tratamentos foram compostos pela combinação de quatro horários do dia (9h, 11h30, 13h30 e 15h30 horas) e dois testes de polinização: gaiola de polinização com uma colônia de *A. mellifera* e gaiola de polinização com uma colônia de *T. angustula*. Durante as visitas foram registrados: tempo de permanência das abelhas na flor, número de flores visitadas por abelhas em um minuto, recurso floral

coletado, local de coleta de néctar, presença de pólen na corbícula e se houve contato com as anteras e estigma. Neste trabalho, as análises foram realizadas por meio dos modelos lineares generalizados. No terceiro trabalho, os tratamentos foram constituídos pela combinação de três tipos de amostras de pólen: pólen apícola coletado no alvado das colmeias de *A. mellifera*; pão de abelha coletado das colmeias de *A. mellifera*, instaladas em gaiolas de polinização; saburá retirado das colmeias de *T. angustula*, colocadas em gaiolas de polinização. Os dados de amostra de pólen foram avaliados pelo teste F e comparados por meio do teste de Tukey a 5% de significância. Os componentes produtivos: número de síliquas por planta, número de grãos por síliqua, massa de grãos por síliqua, bem como a germinação dos grãos, não diferiram entre as gaiolas de polinização com *A. mellifera* e com *T. angustula*, e foram maiores nestes tratamentos do que nas gaiolas de polinização sem abelhas. A partir das avaliações dos dados desta pesquisa, verificou-se que tanto as abelhas *A. mellifera* como as *T. angustula*, podem aumentar a germinação dos grãos e melhorar características relacionadas à produção de grãos de canola, principalmente em ambientes que não apresentam condições ótimas para o seu cultivo, como temperaturas mais elevadas, compensando em parte as perdas produtivas. O néctar foi o recurso mais procurado pelas duas espécies de abelhas. As *A. mellifera* visitaram principalmente os nectários medianos e laterais (84,14%), e as *T. angustula* os medianos (46,02%). Todas as forrageiras de *A. mellifera* e 31,89% das *T. angustula* entraram em contato com as anteras e o estigma. As abelhas africanizadas visitaram, em média, 13,20 flores em um minuto e nelas permaneceram por 4,10 segundos. As abelhas *T. angustula* visitaram 4,30 flores em um minuto, permanecendo 12,10 segundos. Tanto em *A. mellifera* quanto em *T. angustula*, a coleta de pólen foi maior no período da manhã e em temperatura mais elevada. A hora do dia, a temperatura e a umidade relativa, sobre o comportamento de forrageamento das abelhas, podem favorecer a polinização da cultura de *B. napus*. As composições bromatológicas do pão de abelha e saburá diferiram do pólen apícola coletado no alvado. Conclui-se que a cultura de canola (*B. napus*) é uma excelente alternativa para o forrageamento das abelhas, pelo alto teor de nutrientes encontrado no pólen apícola coletado no alvado, no pão de abelha e no saburá, que teve como matéria-prima o pólen desta cultura.

Palavras-chave: abelha nativa, comportamento, polinizador, produtividade

POLLINATION IN CANOLA (*Brassica napus*) BY *Apis mellifera* AND
Tetragonisca angustula

ABSTRACT

The objectives of the present study are: to evaluate the contribution of pollination by *Apis mellifera*, *Tetragonisca angustula* and the association of both on production and quality of canola seeds (*Brassica napus* L., cv. Hyola 76), sown in 2015 and 2016, by means of pollination tests. There were also evaluated, the effects of hours of the day, temperature and relative humidity on the behavior of these bees in *B. napus*, as well as the bromatological composition of canola pollen, comparing the pollen collected at the entrance of the hive with the one stored by the bees *A. mellifera* and *T. angustula*. In the first work, the treatments consisted of the two year classes (2014 and 2015) combination, as parcels, and five pollination tests (free area to visit insects – control; pollinating cage with a colony of *A. mellifera*; pollinating cage with a colony of *tetragonisca angustula*; pollinating cage with a colony of *A. mellifera* and a colony of *T. angustula*; pollinating cage without bees), which were the subplots. The blocks were composed of five sets containing five pollination tests each. The variables analyzed were: number pods per plant, length pods and grain, mass seeds per pods, length of pods, grain yield, germination, oil content and crude protein of the grains. In this work the analyzes were performed using the mixed models. In the second work, the treatments consisted of the combination of four times (9:00 AM, 11:30 AM 13:30 PM e 15:30 PM hours) and two pollination tests: pollinating cage with a colony of *A. mellifera* and pollinating cage with a colony of *T. angustula*. During the visits were recorded: residence time in flower; number of flowers visited in one minute; collected floral resource; local nectar collection; pollen in the pollen basket; contact with anthers

and stigma. In this work, the analyzes were performed using generalized linear models. In the third work, the treatments consisted by combining three types of pollen samples: bee pollen collected at the entrance to the beehives of *A. mellifera*; bee bread collected from *A. mellifera* hives, installed in pollination cages; stored pollen removed from *T. angustula* hives, installed in pollination cages. The data were submitted to analysis of variance at 5% probability by the F test and the averages were compared by the Tukey test. The productive components as number pods per plant, length pods and grain, mass seeds per pods and germination of grains, did not differ pollination cages with *A. mellifera* and with *T. angustula*, and were higher in these treatments than in bee-free pollination cages. From the data of this research it was verified that, both bees *A. mellifera* and *T. angustula*, can increase the grains germination and improve characteristics related to the production of canola grains, especially in environments that do not have optimal conditions for their cultivation, such as higher temperatures, partially offsetting the productive losses. Nectar was the most collected resource for the two species of bees. The *A. mellifera* visited mainly the median and lateral nectars (84.14%) and *T. angustula* the medians (46.02%). All forages of *A. mellifera* and 31.89% of *T. angustula* contacted the anthers and stigma. Africanized bees averaged 13.20 flowers in one minute and remained 4.10 seconds. *T. angustula* bees averaged 4.30 flowers in one minute, remaining 12.10 seconds. In both *A. mellifera* and *T. angustula*, pollen collection was higher in the morning, and at higher temperature. The influences of time of day, temperature and relative humidity, on the behavior of bees foraging, can favor the pollination of *B. napus*. The bromatological compositions of the bread of bee and stored pollen from *T. angustula*, differed from bee pollen removed from the entrance to the hive. It is concluded that canola (*B. napus*) is an excellent alternative for the foraging of bees, due to the high nutrient content found in bee pollen removed from the entrance to the hive, in the bread of bee, and stored pollen from *T. angustula*, which had as its raw material the pollen of this crop.

Key words: bee, behavior, stingless pollinator, productivity

I – INTRODUÇÃO GERAL

1.1 Cenário econômico da agricultura no Brasil

O Brasil se destaca no cenário mundial de produção de alimentos, estando entre os maiores exportadores do setor agropecuário (OECD-FAO, 2015). No ano de 2016, a agropecuária brasileira exportou US\$ 62,05 bilhões, representando 40,53% das exportações nacionais (MAPA, 2016).

Além de apresentar características favoráveis à produção agrícola, como diferentes tipos de clima, solos férteis e extensas áreas de terras cultiváveis, no Brasil há também relação direta entre o setor agrícola e a ciência e tecnologia desenvolvidas (OECD/FAO, 2015). As novas tecnologias de cultivo são produzidas para serem disponibilizadas aos agricultores. Constantemente são desenvolvidas novas variedades adaptadas aos diferentes climas do país, sendo possível produzir diferentes tipos de culturas agrícolas de climas tropical e temperado (OECD/FAO, 2015).

O agronegócio é um setor que tem grande contribuição para a economia brasileira. Em 2015, o agronegócio cresceu 1,8% em relação a 2014 (0,4%), com a participação de 21,46% no Produto Interno Bruto (PIB) nacional. Nesse mesmo ano, a agropecuária participou com 20,80% no PIB do agronegócio, chegando a R\$ 263,6 bilhões (MAPA, 2016).

Segundo dados do IBGE (2016), a safra nacional de cereais, leguminosas e oleaginosas no ano de 2015, foi de 209,7 milhões de toneladas e, em 2016, de 184,0 milhões de toneladas. As maiores produções vieram das regiões Centro-Oeste (75,1 milhões de toneladas) e Sul (73,0 milhões de toneladas), seguidas das regiões Sudeste

(19,6 milhões de toneladas), Nordeste (9,5 milhões de toneladas) e Norte (6,7 milhões de toneladas). Mato Grosso, Paraná e Rio Grande do Sul foram os estados responsáveis por 60,2% da produção nacional de grãos (IBGE, 2016).

Entre os cultivos das oleaginosas, pode-se destacar a soja (*Glycine max*), o girassol (*Helianthus annuus*) e a canola (*Brassica napus*). A canola é a terceira oleaginosa mais produzida mundialmente, ficando atrás apenas da palma e da soja. Sua produção está voltada para obtenção de grãos, extração de óleo comestível, óleo para biocombustível e produção de farelo para ração de bovinos, suínos, ovinos e aves (CONAB, 2016).

1.2 Produção e dados econômicos da canola

O sucesso no mercado do cultivo de canola está associado à quantidade de óleo de seus grãos, que fica em torno de 35% a 48%, e de sua qualidade nutricional, com elevado teor de proteína, que varia de 24 a 27% (OGTR, 2016). O principal ácido graxo encontrado na canola é o oleico monoinsaturado, representando em média 62%, seguido de poli-insaturado linoleico, com cerca de 20%, e do ácido linolênico, com cerca de 9% (Ramos et al., 2009).

Cada 100 gramas de óleo de canola contêm cerca de 17,5 mg de vitamina E e 71,3 mg de vitamina K. A interação da vitamina E com ácidos graxos poli-insaturados é importante para preservar a estabilidade química do óleo de canola (OGTR, 2016). Vitamina E é um termo genérico utilizado para se referir aos compostos tocoferóis e tocotrienóis, sendo os primeiros antioxidantes naturais, encontrados com teores elevados no óleo de canola, reforçando a sua importância na dieta (Guinazi et al., 2009).

Devido às suas qualidades e diferentes usos, o cultivo de canola cresce a cada ano em todo o mundo, principalmente em regiões temperadas. Na Europa, Ucrânia e Rússia, cultivam-se mais variedades de inverno, e na Índia, Canadá, Estados Unidos, Brasil e em algumas regiões da China, são utilizadas as variedades de primavera (Mori et al., 2014). No Brasil, planta-se somente cultivares de primavera (“spring canola”), *Brassica napus* L. var. oleifera, pois o número de horas necessárias de frio para as cultivares invernais é insuficiente (Tomm et al., 2009). As sementes para a implantação das lavouras são importadas principalmente da Argentina e Austrália (Mori et al., 2014).

Assim como ocorre em outras culturas agrícolas, a área plantada e a produção de grãos de canola variam de um ano para outro. De acordo com a USDA (2016), a produção mundial de grãos de canola foi de 70,2 milhões de toneladas na safra de 2015/16 e na safra de 2016/17 foram produzidos 67,8 milhões de toneladas. As maiores produções ocorreram na União Europeia (22,2 milhões de toneladas), Canadá (18,4 milhões de toneladas), China (14,9 milhões de toneladas), Índia (5,9 milhões de toneladas) e Japão com 3,0 milhões de toneladas.

Os países da União Europeia e a China são os que mais utilizam e importam sementes de canola, enquanto o Canadá é responsável por mais da metade do comércio mundial de sementes, bem como de óleo e farelo de canola (CONAB, 2016; USDA, 2017). O óleo de canola é a terceira maior fonte de óleo vegetal no mundo, sendo que no ano de 2016, o consumo mundial cresceu 0,2% (CONAB, 2016). A perspectiva de demanda é grande, há crescente utilização na União Europeia, China e Índia (USDA, 2017).

Na safra 2015/16, foram extraídos 27,7 milhões de toneladas de óleo e, na safra seguinte, 26,9 milhões de toneladas (USDA, 2016). Os Estados Unidos são os principais importadores de óleo de canola do Canadá, utilizando-o principalmente como alimento. Na União Europeia e na Europa Oriental, ocorre grande incentivo para a produção de biodiesel, utilizando o óleo de canola como matéria-prima (USDA, 2017).

O farelo de canola, produto obtido após o processo de extração de óleo, contém proteínas, carboidratos, minerais e fibras (Edwards e Hertel, 2011). Depois do farelo de soja, é o mais produzido mundialmente, sendo que na safra de 2015/16 a produção foi de 39,2 milhões de toneladas (CONAB, 2016). É utilizado principalmente na alimentação de bovinos e suínos e sua composição varia conforme o método de extração do óleo. De maneira geral apresenta de 36% a 39% de proteína, 1,5% a 2,0% de lipídeos e 11% a 13% de fibra (OGTR, 2016). Nos Estados Unidos, grande importador de farelo de canola, a maior parte é destinada para a alimentação de vacas leiteiras (USDA, 2017).

Embora a canola seja uma oleaginosa muito cultivada em outros países, no Brasil, sua expansão ocorreu somente a partir de 1998, e desde então vem crescendo, passando de uma área de cultivo de 11,4 mil hectares (ha) para 47,5 mil hectares no ano de 2016 (CONAB, 2016). Todo o óleo de canola produzido no Brasil é destinado ao consumo humano (Mori et al., 2014).

Com o desenvolvimento de tecnologias e melhorias no plano de manejo, o rendimento médio de grãos de canola, vem aumentando. Observa-se que no ano de 2014, foram registrados 812 kg ha⁻¹, subindo para 1.236 kg ha⁻¹ em 2015 e em 2016, com condições climáticas favoráveis, atingiu 1.576 kg ha⁻¹, equivalente a aproximadamente 26 sacas por hectare (EMBRAPA, 2016).

Segundo os dados da CONAB (2016), no ano de 2016 no país, foram produzidos 71,9 mil toneladas de grãos de canola em 47,5 mil hectares, representando 23,6% a mais que em 2015. Os preços pagos pela saca de 60 kg na região centro-sul ficaram na média de R\$ 70,59, um aumento de 10,96% comparado ao ano anterior.

Os custos variáveis para a implantação da cultura (insumos, operações e gastos pós-colheita) atingiram R\$ 1.326,00/ha, significando em média 19 sacas por hectare (EMBRAPA, 2016). Considerando o preço pago pela saca no ano de 2016 e a produção média neste mesmo ano, a receita bruta da cultura foi de aproximadamente R\$ 88,6 milhões, enquanto a renda líquida foi de R\$ 25,6 milhões (em média R\$ 514,56 por hectare).

Os estados brasileiros que cultivaram canola no ano de 2015 foram: Rio Grande do Sul (RS), que é o maior produtor no país, seguido do Paraná (PR), Santa Catarina (SC), Mato Grosso do Sul (MS), Minas Gerais (MG), Goiás (GO), São Paulo (SP) e Mato Grosso (MT). Em 2016, somente em cinco estados houve plantação de canola, sendo eles, RS, PR, SC, MG e MT, porém ocorreu o aumento de 28% de área plantada no estado do Rio Grande do Sul (EMBRAPA, 2016).

No Paraná, a área cultivada em 2016 apresentou redução de 20% em relação a 2015, passando de 6.082 para 4.910 ha. Na safra de 2011/2012, a produção concentrou-se na região oeste do Paraná, seguida da região sul (34%) e sudoeste (19%). Na safra 2015/2016, a região sul concentrou 84% do plantio e a região norte 16% (SEAB/DERAL, 2017).

No intuito de consolidar a produção de canola no Brasil, fazendo com que os produtores invistam mais na cultura, é necessário expandir os conhecimentos relacionados ao cultivo. Uma das maneiras de elevar a produtividade sem aumentar a área de plantio é ter conhecimentos sobre a biologia floral e a dependência de polinização cruzada da cultura. Sabe-se que a canola, assim como outras oleaginosas, são dependentes pelo menos em parte, da polinização realizada pelas abelhas (Free, 1993).

1.3 Aspectos gerais da cultura de canola

1.3.1 Origem da canola

A canola é uma planta herbácea anual, oleaginosa que pertence à família Brassicaceae e ao gênero *Brassica*. As principais espécies cultivadas atualmente são a *B. carinata*, *B. juncea*, *B. napus* e *B. rapa* (OGTR, 2016). A relação existente entre essas espécies de *Brassica* encontram-se na Figura 1, chamada de Triângulo de U.

As espécies *B. rapa* (genoma A), *B. nigra* (genoma B), e *B. oleracea* (genoma C) são diploides. O cruzamento natural entre esses diploides deram origem às espécies *B. napus* (genoma AC, *B. rapa* x *B. oleracea*), *B. juncea* (genoma AB, *B. rapa* x *B. nigra*) e *B. carinata* (genoma BC, *B. nigra* x *B. oleracea*) (Brown et al., 2008; OGTR, 2016).

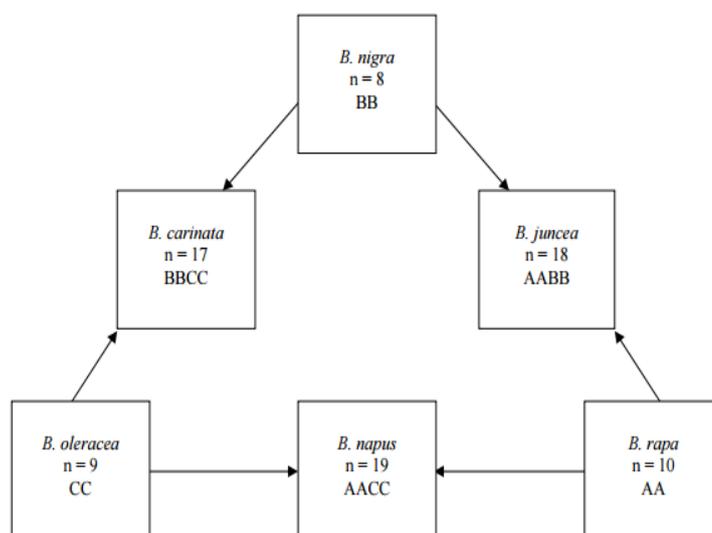


Figura 1 - Triângulo de U: Relação genômica das principais espécies cultivadas de *Brassica*. Fonte: OGTR (2016).

Na Europa, o cultivo de colza (*Brassica* sp) vem desde a Idade Média. A princípio seu óleo era utilizado como combustível para lamparinas e produção de sabão, pois o seu sabor amargo o tornava uma fonte inadequada de alimento para os humanos e animais. As sementes de colza (*Brassica* sp). possuem naturalmente de 30% a 60% de ácido erúcido e 60 $\mu\text{mol g}^{-1}$ de glucosinolatos (OGTR, 2016).

Devido à preocupação com a saúde humana, iniciaram alguns trabalhos para produzir cultivares de colza com baixos teores de ácido erúcido, as chamadas LEAR, do

inglês “*low-erucic acid rapeseed*”), por meio de melhoramento genético. No ano de 1968, foi lançado um cultivar com ácido erúico “extremamente baixo” (OGTR, 2016). Em 1974, para tornar as sementes mais adequadas para a alimentação animal, a Universidade de Manitoba no Canadá lançou um cultivar (*double-low*), com baixos níveis de ácido erúico e de glucosinolato (Brown et al., 2008).

Em 1978, a Associação de Colza do Canadá, registrou esses cultivares com o nome de “canola”, sendo utilizado para identificar o cultivo de sementes melhoradas que preenchia os requisitos de qualidade para o consumo humano. Essa expressão derivou do inglês “*CANadian Oil Low Acid*” que quer dizer “Óleo Canadense de Baixo Teor Ácido” (OGTR, 2016).

Após a nova denominação, o óleo de canola passou a ser definido oficialmente como um óleo que deve conter menos de 2% de ácido erúico e menos de 30 $\mu\text{mol g}^{-1}$ de glucosinolatos. A partir de então, as variedades que atendessem a essas normas, como a *B. napus*, *B. rapa* e a *B. juncea*, podem ser chamadas de canola. Com essas mudanças, o cultivo de canola tornou-se uma excelente alternativa econômica devido ao interesse comercial por seus diferentes produtos, como grãos, óleo comestível, margarina, produção de biodiesel, farelo de canola para rações e feno (Brown et al., 2008).

1.3.2 Desenvolvimento do Híbrido Hyola

Os primeiros cultivares híbridos (F1) de canola foram lançados em 1988, apresentando alto potencial produtivo, maior vigor de plântulas e uniformidade na emergência (Edwards e Hertel, 2011). No Brasil, quase 100% das lavouras de canola são dos híbridos Hyola. Os primeiros híbridos Hyola foram desenvolvidos pela empresa australiana Pacific Seeds, para substituir as variedades suscetíveis à doença canela preta, causada pelo fungo *Leptosphaeria maculans*, que no ano 2000, prejudicou o cultivo da oleaginosa no Brasil (Eichelberger et al., 2013).

Em 2006, foi lançado o cultivar Hyola 61, com resistência poligênica à canela preta (Tomm et al., 2009) e, desde então, foram registrados novos híbridos que possuem esta característica. O cultivar Hyola 76, registrado em 2010, apresenta maior potencial de rendimento, ciclo longo, com duração de 120 a 164 dias (desde a emergência da

plântula até a maturação), o início da floração ocorre entre 61 a 81 dias após a emergência, e dura de 24 a 62 dias (Tomm e Ferreira, 2016).

1.4 Características botânicas da canola

Os cultivares de canola de primavera apresentam altura entre 70 a 170 cm, produzem cerca de 10 a 15 folhas, serosas de cor verde-escuro, presas em um caule. Os caules são eretos e ramificados, a planta apresenta raiz pivotante e grande número de raízes secundárias fasciculadas. O sistema de raízes da canola tem um impacto positivo na estrutura do solo, que favorece a descompactação natural, além de realizar a reciclagem de nutrientes que estão abaixo da profundidade explorada por outros cultivos agrícolas, resultando em maior rendimento na cultura seguinte (Tomm et al., 2009).

O crescimento e o desenvolvimento da *B. napus* podem ser divididos em sete estádios, sendo que o tempo de duração de cada um pode ser influenciado pela temperatura, umidade relativa e cultivares. Conhecer essas fases é de extrema importância para que sejam realizados os manejos corretos na cultura. No estágio 0, ocorre a germinação das sementes e emergência das estruturas essenciais do embrião; nos estádios 1 e 2, há o desenvolvimento foliar e crescimento do caule, respectivamente; nos estádios 3 e 4, são as fases do desenvolvimento das inflorescências e o florescimento, respectivamente, enquanto no estágio 5 ocorre o desenvolvimento das síliques e no estágio 6, a maturação dos grãos (Edwards e Hertel, 2011).

1.4.1 Morfologia floral

As flores possuem quatro sépalas e quatro pétalas, agrupadas em inflorescências terminais, que florescem de baixo para cima. As pétalas são amarelas, com 8-15 mm de comprimento, sendo importantes na atração visual dos animais polinizadores (Free, 1993).

As flores apresentam também quatro nectários, dois medianos localizados nas bases dos filamentos dos estames longos e dois laterais na base interna de cada filamento dos estames curtos. Os nectários laterais secretam maior quantidade de néctar. As flores de *B. napus* têm a produção média de néctar de 2,33 μL /flor ao longo do

período de florescimento, com concentrações relativamente elevadas de açúcares, com predominância das hexoses glicose e frutose, tornando essa cultura extremamente atrativa para os insetos, em especial para as abelhas *Apis mellifera* (Hüsken e Dietz-Pfeilstetter, 2007).

Referente a sua morfologia reprodutiva, as flores da *B. napus* são hermafroditas e desenvolvem em inflorescências terminais. Cada flor possui os órgãos reprodutores masculino, chamado de androceu e o feminino, de gineceu. O androceu é formado por seis estames, sendo quatro longos e dois curtos; cada estame é ligado a um filete, que sustenta as anteras e que alojam os sacos polínicos, em que estão as células precursoras dos grãos de pólen que carregam os gametas masculinos. O gineceu é formado por um pistilo, dividido em estigma, estilete e ovário. No estigma, ocorre a germinação do grão de pólen, após o seu reconhecimento (Free, 1993).

O estilete, com função de ligar o estigma ao ovário, possui células secretoras que auxiliam no direcionamento do tubo polínico, região por onde passará o material genético do grão de pólen para chegar ao óvulo (Raven et al., 2014). O ovário da flor de canola é súpero e produz em média 28 óvulos por flor (Free, 1993).

1.4.2 Fenologia reprodutiva

A antese se apresenta em quatro fases. A primeira ocorre quando os botões florais estão parcialmente abertos e os estigmas podem ou não estar receptivos, dependendo do cultivar. Nessa fase, as anteras encontram-se viradas para o interior da flor, em direção ao estigma. Na segunda fase, aproximadamente 24 horas após a fase 1, as pétalas encontram-se totalmente abertas com o estigma receptivo, as anteras viradas para o exterior da flor, em direção às pétalas e os recursos de pólen e néctar encontram-se disponíveis. Na terceira fase, o pistilo cresce até ultrapassar os estames longos, ocorrendo aproximadamente 48 horas após o estágio 1. Durante a quarta fase as pétalas começam a cair, podendo ser observado o início da formação das síliquas (Bots e Mariani, 2005).

As flores podem permanecer abertas de 12 a 96 horas, dependendo de fatores como temperatura e umidade relativa do ar, podendo ser fertilizadas entre 4 a 24 horas (Free, 1993). As síliquas onde ocorre a formação das sementes encontram-se maduras 30 a 40 dias após a fertilização e apresentam de seis a nove centímetros de comprimento

e 5 milímetros de largura, normalmente contêm 15-30 sementes esféricas, com 1 a 2 milímetros de diâmetro (Edwards e Hertel, 2011). O desenvolvimento das sementes pode ser afetado por estresse abiótico, sendo que o estresse hídrico ou o térmico durante a floração pode reduzir o número de síliquas por planta, bem como diminuir a massa das sementes e a composição dos ácidos graxos (Edwards e Hertel, 2011).

1.5 Polinização

A polinização é considerada um serviço ecossistêmico de fundamental importância, tendo relação direta com a conservação da biodiversidade e a produção de alimentos. Polinização é o processo no qual ocorre o transporte dos grãos de pólen produzidos nas anteras até a superfície estigmática de flores coespecíficas, podendo ser promovido por vetores bióticos ou abióticos (Rech et al., 2014). Com o estigma receptivo, pode ocorrer a germinação dos grãos de pólen, havendo o crescimento do tubo polínico no interior do estilete até o ovário e a divisão da célula germinativa, formando duas células espermáticas que irão percorrer o tubo polínico e realizar dois processos de fertilização (Raven et al., 2014).

No ovário, encontram-se os óvulos, que possuem no saco embrionário duas sinérgides, a oosfera, dois núcleos polares e três antípodas. O tubo polínico penetra a micrópila para a entrada das células espermáticas, sendo que uma se funde com a oosfera, havendo a fecundação, dando origem ao zigoto diploide, e a outra, com os núcleos polares (unidos em um núcleo de fusão), dando origem a uma célula triploide que vai formar o endosperma (Rech et al., 2014).

A formação das sementes ocorre após o processo de fecundação, estimulando o crescimento do ovário, para formar o fruto, que na canola é chamado de síliqua (Tomm et al., 2009). Observa-se que a produção agrícola está relacionada ao sistema reprodutivo de cada cultura, ou seja, ao tipo de polinização envolvida.

Algumas culturas utilizam de mecanismos de seleção, como a autoincompatibilidade, que é a capacidade de uma planta hermafrodita fértil rejeitar seu próprio pólen, havendo inibição do crescimento do tubo polínico, impedindo a autofertilização (Hiroi et al., 2013). Das 57 espécies de *Brassica* (incluindo *B. rapa*), 50 são autoincompatíveis (OGTR, 2016). A *B. napus* entra no grupo das autocompatíveis,

ou seja, pode gerar frutos e sementes tanto da autopolinização quanto da polinização cruzada, em proporção média de 70:30, respectivamente (Treu e Emberlin, 2000).

A taxa de polinização cruzada pode variar em função das condições ambientais, presença de polinizadores e cultivar (OGTR, 2016). Em alguns cultivares, a não receptividade do estigma na fase um da antese, pode limitar a autogamia, favorecendo a polinização cruzada. Porém, a polinização cruzada ocorre principalmente na fase em que o estigma ultrapassa a altura das anteras (Bots e Mariani, 2005).

Para que o processo de polinização seja eficiente, é importante que haja alto fluxo de pólen entre as flores, porém tanto a qualidade quanto a quantidade do pólen são fundamentais (Rech et al., 2014). A viabilidade dos grãos de pólen da *Brassica* pode durar até cinco dias, após a abertura da flor, diminuindo gradualmente, durante os estágios de floração, chegando a 20% após 72 horas do início da antese (Bots e Mariani, 2005).

A germinação dos grãos de pólen de *B. napus* diminui de 75%, em flores com corolas parcialmente abertas (fase 1), para 15% em 48 horas após a fase um. Essa característica contribui para o sucesso da polinização cruzada realizada por *A. mellifera*, que realizam visitas em flores jovens com maior frequência do que em flores mais velhas (Bots e Mariani, 2005). A viabilidade dos grãos de pólen da *B. napus* e sua germinação diminuem quando as plantas são submetidas ao estresse por alta temperatura (Edwards e Hertel, 2011).

1.6 Dispersão dos grãos de pólen de canola

Os grãos de pólen de *Brassica* spp. são produzidos em grandes quantidades, podendo chegar a produção média de 9 kg ha⁻¹ a cada dia, durante o período de 4-5 semanas. Medem aproximadamente 30-40 µm de largura e podem ser transportados pelo vento ou por insetos (OGTR, 2016).

Os insetos polinizadores são atraídos para a cultura de canola, pelos recursos de pólen e néctar de suas flores, bem como por seu aroma e cor (Ali et al., 2011). Diversos insetos de diferentes grupos têm sido identificados na cultura de canola, havendo a predominância de abelhas (Hymenoptera), moscas (Diptera), besouros (Coleoptera) e borboletas e mariposas da ordem Lepidoptera (Kamel et al., 2015; Chambó et al., 2017). As espécies de Hymenoptera comumente são observadas forrageando pólen e néctar,

enquanto todas as espécies de Diptera e Lepidoptera coletam néctar (Kamel et al., 2015).

1.7 Efeito da polinização por *Apis mellifera* na produtividade de canola

As abelhas *A. mellifera* são polinizadoras efetivas de grande número de espécies de plantas. Por ser uma espécie doméstica, havendo domínio sobre as técnicas de sua criação, são amplamente utilizadas em polinização de diferentes culturas agrícolas (Abrol, 2007). A eficiência dessa espécie na polinização está relacionada as suas características comportamentais e morfológicas (Rech et al., 2014).

Classificada como uma espécie polilética e altamente eussocial, há grande número de indivíduos em sua colônia, que dependem dos recursos florais para sua sobrevivência (Rech et al., 2014). Essas abelhas realizam estratégias de recrutamento em massa, resultando em grande número de flores sendo forrageadas por elas, entrando em contato com as anteras e/ou estigmas. Com o corpo cobertos por pelos, elevado número de grãos de pólen a eles se aderem e, conseqüentemente, são dispersos (Delaplane e Mayer, 2000; Abrol, 2007).

As abelhas *A. mellifera* são os principais polinizadores de canola. Sua presença na cultura resulta em efeitos positivos sobre a produtividade e qualidade dos grãos (Adegas e Nogueira-Couto, 1992; Stanley et al., 2013; Chambó et al., 2014). Os efeitos gerados pela polinização vão depender de vários fatores, entre eles, época de semeadura, cultivar utilizado e das condições ambientais (Chambó et al., 2014).

A estimativa do valor da dependência da cultura de canola por abelhas africanizadas, realizada por Chambó et al. (2014), considerando diferentes épocas de semeadura (25/05/2011 e 25/06/2011), indicou menor dependência na primeira época (0,33), comparado à segunda época (0,51). Segundo os autores, esses resultados evidenciam que a canola, em condições menos propícias para o seu desenvolvimento, respondem mais à polinização por abelhas africanizadas, aumentando significativamente seus índices produtivos.

As diferentes respostas dos cultivares à polinização podem ser constatadas em diversas pesquisas. Chambó et al. (2014) observaram que o cultivar Hyola 433 apresentou maior número de síliquas por planta, quando polinizado por *A. mellifera*, em comparação ao Hyola 61. Adegas e Nogueira-Couto (1992), observaram que as visitas

de abelhas melíferas contribuíram para o aumento de 35% na produção de siliquis por metro quadrado avaliando o cultivar CTC-4 de colza no Estado de São Paulo/Brasil. Durán et al. (2010) ao estudarem a cultivar Artus, verificaram que a variável menos afetada pela polinização realizada pelas abelhas foi o número de grãos por síliqua. Chambó et al. (2014) observaram aumento de 44,47% no número de grãos por síliquis, em plantas do híbrido Hyola 61, polinizadas por abelhas *A. mellifera*, comparado as plantas que realizaram somente a autopolinização.

Outro parâmetro importante relacionado à produtividade de canola é a massa dos grãos por síliquis. A influência da polinização realizada por abelhas *A. mellifera* na massa dos grãos varia conforme a época de semeadura, bem como entre cultivares (Chambó et al., 2014). Esses autores trabalhando com os cultivares Hyola 61 e Hyola 433, no oeste do Paraná, observaram que a massa de grãos por planta e o rendimento de grãos não diferiram entre o tratamento aberto e o fechado (polinizado só por *A. mellifera*), contudo foram 56,31% e 60,35% maiores, respectivamente, que a área protegida sem abelhas.

Além da produtividade, a polinização também está relacionada à qualidade do óleo das sementes (Durán et al., 2010; Ali et al., 2011). Bommarco et al. (2012) verificaram 20% de aumento no valor de mercado com o aumento no teor de óleo dos grãos. Outros efeitos como aumento da taxa de germinação das sementes (Bommarco et al., 2012), redução do período de floração e aceleração e uniformização do amadurecimento têm sido observados no cultivo de canola polinizada por abelhas (McGregor, 1976; Free, 1993).

Contudo, com a diminuição do número de colônias de *A. mellifera* no mundo, fenômeno conhecido como CCD (Colony Collapse Disorder), tem causado preocupação pelo uso exclusivo dessa espécie na polinização de culturas agrícolas (Imperatriz-Fonseca et al., 2012). Dessa maneira fica evidente a importância de estudos que identifiquem e avaliem a eficiência de outros polinizadores agrícolas.

1.8 Abelhas nativas polinizadoras de canola

O interesse pela polinização realizada por espécies nativas de abelhas tem aumentado em todo mundo. Pesquisa realizada por Stanley et al. (2013), na Irlanda, mostrou que a utilização da espécie *Bombus lapidarius* para polinização em canola é

uma alternativa viável. Ali et al. (2011), no Paquistão, e Kamel et al. (2015), no Egito, observaram que a polinização realizada pelas espécies *Halictus* sp. e *Colletes lacunatus*, respectivamente, aumentaram a produção de grãos em canola.

No Brasil, foram descritas 1.678 espécies de abelhas. Dentre os principais grupos de abelhas encontra-se a subtribo Meliponini, formado pelas abelhas sem ferrão, distribuídas em 33 gêneros e mais de 300 espécies (Moure et al., 2007). O uso das abelhas sem ferrão na polinização de culturas, apesar de incipiente, demonstra grande potencial, e tem gerado interesse pelo conhecimento da diversidade de espécies de abelhas que visitam algumas culturas oleaginosas. Cruz e Freitas (2013) verificaram as espécies *Plebeia* aff. *flavocincta*, *Trigona spinipes*, *Melipona subnitida*, visitando e coletando recursos nos capítulos de girassol.

No trabalho realizado por Adegas e Nogueira-Couto (1992), a espécie *T. spinipes*, foi observada perfurando as flores de canola para coletar pólen, reduzindo dessa maneira a produção de siliquis. Este comportamento não foi observado por Chambó et al. (2017), que indicaram que essas abelhas podem contribuir no processo de polinização dessa cultura. Apesar de haver presença de abelhas sem ferrão em flores de *B. napus*, existem poucos estudos no Brasil, testando o potencial polinizador dessas abelhas em canola.

1.9 Impacto da polinização por abelhas na economia

Considerando a importância das abelhas na polinização de diferentes culturas agrícolas, qualquer declínio na abundância dos mesmos pode gerar impacto na produção em escalas regionais, nacionais ou globais (Hein, 2009; Garibaldi et al., 2011), resultando em grandes prejuízos. Esta constatação foi confirmada por Gallai et al. (2009), ao estimarem o valor dos serviços prestados por estes agentes, que chega em €153 bilhões por ano, representando 9,5% de toda a produção agrícola mundial.

Nos Estados Unidos, o valor das culturas atribuído à polinização por insetos foi de US\$ 15,12 bilhões (Calderone, 2012). No Brasil, Novais et al. (2016) verificaram que 68% das 53 principais culturas alimentares cultivadas no país dependem em algum grau da polinização por animais. Para 29 dessas culturas, a perda de serviços de polinização reduziria a produção em 16,55 milhões de toneladas, equivalendo a

US\$4,86 bilhões de dólares por ano, resultando em redução de 6,46% da contribuição agrícola para o Produto Interno Bruto (PIB) brasileiro.

Dada a frequência e a importância das abelhas *A. mellifera* para o cultivo de canola, a avaliação do valor econômico dessas abelhas pode ser simulada usando a equação $V_{hb} = V \times D \times P$ (Robinson et al., 1989; Morse e Calderone, 2000), em que:

V_{hb} : é o valor das abelhas *A. mellifera* para a agricultura;

V: é a média dos últimos dois anos (safras 2014/2015 e 2016/2017) do valor da produção de canola em grãos, representada pelos dados de produção e preço pago pela saca de 60 kg, publicado pela CONAB (2016);

D: é a dependência da *B. nappus* por insetos polinizadores que varia de 0,5 a 1 e com valor médio de 0,75 (Gallai et al., 2009);

P: é a proporção efetiva de insetos polinizadores que são *A. mellifera*, cujo o valor observado foi de 0,90 (Morse e Calderone, 2000).

Portanto, substituindo os valores $V_{hb} = 70,5 \times 0,75 \times 0,90 = R\$ 47,6$ milhões. Esse valor reforça a importância das abelhas para o cultivo de canola, uma vez que para manter a mesma produtividade, sem a presença dos polinizadores, o custo de produção subiria consideravelmente, conseqüentemente o preço final do produto no mercado também.

Referências

- Abrol, D.P. 2007. Honeybees and rapeseed: a pollinator-plant interaction. *Adv. Bot. Res.* 45: 337–67. doi:10.1016/S0065-2296(07)45012-1.
- Adegas, J.E.B., e R.H. Nogueira-Couto. 1992. Entomophilous pollination in rape (*Brassica napus* L. var. *oleifera*) in Brazil. *Apidologie.* 23: 203–9. doi:10.1051/apido:19920302.
- Ali, M., S. Saeed, A. Sajjad, e A. Whittington. 2011. In search of the best pollinators for canola (*Brassica napus* L.) production in Pakistan. *Appl. Entomol. Zool.* 46: 353–61. doi:10.1007/s13355-011-0051-0.
- Bommarco, R., L. Marini, e B.E. Vaissière. 2012. Insect pollination enhances seed yield, quality, and market value in oilseed rape. *Oecologia.* 169:1025–32. doi:10.1007/s00442-012-2271-6.
- Bots, M., e C. Mariani. 2005. Pollen viability in the field. Netherlands: COGEM.
- Brown, J., J.B. Davis, M. Lauver, e D. Wysocki. 2008. Canola Growers ' Manual. Idaho, Estados Unidos: University.
- Calderone, N.W. 2012. Insect pollinated crops, insect pollinators and US agriculture: trend analysis of aggregate data for the period 1992–2009. *Plos One.* (online).
- Chambó, E.D., N.T.E. de Oliveira, R.C. Garcia, J.B. Duarte-Júnior, M.C.C. Ruvolo-Takasusuki, e V.A.A. Toledo. 2014. Pollination of rapeseed (*Brassica napus*) by Africanized honeybees (Hymenoptera:Apidae) on two sowing dates. *An. Acad. Bras. Ciênc.* 86:2087–2100. doi:10.1590/0001-3765201420140134.
- Chambó, E.D., N.T.E. Oliveira, R.C. Garcia, M.C.C. Ruvolo-Takasusuki, e V.A.A. Toledo. 2017. Statistical modeling of insect behavioral response to changes in weather conditions in *Brassica napus* L. *Arthropod. Plant. Interact.* 1:1–9. doi:10.1007/s11829-017-9506-8.
- CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. 2016. Conjuntura mensal - Período: Dezembro 2016. Brasília. http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/17_01_03_11_27_21_canol

- a_-_conjuntura_mensal_-_dezembro_2016.pdf (acessado em 11 jan. 2017).
- Cruz, D.O., e B.M. Freitas. 2013. Diversidade de abelhas visitantes florais e potenciais polinizadores de culturas oleaginosas no nordeste do Brasil. *Ambiência*. 9: 411–18. doi:10.5777/ambiencia.2013.02.02nt.
- Delaplane, K.S., e D.F. Mayer. 2000. *Crop pollination by bees*. New York: CABI Publishing.
- Durán, X.A., R.B. Ulloa, J.A. Carrillo, J.L. Contreras, e M.T. Bastidas. 2010. Evaluation of yield component traits of honeybee-pollinated (*Apis mellifera* L.) rapeseed canola (*Brassica napus* L.). *Chil. J. Agric. Research* 70:309–14.
- Edwards, J., e K. Hertel. 2011. *Canola Growth & Development*. 1sted. Orange - Austrália: NSW Department of Primary Industries.
- Eichelberger, L., C. de Mori, G. Tomm, P.E. Ferreira, e V.M. Vieira. 2013. *Tecnologias de Produção de Canola*. Passo Fundo: EMBRAPA. http://bs.sede.embrapa.br/2012/relatorios/trigo_2012_centeioserrano.pdf (acessado em 15 jan. 2017).
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. 2016. *Produção de Canola Cresce 36% No Brasil*. 2016. <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/18379088/producao-de-canola-cresce-36-no-Brasil> (acessado em 23 de jan. 2017).
- Free, J. B. 1993. *Insect Pollination of Crops*. 2nded. San Diego: Academic Press.
- Gallai, N., J. M. Salles, J. Settele, e B. E. Vaissière. 2009. Economic valuation of the vulnerability of world agriculture confronted with pollinator decline. *Ecol. Econ.* 68:810–21. doi:10.1016/j.ecolecon.2008.06.014.
- Garibaldi, L.A., M.A. Aizen, A.M. Klein, S.A. Cunningham, e L.D. Harder. 2011. Global growth and stability of agricultural yield decrease with pollinator dependence. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 108: 5909–14. doi:10.1073/pnas.1012431108.
- Guinazi, M., R.C.R.M. Milagres, H.M. Pinheiro-Sant’Ana, e J.B.P. Chaves. 2009. Tocoferóis e tocotrienóis em óleos vegetais e ovos. *Quim. Nova*. 32: 2098–2103. doi:10.1590/S0100-40422009000800021.
- Hein, L. 2009. The economic value of the pollination service, a review across scales. *Open Ecol. J.* 2: 74–82. doi:10.2174/1874213000902010074.
- Hiroi, K., M. Sone, S. Sakazono, M. Osaka, H. Masuko-Suzuki, T. Matsuda, G. Suzuki, K. Suwabe, e M. Watanabe. 2013. Time-lapse imaging of self and cross-pollinations in *Brassica rapa*. *Ann. Bot.* 112: 115–22. doi:10.1093/aob/mct102.
- Hüsken, A., e A. Dietz-Pfeilstetter. 2007. Pollen-mediated intraspecific gene flow from

- herbicide resistant oilseed rape (*Brassica napus* L.). *Transgenic Res.* 16: 557–69. doi:10.1007/s11248-007-9078-y.
- IBGE-Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2016. Pesquisa mensal de previsão e acompanhamento das safras agrícolas no ano civil. Levantamento sistemático da produção agrícola. [ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao_Agricola/Levantamento_Sistematico_da_Producao_Agricola_\[mensal\]/Fasciculo/lspa_201612.pdf](ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao_Agricola/Levantamento_Sistematico_da_Producao_Agricola_[mensal]/Fasciculo/lspa_201612.pdf) (acessado em 27 jan. 2017).
- Imperatriz-Fonseca, V.L., L.S. Gonçalves, T.M. Franco, e P. Nunes-Silva. 2012. O desaparecimento das abelhas melíferas (*Apis mellifera*) e as perspectivas do uso de abelhas não melíferas na polinização. *Documentos (Embrapa Semi-Árido. Online)* 249:210–33.
- Kamel, S. M., H. M. Mahfouz, A. E. H. Blal, M. Said, e M. F. Mahmoud. 2015. Diversity of insect pollinators with reference to their impact on yield production of canola (*Brassica napus* L.) in Ismailia, Egypt. *Pestic. Phytomed.* 30:161–68. doi:10.2298/PIF1503161K.
- MAPA-Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. 2016. Estatísticas e dados básicos de economia agrícola. 2015. [http://www.agricultura.gov.br/arq_editor/Pasta de Novembro - 2015.pdf](http://www.agricultura.gov.br/arq_editor/Pasta%20de%20Novembro%20-2015.pdf) (acessado em 02 fev. 2017).
- McGregor, S.E. 1976. Insect pollination of cultivated crop plants. Department of agriculture. United States: Agriculture Handbook.
- Mori, C., G.O. Tomm, e P.E.P. Ferreira. 2014. Aspectos econômicos e conjunturais da cultura da canola no mundo e no Brasil, Embrapa Trigo. Documentos online. <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/988475> (acessado em 13 jan. 2017).
- Morse, R.A., e N.W. Calderone. 2000. The value of honey bees as pollinators of US crops in 2000. *Bee Culture* 128:1–15. <http://www.bee-culture.com/content/pollinationreprint07.pdf> (acessado em 20 jan 2017).
- Moure, J.S., D. Urban, e G.A.R. Melo. 2007. Catalogue of the bees (Hymenoptera, Apoidea) in the neotropical region. Curitiba: Sociedade Brasileira de Entomologia.
- Novais, S.M.A., C.A. Nunes, N.B. Santos, A.R. D’Amico, G.W. Fernandes, M. Quesada, R.F. Braga, e A.C.O. Neves. 2016. Effects of a possible pollinator crisis on food crop production in Brazil. *Plos One.* 11: 1–12. doi:10.1371/journal.pone.0167292.
- OECD/FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2015. *OECD-FAO Agricultural Outlook 2015-2024*. Paris: OECD Publishing. doi:10.1787/agr_outlook-2015-en.

- OGTR - Office of the Gene Technology Regulator. 2016. The biology of *Brassica napus* L. (Canola) and *Brassica juncea* (L.) Czern. & Coss. (*Indian mustard*). Austrália: Office of the Gene Technology Regulator.
- Ramos, M.J., C.M. Fernández, A. Casas, L. Rodríguez, e A. Pérez. 2009. Influence of fatty acid composition of raw materials on biodiesel properties. *Bioresour. Technol.* 100:261–68. doi:10.1016/j.biortech.2008.06.039.
- Raven, P.H., R.F. Evert, e S.E. Eichhorn. 2014. *Biologia vegetal*. 8ª Ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan.
- Rech, A.R., K. Agostini, P.E. Oliveira, e I.C. Machado. 2014. *Biologia da polinização*. Rio de Janeiro: Projeto Cultural.
- Robinson, W.S., R. Nowogrodzki, e R.A. Morse. 1989. The value of honey bees as pollinators. *Am. Bee J.* 129:411–23.
- SEAB/DERAL - Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento. 2017. Estimativa de Safra. 2017. <http://www.agricultura.pr.gov.br/> (acessado em 13 fev. 2017).
- Stanley, D.A., D. Gunning, e J. C. Stout. 2013. Pollinators and pollination of oilseed rape crops (*Brassica napus* L.) in Ireland: ecological and economic incentives for pollinator conservation. *J. Insect Conserv.* 17: 1181–89. doi:10.1007/s10841-013-9599-z.
- Tomm, G.O., e P.E.P. Ferreira. 2016. *Canola - Híbridos convencionais e com resistência a clearfield*. Passo Fundo: EMBRAPA.
- Tomm, G.O., S. Wiethölter, G.A. Dalmago, e H.P. Santos. 2009. *Tecnologia para produção de canola no Rio Grande do Sul*. Embrapa Trigo. www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/863304 (acessado 5 de jan. 2017).
- Treu, R., e J. Emberlin. 2000. Pollen dispersal in the crops maize (*Zea mays*), oil seed rape (*Brassica napus* ssp. *oleifera*), potatoes (*Solanum tuberosum*), sugar beet (*Beta vulgaris*) and wheat (*Triticum aestivum*): Evidence from publications. A report for the soil association. Worcester: Soil Association.
- USDA - United States Department of Agriculture. 2016. Production, supply, and distribution (PS&D). <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/app/index.html#/app/compositeViz> (acessado em jan. 2017).
- . 2017. *Canola*. Washington: USDA. <https://www.ers.usda.gov/topics/crops/soybeans-oil-crops/canola/> (acessado em jan. 2017).

II – OBJETIVOS GERAIS

- Avaliar a contribuição da polinização realizada por *Apis mellifera* e *Tetragonisca angustula* na produção e composição dos grãos de canola (*Brassica napus* L.), cultivar Hyola 76, semeado nos anos de 2015 e 2016;
- Avaliar os efeitos de tempo, em horas do dia, de testes de polinização e de covariáveis ambientais (umidade relativa do ar e temperatura) sobre o comportamento das abelhas durante o forrageamento;
- Avaliar a composição bromatológica do pólen de canola (*B. napus* L.) cultivar Hyola 76, comparando o pólen apícola do alvado com o pólen apícola armazenado pelas abelhas *Apis mellifera* e *Tetragonisca angustula*.

III – Polinização realizada por *Apis mellifera*, *Tetragonisca angustula* e por ambas em associação, sobre a produção e qualidade dos grãos de canola (*Brassica napus* L.)

Resumo

Objetivou-se avaliar a contribuição da polinização realizada por *Apis mellifera*, *Tetragonisca angustula* e de ambas associadas, na produção e qualidade dos grãos de canola (*Brassica napus*) cultivar Hyola 76. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso completos com esquema de parcelas subdivididas. Os tratamentos foram constituídos pela combinação de duas classes de ano (2015 e 2016), alocadas nas parcelas, e cinco testes de polinização (área livre à visitação de insetos; gaiola com uma colônia de *A. mellifera*; gaiola com uma colônia de *T. angustula*; gaiola com uma colônia de *A. mellifera* e uma colônia de *T. angustula*; gaiola sem abelhas), que foram alocados nas subparcelas. O número de síliquas por planta das áreas livres, das gaiolas com *A. mellifera* e gaiolas com *A. mellifera* mais *T. angustula* foram 43,43%, 30,50% e 21,23%, respectivamente, maiores que as gaiolas de polinização sem abelhas. Enquanto o número de grãos por síliqua das plantas colhidas nas áreas livres, nas gaiolas com *A. mellifera*, gaiolas com *A. mellifera* mais *T. angustula* e nas gaiolas com *T. angustula*, foram 23,78%, 22,65%, 22,12% e 24,12%, respectivamente, maiores em relação às gaiolas de polinização sem abelhas. A massa de grãos por síliqua e a germinação das sementes foram menores nas gaiolas de polinização sem abelhas, comparado aos demais testes de polinização. A presença das abelhas *A. mellifera* e *T. angustula* na cultura de canola além de melhorar componentes relacionados a produção, também atenua as perdas produtivas quando o ambiente não apresenta condições adequadas para o cultivo.

Palavras-Chave: abelha nativa, oleaginosa, polinizadores, produção de grãos

Pollination by *Apis mellifera*, *Tetragonisca angustula* and by both in association, on production and quality of canola (*Brassica napus* L.)

ABSTRACT The objective of this research was to evaluate the contribution of pollination by *Apis mellifera*, *Tetragonisca angustula* and both associated, on yield and quality of canola grains (*Brassica napus* L.) cultivar Hyola 76. The experimental design

was a randomized complete block with split plot scheme. The treatments consisted of the combination of two year classes (2015 and 2016), as parcels, and five pollination tests (free area to visit insects; cage with a colony of *A. mellifera*; cage with a colony of *Tetragonisca angustula*; cage with a colony of *A. mellifera* and a colony of *T. angustula*; cage without bees), which were the subplots. The number of pods per plant of the free areas, of the cages with *A. mellifera* and cages with *A. mellifera* plus *T. angustula* were 43.43%, 30.50% and 21.23%, respectively, higher than the insect-free pollination cages. While the number of grains per pod of the plants harvested in the free areas, in cages with *A. mellifera*, cages with *A. mellifera* plus *T. angustula* and in cages with *T. angustula*, were 23.78%, 22.65%, 22.12% and 24.12%, respectively, higher in relation to insect-free pollination cages. Grain mass per pod and seed germination were lower in insect-free pollination cages compared to other pollination tests. The presence of *A. mellifera* and *T. angustula* bees in canola crop, besides improving production related components, also attenuates productive losses when the environment does not present adequate conditions for cultivation.

KEY WORDS: grain production, oleaginous, pollinators, stingless bee

Lista de abreviações

NSP - número de síliquas por planta;

NGS - número de grãos por síliqua;

MGS - massa de grãos por síliqua;

CS - comprimento das síliquas;

Rend – rendimento;

Ger – germinação;

EE – extrato etéreo;

PB – proteína bruta.

Introdução

Dentre as plantas oleaginosas mais produzidas no mundo, a canola (*Brassica napus*) ocupa a terceira posição. O termo canola derivou do inglês "*CAN*adian *Oil Low Acid*", na década de 1970, para denominar os novos cultivares de colza que continham, no óleo de seus grãos, menos de 2% de ácido erúico e menos de 30 $\mu\text{mol g}^{-1}$ de glucosinolatos (OGTR, 2016).

Com essas mudanças, o cultivo de canola tornou-se uma excelente alternativa econômica, pela qualidade de seus grãos e o interesse comercial por seus diferentes produtos. A produção mundial de grãos de canola foi de 70,2 milhões de toneladas na safra de 2015/16 e foram extraídas 27,7 milhões de toneladas de óleo (USDA, 2016).

No Brasil, essa cultura encontra-se em ascensão, sendo que no ano de 2016 foram produzidos 75 mil toneladas de grãos, em 47,5 mil hectares, representando 26,9% a mais que em 2015 (CONAB, 2016). No intuito de consolidar a produção de canola no Brasil, fazendo com que se explore ao máximo o potencial produtivo da cultura, torna-se importante conhecer a dependência de polinização cruzada dos diferentes cultivares comercializados no país.

A presença de abelhas *Apis mellifera* nas culturas das principais oleaginosas cultivadas no Brasil, tende a aumentar a produtividade, conforme documentado nos trabalhos de Chiari et al. (2013) com a soja, e Chambó et al. (2011) com o girassol. Esta constatação também foi observada no cultivo de canola (*Brassica napus* L. var. oleifera), em que os aspectos produtivos, como número de síliquas por planta, número de grãos por síliquas (Durán et al., 2010; Chambó et al., 2014), massa de grãos por síliqua (Munawar et al., 2009; Ali et al., 2011) e o rendimento de grãos (Chambó et al., 2014; Lindström et al., 2015) são beneficiados pela polinização realizada por abelhas. A polinização realizada por insetos nas flores de canola também melhora a qualidade do óleo dos grãos e a germinação das sementes (Bommarco et al., 2012; Kamel et al., 2015).

No Brasil, além das abelhas *A. mellifera* africanizada, há mais de 1.500 espécies de abelhas nativas (Silveira et al., 2002). Diferentes espécies de abelhas sem ferrão (meliponíneos) foram observadas forrageando em culturas oleaginosas (Cruz e Freitas, 2013), porém avaliações do potencial polinizador dessas espécies na cultura ainda são escassos. Adegas e Nogueira-Couto (1992) verificaram que as flores de colza foram

visitadas além das *A. mellifera*, por *Dialictus* sp., *Dialictus phaedrus*, Megachile, *Thectochlora alaris* e *Trigona spinipes*. As abelhas sem ferrão *Trigona spinipes* são efetivas polinizadoras de algumas culturas (Giannini et al., 2014). Chambó et al. (2017) observaram que as abelhas *T. spinipes* podem contribuir no processo de polinização da cultura de canola.

Uma espécie de abelha sem ferrão, muito utilizada comercialmente, com alta distribuição geográfica e que apresenta grande potencial polinizador é a *Tetragonisca angustula*. Essa espécie é utilizada principalmente para polinização de morango (*Fragaria x ananassa* Duch.) em cultivos protegidos (Antunes et al., 2007), contudo, ainda não existem estudos testando sua eficiência na polinização em cultivo de canola. Considerando a introdução de diferentes cultivares de canola, que respondem de modos distintos à polinização por insetos e os poucos estudos existentes no Brasil, testando o potencial polinizador das abelhas nativas nessa cultura, o objetivo desse estudo foi avaliar a contribuição da polinização realizada por *A. mellifera*, *T. angustula*, e por ambas em associação, sobre a produtividade e qualidade dos grãos de canola (*B. napus* L.), cultivar Hyola 76.

Material e Métodos

O experimento foi desenvolvido na Estação Experimental Professor Alcebíades Luiz Orlando, da Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE, localizada no município de Entre Rios do Oeste, PR, Brasil (Latitude 24°40'51''S e Longitude 54°16'56''GR), no fuso 21, que apresenta altitude de 400 m. As coordenadas são referentes ao Datum SIRGAS 2000.

O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho Eutoférico (EMBRAPA, 2006). O experimento foi instalado nos anos 2015 e 2016, havendo a distância de 80 metros entre as áreas cultivadas de um ano para o outro, e 27 e 107 m, respectivamente, de distância da margem de uma Área de Preservação Permanente. Em um raio de 1.500 m ao redor da cultura, o uso e ocupação das terras foram definidos em quatro classes, sendo 28,60% área de água, 4,04% área com construções, 36,48% área agrícola e 30,88% área de matas, no ano de 2015. Enquanto no ano de 2016, estas classes se dividiram em 27,95% área de água, 4,04% área com construções, 36,72% área agrícola e 31,29% área de matas (Figura 1).

No primeiro ano (2015), próximo à área experimental havia cultivos de aveia (*Avena sativa* L.), milho (*Zea mays* L.), trigo (*Triticum aestivum* L.) e mandioca (*Manihot esculenta*). No segundo ano (2016), além das culturas citadas, havia também quinoa (*Chenopodium quinoa*).

A canola foi semeada em sistema de plantio direto, tendo como cultura antecessora a soja. O cultivar avaliado foi Hyola 76, de ciclo longo, que dura de 120 a 164 dias, desde a emergência da plântula até a maturação, sendo que o início da floração ocorre entre 61 a 81 dias após a emergência e dura de 24 a 62 dias (Tomm e Ferreira, 2016).

Foi realizada a correção da acidez do solo com aplicação de 1,6 t ha⁻¹ e 1,8 t ha⁻¹ de calcário dolomítico, no primeiro e segundo ano, respectivamente, 30 dias antes da semeadura. Para a adubação do solo, foram aplicados na linha de semeadura 200 kg ha⁻¹ do formulado NPK 10-15-15. Na adubação de cobertura, para suprir as demandas de nitrogênio e enxofre, foram aplicados 182 kg ha⁻¹ de sulfato de amônio, quando as plantas apresentavam quatro folhas verdadeiras, no primeiro e segundo ano. Toda a adubação baseou-se nas interpretações da análise química do solo de acordo com as recomendações sugeridas pela EMBRAPA (Tomm et al., 2009).

A semeadura no primeiro ano ocorreu em 31/05/2015 e no segundo ano em 05/05/2016, totalizando 50 parcelas (25 em cada ano), de 24 m² cada. O espaçamento entre linhas utilizado foi de 51 cm. Quando as plantas apresentavam de quatro a cinco folhas verdadeiras, foi realizado o desbaste de todas as parcelas ajustando para 40 plantas/m². Os dados meteorológicos locais durante a condução do experimento foram coletados da Estação Meteorológica Experimental da Unioeste (Figura 2).

Um total de 50 observações de produção e qualidade de sementes de grãos foram analisadas em delineamento experimental de blocos ao acaso completos com esquema de parcelas subdivididas, com dez tratamentos e cinco repetições. Os tratamentos foram constituídos pela combinação de duas classes de ano (2015 e 2016), alocadas nas parcelas, e cinco testes de polinização: área demarcada livre à visitação de insetos (controle); gaiola de polinização com uma colônia de *A. mellifera*; gaiola de polinização com uma colônia de *Tetragonisca angustula*; gaiola de polinização com uma colônia de *A. mellifera* e uma colônia de *T. angustula*; gaiola de polinização sem abelhas), que foram alocados nas subparcelas. Os blocos foram constituídos de cinco conjuntos contendo cinco testes de polinização cada.

Em cada bloco, nas áreas livres, realizou-se o levantamento dos insetos visitantes, utilizando armadilhas coloridas pan traps das cores amarelo, azul e branco, cada uma contendo água e detergente. O detergente foi utilizado para quebrar a tensão superficial da água, para que os insetos caíssem no fundo das armadilhas. As cores das armadilhas foram escolhidas, por serem complementares para amostragem das comunidades de Hymenoptera (Moreira et al., 2016).

As armadilhas foram montadas sobre um suporte de madeira, na altura das flores, ficando aproximadamente a 1,40m do solo. As coletas dos insetos foram realizadas diariamente, durante todo o período de florescimento da cultura, as 18h00, os insetos capturados foram colocados em um recipiente e levados para laboratório de entomologia da Universidade Estadual do Oeste do Paraná, para posterior identificação.

As colmeias utilizadas para alojar as abelhas *A. mellifera* foram núcleos, com cinco quadros, sendo três com cria e dois com alimento e, para *T. angustula*, foram utilizadas colmeias padrão, composta por ninho e duas melgueiras (20 cm x 20 cm x 8 cm, como medidas internas do ninho). As colônias foram inseridas na cultura com aproximadamente 10% de floração, nas datas 09/08/2015 e 18/07/2016. Durante toda a floração receberam, individualmente, água potável e xarope de açúcar, na concentração de 25 mol L⁻¹, como complemento alimentar.

As vinte gaiolas de polinização foram confeccionadas conforme Chiari et al. (2005), com tela de nylon de malha 2x2 mm, apoiadas por tubos de ¾ de polegada em PVC, formando gaiolas de 4 m de largura, 6 m de comprimento e 2 m de altura na parte mais alta, perfazendo uma área de 24 m² (Figura 3). As mesmas foram montadas antes da floração nas datas de 31/07/2015 no primeiro e 05/07/2016, no segundo ano, permanecendo na cultura até o término do período de florescimento, permitindo o pleno desenvolvimento vegetativo das plantas. Na semeadura realizada em 31/05/2015, o florescimento ocorreu em 05/08/2015, permanecendo até 12/09/2015, e as que foram semeadas 05/05/2016 iniciaram o florescimento em 12/07/2016, estendendo-se até 27/08/2016.

A colheita foi realizada manualmente, após observação do início da deiscência das síliquis. No primeiro ano, as plantas foram colhidas 124 dias após o plantio (02/10/2015), enquanto no segundo ano, 134 dias (16/09/2016).

As plantas colhidas foram submetidas à secagem ao sol durante sete dias. O rendimento de grãos (kg ha⁻¹) foi estimado após a limpeza, classificação e pesagem dos

grãos colhidos da área útil de cada parcela (3,06 m²). O rendimento de grãos foi corrigido para 10% de umidade, que é a umidade de referência na comercialização (Tomm et al., 2009). O teor de umidade das sementes foi determinado pelo método da estufa a 105°C ± 30°C durante 24h, com duas réplicas de cada unidade experimental (BRASIL, 2009).

Foram coletadas aleatoriamente dez plantas da área útil de cada parcela e retiradas dez síliquis de cada planta, sendo três da parte superior, quatro do terço médio, e três síliquis da parte inferior, para calcular o valor médio por tratamento dos números de síliquis por planta (NSP), número de grãos por síliqua (NGS), massa de grãos por síliqua (MGS, em gramas) e comprimento das síliquis (CS, em centímetros). A avaliação da germinação de sementes foi efetuada com base nas Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 2009). Para determinação da qualidade dos grãos, avaliou-se o teor de extrato etéreo e proteína bruta, conforme descrito por Silva e Queiroz (2002).

Com os dados de rendimento de grãos dos dois anos (Tabela 1), estimou-se o valor da dependência da cultura da canola (Dcanola) por abelhas africanizadas *A. mellifera* e *T. angustula* nos dois anos, empregando-se a equação proposta por Robinson et al. (1989):

$$D_{canola} = (Y_o - Y_c) / Y_o$$

Em que:

Y_o = o rendimento de grãos (kg ha⁻¹) colhidos nas gaiolas de polinização com abelhas africanizadas e jataí e Y_c = o rendimento de grãos (kg ha⁻¹) colhidos na gaiola de polinização sem abelhas.

Os dados foram analisados por meio do modelo misto:

$$Y_{ijk} = m + a_i + b_k + \varepsilon_{ik} + TP_j + a*TP_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

em que:

y_{ijk} = observação medida no i -ésimo ano ($i = 1$ e 2), no j -ésimo teste de polinização ($j = 1, 2, 3, 4$ e 5) no k -ésimo bloco;

m = média geral;

a_i = efeito aleatório de ano;

b_k = efeito aleatório de bloco;

ε_{ik} = erro aleatório da parcela (interação bloco e ano);

TP_j = efeito fixo de teste de polinização;

$a*TP_{ij}$ = efeito aleatório de interação entre ano e teste de polinização

ε_{ijk} = erro aleatório da subparcela.

As respostas obtidas entre unidades experimentais de diferentes testes de polinização foram assumidas como estatisticamente independentes. Os efeitos de testes de polinização sobre as variáveis foram avaliados por meio do teste F da análise do tipo III para efeitos fixos. Constatada a significância de teste de polinização na análise do tipo III, as médias de quadrados mínimos (*lsmeans*) entre testes de polinização foram comparadas por meio do teste da diferença de *lsmeans*. O nível de 5% de significância foi adotado em todos os testes de hipóteses. As análises estatísticas foram realizadas utilizando-se os softwares SAS[®] University Edition.

Resultados

Nos testes de efeitos fixos do tipo III do modelo misto utilizado, houve efeito significativo de teste de polinização ($p < 0,05$) sobre as variáveis número de siliquas por planta (NSP), número de grãos por síliqua (NGS), massa de grãos por síliqua (MSG) e germinação (GER). Contudo, não houve efeito significativo de teste de polinização ($p < 0,05$) sobre as variáveis comprimento da síliqua (CS), rendimento de grãos (REND), extrato etéreo (EE) e proteína bruta (PB).

O número médio de siliquas por planta cultivadas nas gaiolas de polinização sem inseto foi menor ($p < 0,05$) que da área livre, gaiolas de polinização com *A. mellifera* e gaiolas de polinização com *A. mellifera* mais *T. angustula* (Tabela 2). O número de siliquas por planta cultivada nas áreas livres, não diferiram do cultivo das gaiolas de polinização com *A. mellifera*, contudo foi maior ($p < 0,05$) comparado ao cultivo das gaiolas de polinização com *A. mellifera* mais *T. angustula*, das gaiolas de polinização com apenas *T. angustula* e das gaiolas de polinização sem abelha (Tabela 2). Ainda o número de siliquas por planta avaliado nas gaiolas de polinização com *A. mellifera* diferiu apenas das plantas presentes nas gaiolas sem abelhas (Tabela 2).

O número de grãos por síliqua, a massa de grãos por siliquas e a germinação dos grãos, foram menores nas siliquas coletadas nas gaiolas de polinização sem abelhas,

diferindo ($p < 0,05$) dos demais testes de polinização, que não apresentaram diferenças entre si (Tabela 2).

Para as variáveis: comprimento da siliqua (CS), rendimento de grãos (REND), extrato etéreo (EE) e proteína bruta (PB) não houve efeito significativo ($p < 0,05$) entre os testes de polinização (Tabela 2). Todos os dados seguem uma distribuição normal (Tabela 3).

Referente à dependência da cultura de canola por abelhas (Dcanola), no primeiro ano (2015) a dependência da presença de *A. mellifera* foi $D_{canola} = (1026,23 - 576,41)/1026,23 = 0,44$, e para *T. angustula* foi $D_{canola} = (1036,51 - 576,41)/1036,51 = 0,44$. No segundo ano (2016) $D_{canola} = (2276,14 - 1508,52)/2276,14 = 0,34$ para abelhas africanizadas e $D_{canola} = (1779,30 - 1508,52)/1779,30 = 0,15$ para *T. angustula*.

Durante o período de floração, as flores presentes nas áreas abertas foram visitadas por insetos da ordem Hymenoptera, Díptera, Lepidoptera e Coleoptera. Foram amostrados 2.977 espécimes. As abelhas mais frequentes foram a *A. mellifera* (58%), seguida da *Trigona spinipes* (25%), *T. angustula* (4%), Halictidae (4%), e 9% da ordem Hymenoptera capturado pertenciam a família Vespidae.

Discussão

A *B. napus* pertence ao grupo das variedades autocompatíveis, com uma proporção elevada de autopolinização, ou seja, pode obter alta produção de síliquas e grãos, mesmo na ausência de insetos polinizadores (Hoyle et al., 2007). Dessa maneira uma das hipóteses dessa pesquisa foi que a autopolinização ocorrida nas plantas, cultivadas na gaiola de polinização sem abelhas, gerasse número de síliquas por planta, número de grãos por siliqua, massa de grãos por siliqua, comprimento de siliqua e rendimento de grãos, equivalentes às áreas livres, gaiolas de polinização com *A. mellifera*, gaiolas de polinização com *A. mellifera* mais *T. angustula* e gaiolas com *T. angustula*. Contudo, os resultados obtidos neste trabalho, contribuíram para a não aceitação dessa hipótese, somente para as variáveis número de siliqua por planta, número de grãos por siliqua, massa de grãos por siliqua e germinação dos grãos.

O número de síliquas por planta coletadas das áreas livres, nas gaiolas com *A. mellifera* e nas gaiolas com *A. mellifera* mais *T. angustula* foram 43,43%, 30,50% e

21,23%, respectivamente, maiores que os das gaiolas de polinização sem abelhas. Resultados semelhantes foram encontrados por Durán et al. (2010), que verificaram aumento no número de síliquas por planta de 90,38% em áreas com polinização livre, comparado a áreas com exclusão total de insetos. Chambó et al. (2014) observaram que o cultivar Hyola 433 apresentou maior número de síliquas por planta, quando polinizado por *A. mellifera*, em comparação ao Hyola 61.

Normalmente, em gaiolas de polinização, a tendência é que haja aumento da temperatura interna e redução da quantidade de radiação solar e diminuição da velocidade do vento, podendo afetar o desenvolvimento das plantas (Durán et al., 2010). Contudo, neste trabalho, as plantas presentes nas gaiolas de polinização com colônias de abelhas *A. mellifera* e *T. angustula*, conseguiram produzir maior número de síliquas por planta, comparadas as gaiolas de polinização sem abelhas, e as plantas produzidas nas gaiolas de polinização com *A. mellifera* não diferiram no número de síliquas por planta das produzidas nas áreas livres. Assim, em locais em que a polinização realizada pelo vento for insuficiente para atingir o máximo de flores e que as plantas estejam sob estresse térmico, a polinização adicional por abelhas pode beneficiar a cultura.

O número de síliquas por planta coletado nas gaiolas de polinização com abelhas *A. mellifera* mais *T. angustula* e nas gaiolas de polinização com somente *T. angustula* foram 18,30% e 21,38%, respectivamente, menores que as áreas livres. Possivelmente, as plantas das áreas livres receberam maior número/frequência de visitantes florais, comparadas aos demais testes de polinização, e pode ter contribuído com estes resultados. Garibaldi et al. (2016) relataram que a maior diversidade e abundância de visitantes florais aumentam significativamente a produtividade das culturas.

Observou-se que nas áreas: livre, nas gaiolas de polinização com *A. mellifera*, gaiolas com *A. mellifera* mais *T. angustula* e nas gaiolas com *T. angustula*, os números de grãos por síliqua foram 23,78%, 22,65%, 22,12% e 24,12%, respectivamente, maiores em relação às gaiolas de polinização sem abelhas. Estudos desenvolvidos por Durán et al. (2010), com o cultivar Artus, e por Chambó et al. (2014), com os cultivares Hyola 61 e Hyola 433, também encontraram aumento no número de grãos por síliqua quando polinizada por *A. mellifera*.

Nas gaiolas de polinização sem abelhas, a maior parte da fecundação dos óvulos ocorreram pelo processo de autopolinização. Bots e Mariani (2005) verificaram que a autopolinização pode ser favorecida durante a fase 1 da antese, em que as anteras

encontram-se viradas para o interior da flor e o estigma receptivo. No entanto, alguns cultivares não apresentam receptividade do estigma nesta fase da antese, podendo limitar a autogamia.

A semelhança entre o número de grãos por siliqua em flores polinizadas por *A. mellifera* e *T. angustula*, indica a eficiência dessa abelha nativa como polinizadora. A eficiência de abelha nativa na polinização da cultura de canola também foi observada por Jauker et al. (2012), em estudo realizado na Alemanha, em que o número de grãos por síliquas elevou-se com maior densidade de polinizadores nativos, como a abelha solitária *Osmia rufa*.

A massa de grãos por siliqua e a germinação das sementes foram maiores nas áreas livres (32,07 e 5,82%), gaiolas de polinização com *A. mellifera* (22,37 e 6,04%), gaiolas de polinização com *A. mellifera* mais *T. angustula* (21,56 e 5,40%) e com *T. angustula* (30,45 e 6,30%), respectivamente, comparada às gaiolas de polinização sem abelhas. Chambó et al. (2014) observaram que a massa de grãos por planta não diferiu entre o tratamento aberto (livre para visitas) e o fechado (polinizado por *A. mellifera*), contudo foi 56,31% maior que na área protegida sem abelhas.

Embora as sementes utilizadas neste trabalho fossem híbridas e não haja indicação para o uso dos grãos F₂ para cultivo, foram realizadas análises de germinação dos grãos para verificar o efeito da polinização sobre essa característica biológica, no intuito de contribuir para estudos futuros relacionados à qualidade das sementes. Este trabalho evidenciou que polinização por *A. mellifera* e *T. angustula* aumenta o percentual de germinação das sementes híbridas de canola. Kevan e Eisikowitch (1990) também observaram que a presença de abelhas na canola (cv. OAC Triton) aumentou a capacidade de germinação das sementes. Kamel et al. (2015) verificaram que a germinação das sementes de *B. napus*, colhidas de áreas com polinização aberta foi de 95,2%, enquanto a germinação das sementes provenientes de áreas protegidas, sem polinização por insetos foi de 87,8%.

O maior número de síliquas por planta das áreas livres, e a semelhança estatística do número de grãos por siliqua, massa de grãos por siliqua e germinação dos grãos, entre as áreas livres e as gaiolas de polinização com abelhas: *A. mellifera*, *A. mellifera* mais *T. angustula* e somente com *T. angustula*, possivelmente ocorreram pela paisagem de entorno da cultura de canola (Figura 1), bem como pela proximidade do cultivo com a área de preservação permanente do lago de Itaipu, que é utilizada por

apicultores da região para colocação de suas colmeias. Essas características podem ter contribuído para que houvesse maior frequência de *A. mellifera*, mas também possibilitou que ocorressem outros visitantes florais como a *T. spinipes* e a *T. angustula*. A estrutura da paisagem pode caracterizar a diversidade e proporção de habitats favoráveis à nidificação dos polinizadores, bem como a quantidade destes no local (Kennedy et al., 2013).

Klein et al. (2007) verificaram que quanto mais próximo for a cultura de canola de remanescentes florestais, maior é a produção de grãos. Dessa maneira, a maior produção da cultura depende da presença de polinizadores, principalmente as abelhas, e a presença de polinizadores nas culturas depende da qualidade das áreas que circundam as plantações.

Adegas e Nogueira-Couto (1992) verificaram na cultura de colza, que as espécies com maior frequência de visitas foram *A. mellifera* (80,6%), seguida por *T. spinipes* (12,8%) e *Dialictus* sp. Chambó et al. (2017) observaram que a *A. mellifera* apresentou a maior abundância entre os visitantes (89%), seguida por *Diabrotica speciosa* (6,1%), Dípteros (3,5%), *T. spinipes* (0,90%) e ordem Lepidoptera (0,5%).

Não houve efeito ($P > 0,05$) dos testes de polinização para o rendimento de grãos. Este resultado difere dos estudos realizados por Durán et al. (2010) no Chile, que registraram aumento de 50,34% no rendimento da canola, em áreas polinizadas por *A. mellifera*. No Brasil, Chambó et al. (2014) também constataram que o rendimento de grãos foi 222,90% e 104,27% maior nas áreas livre e coberta por gaiola com abelhas africanizadas, respectivamente, em relação à área coberta sem abelhas. Essa variação nos resultados pode ser pelas diferenças dos cultivares estudados.

A dependência da cultura de canola por polinização realizada pelas abelhas *A. mellifera* e *T. angustula* no ano 2015, foi de 0,44 para as duas espécies de abelhas, e de 0,34 para *A. mellifera* e 0,15 para *T. angustula* no ano 2016. A produção de grãos no cultivo de canola é favorecida por temperaturas do ar mais baixas, entre 13° a 20°C (OGTR, 2016). Neste trabalho, as condições ambientais foram mais propícias para o desenvolvimento da cultura no ano de 2016, em que a temperatura média do ar foi de 18°C durante o florescimento da canola, enquanto no ano de 2015 a temperatura foi maior, em média 23°C (Figura 2). Assim, observa-se que a cultura de canola tende a depender mais de polinizadores para produção de grãos, quando as condições ambientais não são favoráveis para o seu desenvolvimento, possivelmente ocorra

diminuição da autopolinização. Resultados semelhantes foram encontrados por Chambó et al. (2014), para a dependência da cultura de canola por abelhas africanizadas, que foi de 0,51 em condições ambientais menos propícias para o desenvolvimento da cultura, e de 0,33 em condições mais propícias.

A viabilidade dos grãos de pólen da *B. napus* e germinação dos mesmos diminuem quando as plantas são submetidas ao estresse por alta temperatura (Edwards e Hertel, 2011). Esse fato pode ter limitado o processo de autopolinização no primeiro ano e favorecido a polinização cruzada, aumentando a dependência da cultura por abelhas. Com a presença das abelhas na cultura, grande número de flores são forrageadas em sucessivas visitas, e aumenta a quantidade de pólen depositado sobre o estigma, e as chances de haver crescimento do tubo polínico, resultando em maior número de óvulos fecundados por flor.

Não houve efeito ($P > 0,05$) dos testes de polinização para o comprimento das síliquas, teor de óleo dos grãos e proteína bruta dos grãos, sugerindo que essas variáveis não foram influenciadas pela polinização entomófila (Tabela 2). Chambó et al. (2014) também não verificaram efeito de polinização realizada por *A. mellifera* na cultura de canola sobre o teor de óleo dos grãos. As características referentes à qualidade dos grãos estão mais relacionadas aos fatores fisiológicos da própria planta e das condições climáticas.

Considerando que o número de síliquas por planta, número de grãos por síliqua e a massa dos grãos podem afetar a produção final de canola, os dados deste trabalho evidenciam a importância das abelhas africanizadas *A. mellifera* e das abelhas nativas *T. angustula* na polinização da cultura da canola. A partir das avaliações dos dados desta pesquisa, verificou-se que, tanto as abelhas *A. mellifera* como as *T. angustula*, podem aumentar a germinação dos grãos e melhorar características relacionadas à produtividade, principalmente em ambientes que não apresentam condições ótimas para o cultivo de canola, como temperaturas mais elevadas, compensando em parte as perdas produtivas. Dessa maneira, as abelhas *A. mellifera* e *T. angustula* podem ser utilizadas para serviços de polinização na cultura de canola cv. Hyola 76, especialmente, em locais em que há déficit de polinizadores ou estresse térmico, a fim de melhorar as características de produtividade dos grãos.

Importantes aspectos a serem considerados na escolha do polinizador, são as diferenças no manejo para cada espécie. Levando-se em consideração a maior

defensividade das abelhas africanizadas, essa característica torna o seu manejo mais laborioso e custoso, além de existirem potenciais riscos às pessoas ou animais no entorno da área cultivada. Situação está diferente da existente com as colmeias de *T. angustula*, podendo ser estes fatores favoráveis a utilização destas na cultura de canola.

Referências

- Adegas, J.E.B., e R.H. Nogueira-Couto. 1992. Entomophilous pollination in rape (*Brassica napus* L. var. oleifera) in Brazil. *Apidologie*. 23: 203–9. doi:10.1051/apido:19920302.
- Ali, M., S. Saeed, A. Sajjad, e A. Whittington. 2011. In search of the best pollinators for canola (*Brassica napus* L.) production in Pakistan. *Appl. Entomol. Zool.* 46: 353–61. doi:10.1007/s13355-011-0051-0.
- Antunes, O.T., E.O. Calvete, H.C. Rocha, A.A. Nienow, D. Cecchetti, E. Riva, e R.E. Maranhão. 2007. Produção de cultivares de morangueiro polinizadas pela abelha jataí em ambiente protegido. *Hortic. Bras.* 25: 94–99. doi:10.1590/S0102-05362007000100018.
- Bommarco, R., L. Marini, e B.E. Vaissière. 2012. Insect pollination enhances seed yield, quality, and market value in oilseed rape. *Oecologia*. 169: 1025–32. doi:10.1007/s00442-012-2271-6.
- Bots, M., e C. Mariani. 2005. Pollen viability in the field. Netherlands: COGEM.
- Brasil - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. 2009. Regras para análise de sementes. 1sted. Brasília: Secretaria de Defesa Agropecuária. doi:978-85-99851-70-8.
- Chambó, E.D., R.C. Garcia, N.T.E. Oliveira, e J.B. Duarte-Júnior. 2011. Honey bee visitation to sunflower: effects on pollination and plant genotype. *Sci. Agric.* 68: 647–51. doi:10.1590/S0103-90162011000600007.
- Chambó, E.D., N.T.E. De Oliveira, R.C. Garcia, J.B. Duarte-Júnior, M.C.C. Ruvolo-Takasusuki, e V.A.A. Toledo. 2014. Pollination of rapeseed (*Brassica napus*) by Africanized honeybees (Hymenoptera: Apidae) on two sowing dates. *An. Acad. Bras. Cienc.* 86:2087–2100. doi:10.1590/0001-3765201420140134.
- Chambó, E.D., N.T.E. Oliveira, R.C. Garcia, M.C.C. Ruvolo-Takasusuki, e V.A.A. Toledo. 2017. Statistical modeling of insect behavioral response to changes in weather conditions in *Brassica napus* L. *Arthropod. Plant. Interact.* 1:1–9. doi:10.1007/s11829-017-9506-8.
- Chiari, W.C., C.B. Hoffmann-Campo, C.A. Arias, T.S. Lopes, T.C.S.O.A. Toledo, E.D. Chambó, M.C. Ruvolo-Takasusuki, e V.A.A. Toledo. 2013. Floral biology and

- Africanized honeybee behaviour in transgenic (Roundup Ready TM var. BR-245 RR) and conventional (var. BRS-133) soybean (*Glycine max* L. merrill) flowers. In: Herbicides, 277–98. Rijeka, Croatia: InTech. doi:<http://dx.doi.org/10.5772/55847>.
- Chiari, W.C., V.A.A. Toledo, M.C.C. Ruvolo-Takasusuki, V.M. Attencia, F.M. Costa, C.S. Kotaka, E.S. Sakaguti, e H.R. Magalhaes. 2005. Floral biology and behavior of Africanized honeybees *Apis mellifera* in soybean (*Glycine max* L. merrill). Braz. Arch. Biol. Technol. 48: 367–78. doi:dx.doi.org/10.1590/S1516-89132005000300006.
- CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. 2016. Conjuntura mensal - Período: Dezembro 2016. Brasília. http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/17_01_03_11_27_21_canola_-_conjuntura_mensal_-_dezembro_2016.pdf (acessado em 20 jan. 2017).
- Cruz, D.O., e B.M. Freitas. 2013. Diversidade de abelhas visitantes florais e potenciais polinizadores de culturas oleaginosas no nordeste do Brasil. *Ambiência*. 9: 411–18. doi:[10.5777/ambiencia.2013.02.02nt](http://dx.doi.org/10.5777/ambiencia.2013.02.02nt).
- Durán, X.A., R.B. Ulloa, J.A. Carrillo, J.L. Contreras, e M.T. Bastidas. 2010. Evaluation of yield component traits of honeybee pollinated (*Apis mellifera* L.) rapeseed canola (*Brassica napus* L.). *Chil. J. Agric. Res.* 70: 309–14.
- Edwards, J., e K. Hertel. 2011. *Canola Growth & Development*. 1sted. Orange - Austrália: NSW Department of Primary Industries.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. 2006. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2nded. Rio de Janeiro - Brasil: EMBRAPA-SPI.
- Garibaldi, L.A., L.G. Carvalheiro, B.E. Vaissière, Barbara G.H., J. Hipólito, B.M. Freitas, H.T. Ngo, N. Azzu, A. Sáez, J. An, B. Blochtein, D. Buchori, F.J.C. García, F.O. Silva, K. Devkota, M.F. Ribeiro, L. Freitas, M.C. Gaglianone, M. Goss, M. Irshad, A.J.S. Pacheco, L.H.P. Kiill, P. Kwapong, G.N. Parra, C. Pires, V. Pires, R.S. Rawal, A. Rizali, A.M. Saraiva, R. Veldtman, B.F. Viana, S. Witter, H. Zhang. 2016. Mutually beneficial pollinator diversity and crop yield outcomes in small and large farms. *Science*. 351: 388–91. doi:[10.1126/science.aac7287](http://dx.doi.org/10.1126/science.aac7287).
- Giannini, T.C., S. Boff, G.D. Cordeiro, E.A. Cartolano, A.K. Veiga, V.L. Imperatriz-Fonseca, e A.M. Saraiva. 2014. Crop pollinators in Brazil: A review of reported interactions. *Apidologie*. 46: 209–23. doi:[10.1007/s13592-014-0316-z](http://dx.doi.org/10.1007/s13592-014-0316-z).
- Hoyle, M., K. Hayter, e J.E. Gresswell. 2007. Effect of pollinator abundance on self-fertilization and gene flow: application to GM canola. *Ecol. Appl.* 17: 2123–35.
- Jauker, F., B. Bondarenko, H.C. Becker, e I. Steffan-Dewenter. 2012. Pollination efficiency of wild bees and hoverflies provided to oilseed rape. *Agric. Forest Entomol.* 14: 81–87. doi:[10.1111/j.1461-9563.2011.00541.x](http://dx.doi.org/10.1111/j.1461-9563.2011.00541.x).

- Kamel, S. M., H. M. Mahfouz, A. E. H. Blal, M. Said, e M. F. Mahmoud. 2015. Diversity of insect pollinators with reference to their impact on yield production of canola (*Brassica napus* L.) in Ismailia, Egypt. *Pestic. Phytomed.* 30:161–68. doi:10.2298/PIF1503161K.
- Kennedy, C.M., E. Lonsdorf, M.C. Neel, N.M. Williams, T.H. Ricketts, R. Winfree, R. Bommarco, C. Brittain, A.L. Burley, D. Cariveau, L.G. Carvalheiro, N.P. Chacoff, S.A. Cunningham, B.N. Danforth, J. Dudenhoffer, E. Elle, H.R. Gaines, L.A. Garibaldi, C. Gratton, A. Holzschuh, R. Isaacs, S.K. Javorek, S. Jha, A.M. Klein, K. Krewenka, Y. Mandelik, M.M. Mayfield, L. Morandin, L.A. Neame, M. Otieno, M. Park, S.G. Potts, M. Rundlof, A. Saez, I. Steffan-Dewenter, H. Taki, B.F. Viana, C. Westphal, J.K. Wilson, S.S. Greenleaf, C. Kremen. 2013. A global quantitative synthesis of local and landscape effects on wild bee pollinators in agroecosystems. *Ecol. Lett.* 16: 584–99. doi:10.1111/ele.12082.
- Kevan, P.G., e D. Eisikowitch. 1990. The effects of insect pollination on canola (*Brassica napus* L. cv. O.A.C. Triton) seed germination. *Euphytica.* 45: 39–41. doi:10.1007/BF00032148.
- Klein, A.M., B.E. Vaissière, J.H. Cane, I. Steffan-Dewenter, S.A. Cunningham, C. Kremen, e T. Tscharntke. 2007. Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. *Proc. Biol. Sci.* 274: 303–13. doi:10.1098/rspb.2006.3721.
- Lindström, S.A.M., L. Herbertsson, M. Rundlöf, H.G. Smith, e R. Bommarco. 2015. Large-Scale pollination experiment demonstrates the importance of insect pollination in winter oilseed rape. *Oecologia.* 180: 759-769. doi:10.1007/s00442-015-3517-x.
- Moreira, E.F., R.L.S. Santos, U.L. Penna, C. Angel-Coca, F.F. Oliveira, e B.F. Viana. 2016. Are pan traps colors complementary to sample community of potential pollinator insects? *J. Insect Conserv.* 20: 583–596. Doi: 10.1007/s10841-016-9890-x
- Munawar, M.S., S. Raja, M. Siddique, S. Niaz, e M. Amjad. 2009. The pollination by Honeybee (*Apis mellifera* L.) increases yeild of canola (*Brassica napus* L.). *Pak. Entomol.* 31: 103–6.
- OGTR - Office of the Gene Technology Regulator. 2016. The biology of *Brassica napus* L. (Canola) and *Brassica juncea* (L.) Czern. & Coss. (*Indian mustard*). Austrália: Office of the Gene Technology Regulator.
- Robinson, W.S., R. Nowogrodzki, e R.A. Morse. 1989. The value of honey bees as pollnators. *Am. Bee J.* 129: 411–23.
- SAS® University Edition – Statistical Analyses System. SAS Institute Inc. [online] https://www.sas.com/pt_br/software/university-edition.html (acessado em jan. 2017)
- Silva, D.J., e A.C. Queiroz. 2002. Análise de alimentos: métodos químicos e biológicos.

3rded. São Paulo: UFV.

Silveira, F.A., G.A.R. Melo, e E.A.B. Almeida. 2002. Abelhas brasileiras: sistemática e identificação. Belo Horizonte: Fernando A. Silveira.

Tomm, G.O., e P.E.P. Ferreira. 2016. Canola - híbridos convencionais e com resistência a clearfield. Passo Fundo - RS: EMBRAPA.

Tomm, G.O., P.E.P. Ferreira, J.L.P. Aguiar, A.M.G. Castro, S.M.V. Lima, e C Mori. 2009. Panorama atual e indicações para aumento de eficiência da produção de canola no Brasil. Passo Fundo: Embrapa Trigo. https://www.cnpt.embrapa.br/biblio/do/p_do118.pdf (acessado em 21 jan. 2017).

USDA - United States Department of Agriculture. 2016. Production, supply, and distribution (PS&D). <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/app/index.html#/app/compositeViz> (acessado em jan. 2017).

Legenda das figuras

Figura 1 - Uso e ocupação da terra, em um raio de 1.500 m ao redor do cultivo de canola no ano de 2015 (A) e no ano de 2016 (B). Entre Rios do Oeste, PR, Brasil.

Figura 2 - Dados meteorológicos obtidos na estação climatológica da UNIOESTE, município de Entre Rios do Oeste, Paraná, Brasil, no período de maio a outubro dos anos de 2015 e 2016. Temperatura máxima, mínima e média (°C); UR (%) - Umidade Relativa.

Figura 3 - Área experimental do ano de 2015, com os testes de polinização constituídos por áreas livres, gaiolas de polinização com abelhas: *Apis mellifera*, *A. mellifera* mais *Tetragonisca angustula*, *T. angustula* e sem abelhas, distribuídos aleatoriamente nos cinco blocos. Entre Rios do Oeste, Paraná, Brasil.

Tabela 1. Valores médios de rendimento de grãos de canola (Hyola 76) de acordo com os testes de polinização e os anos. Entre Rios do Oeste, Paraná, Brasil

Testes de polinização	Anos		Média geral
	2015	2016	
	Rendimento (kg ha ⁻¹)		
Área Livre	1266,21	2017,96	1642,08
Gaiola: <i>A. mellifera</i>	1026,23	2276,14	1651,18
Gaiola: <i>A. mellifera</i> + <i>T. angustula</i>	970,97	2442,56	1706,76
Gaiola: <i>T. angustula</i>	1036,51	1779,30	1407,90
Gaiola: sem abelhas	576,41	1508,52	1042,46
Média geral	975,27	2004,90	1490,08

Tabela 2. Estimativa da média do número de síliquas por planta (NSP), massa de grãos por síliqua (MGS), germinação (GER), número de grãos por síliqua (NGS), comprimento de síliqua (CS), rendimento (REND), extrato etéreo (EE), proteína bruta (PB) dos grãos de canola (Hyola 76), de acordo com os testes de polinização. Entre Rios do Oeste, Paraná, Brasil

Testes de polinização	NSP (un)	MGS (g)	GER (%)	NGS (un)	CS (cm)	REND (kg ha ⁻¹)	EE (%)	PB (%)
Área Livre	271,05 a	0,06 a	99,37 a	19,50 a	4,50 a	1642,08 a	33,08 a	28,18 a
Gaiola: <i>A. mellifera</i>	246,63 ab	0,04 a	99,57 a	19,32 a	4,70 a	1651,19 a	32,92 a	27,91 a
Gaiola: <i>A. mellifera</i> + <i>T. angustula</i>	229,11 b	0,04 a	98,97 a	19,23 a	4,48 a	1706,76 a	33,73 a	28,30 a
Gaiola: <i>T. angustula</i>	223,31 bc	0,05 a	99,82 a	19,55 a	4,54 a	1407,91 a	32,74 a	28,85 a
Gaiola: sem abelhas	188,98 c	0,03 b	93,90 b	15,75 b	4,17 a	1042,46 a	31,08 a	29,34 a
Desvio padrão estimado	12,91	0,01	0,34	0,74	0,26	546,93	1,84	1,26

Médias estimadas seguidas de letras diferentes na coluna diferem entre si, pelo teste da diferença de *lsmeans* e teste F da análise do tipo III, respectivamente, ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 3. Valores das estatísticas calculadas de Shapiro-Wilk (W) e Kolmogorov-Smirnov (d)

Variáveis	Estatística calculada	
	W	D
Número de síliquas por planta	0,9848 (0,7648)	0,0589 (> 0,1500)
Massa de grãos por síliqua	0,9863 (0,8269)	0,0716 (> 0,1500)
Germinação	0,9546 (0,0530)	0,1129 (0,1094)
Número de grãos por síliqua	0,9880 (0,8909)	0,0963 (> 0,1500)
Comprimento das síliquas	0,9826 (0,6653)	0,0680 (> 0,1500)
Rendimento de grãos	0,9707 (0,2478)	0,0676 (> 0,1500)
Extrato etéreo	0,9896 (0,9362)	0,0645 (> 0,1500)
Proteína bruta	0,9784 (0,4856)	0,0713 (> 0,1500)

(1) Os valores entre parênteses representam o *P*- valor das variáveis.

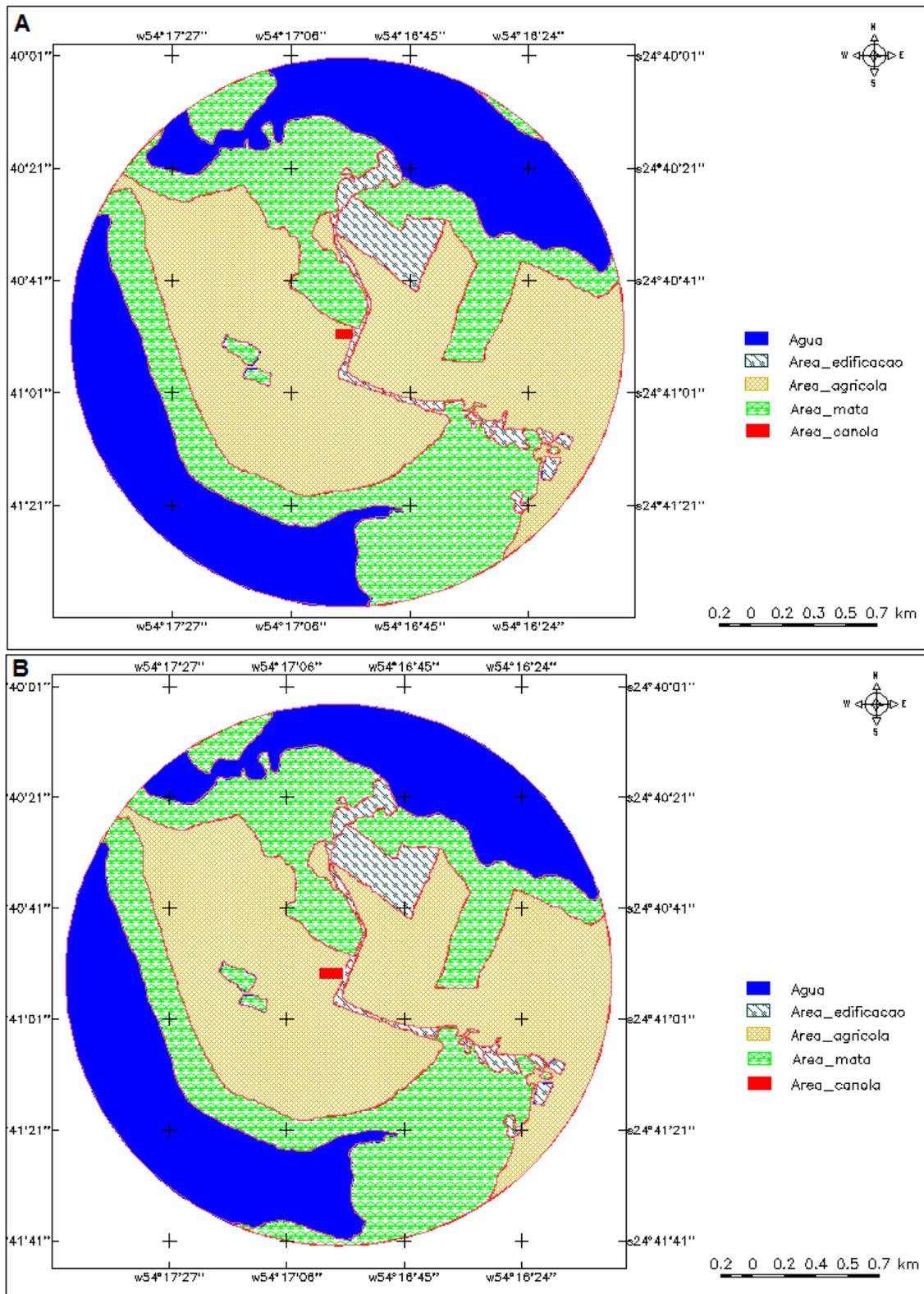


Figura 1 - Uso e ocupação da terra, em um raio de 1.500 m ao redor do cultivo de canola no ano de 2015 (A) e no ano de 2016 (B). Entre Rios do Oeste, PR, Brasil.

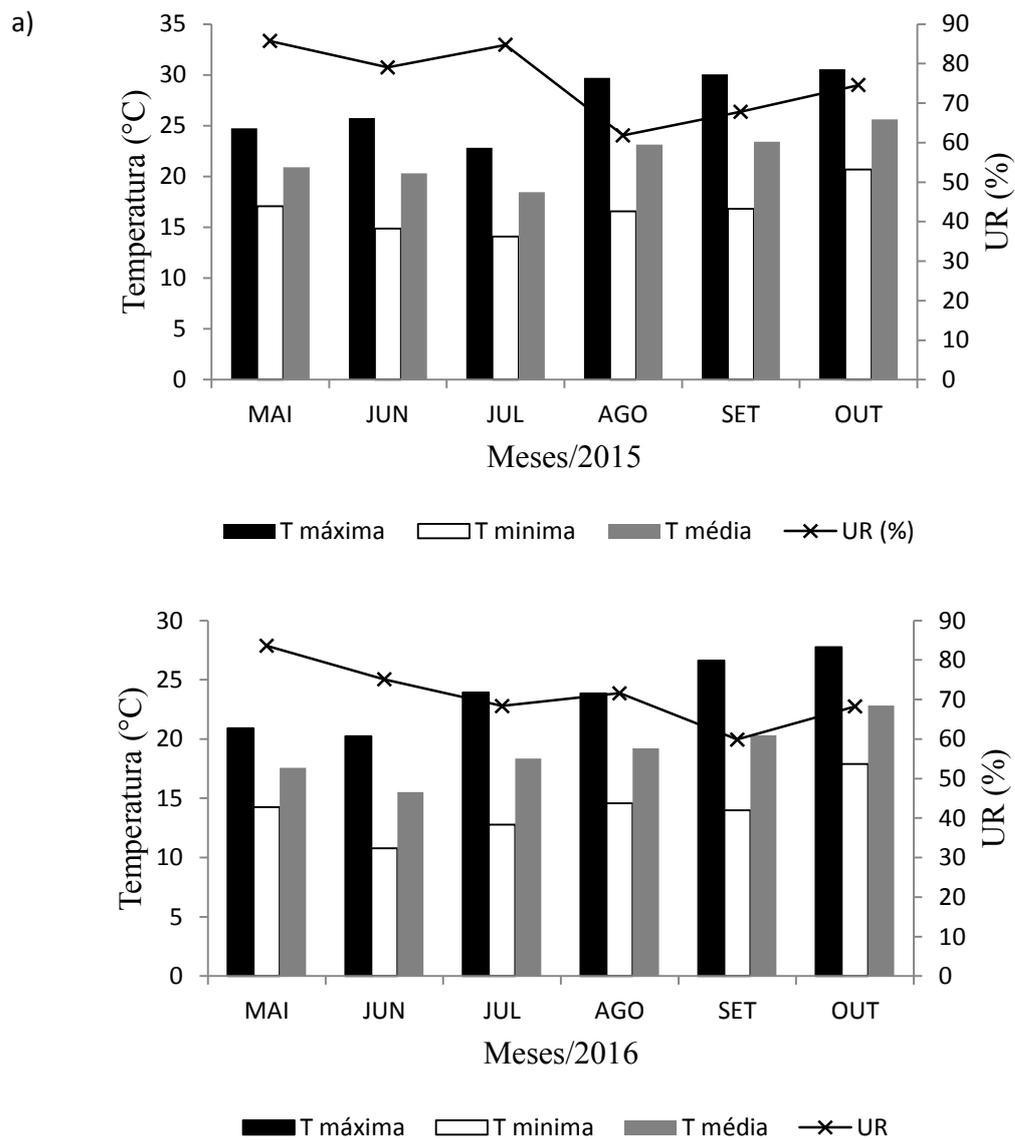


Figura 2 - Dados meteorológicos obtidos na estação climatológica da UNIOESTE, município de Entre Rios do Oeste, Paraná, Brasil, no período de maio a outubro dos anos de 2015 e 2016. Temperatura máxima, mínima e média (°C); UR (%) - Umidade Relativa.



Figura 3 - Área experimental do ano de 2015, com os testes de polinização constituídos por áreas livres, gaiolas de polinização com abelhas: *Apis mellifera*, *A. mellifera* mais *Tetragonisca angustula*, *T. angustula* e sem abelhas, distribuídos aleatoriamente nos cinco blocos. Entre Rios do Oeste, Paraná, Brasil.

IV Efeitos dos horários do dia e covariáveis ambientais sobre o comportamento de abelhas *Apis mellifera* e *Tetragonisca angustula*, na cultura da canola (*Brassica napus* L.)

Resumo

Objetivou-se avaliar os efeitos de teste de polinização, em diferentes horas do dia, temperatura e umidade relativa sobre o comportamento das abelhas *Apis mellifera* e *Tetragonisca angustula*, em *Brassica napus*. Utilizou-se um delineamento experimental de blocos ao acaso completos com oito tratamentos. Os tratamentos foram compostos pela combinação de quatro horários (9h, 11h30, 13h30 e 15h30 horas) e dois testes de polinização: gaiola de polinização com uma colônia de *A. mellifera* e gaiola de polinização com uma colônia de *T. angustula*. Durante as visitas foram registrados: tempo de permanência na flor; número de flores visitadas em um minuto; recurso floral coletado; local de coleta de néctar; presença de pólen na corbícula e contato com as anteras e estigma. O néctar foi o recurso mais procurado pelas duas espécies de abelhas. As *A. mellifera* visitaram principalmente os nectários medianos e laterais (84,14%) e as *T. angustula* os medianos (46,02%). Todas as forrageiras de *A. mellifera* e 31,89% das *T. angustula* entraram em contato com as anteras e o estigma. As abelhas africanizadas visitaram em média 13,20 flores em um minuto e permaneceram 4,10 segundos. As abelhas *T. angustula* visitaram 4,30 flores em um minuto, permanecendo 12,10 segundos. Tanto em *A. mellifera* quanto em *T. angustula*, a coleta de pólen foi maior no período da manhã e em temperatura mais elevada. As influências da hora do dia, temperatura e umidade relativa, sobre o comportamento de forrageamento das abelhas, podem favorecer a polinização da cultura de *B. napus*.

Palavras-Chave: abelha nativa, comportamento de coleta, Hyola 76, modelos lineares generalizados, polinização

Effects of time of day and environmental covariates on the behavior of bees *Apis mellifera* and *Tetragonisca angustula* on canola (*Brassica napus* L.)

ABSTRACT The objective of this research was to evaluate the effects of pollination test, in different hours of the day, temperature and relative humidity on the behavior of

the bees *Apis mellifera* and *Tetragonisca angustula* in *Brassica napus*. The experimental design used was a randomized complete block with eight treatments. The treatments consisted of the combination of four times (9:00 AM, 11:30 AM 13:30 PM and 15:30 PM hours) and two pollination tests: pollination cage with a colony of *A. mellifera* and pollination cage with a colony of *T. angustula*. During the visits were recorded: residence time in flower; number of flowers visited in one minute; collected floral resource; local nectar collection; presence of pollen in the pollen basket and contact with anthers and stigma. Nectar was the most sought after resource for both species of bees. The *A. mellifera* visited mainly the median and lateral nectars (84.14%) and *T. angustula* the medians (46.02%). All forages of *A. mellifera* and 31.89% of *T. angustula* contacted the anthers and stigma. Africanized bees averaged 13.20 flowers in one minute and remained 4.10 seconds. *T. angustula* bees averaged 4.30 flowers in one minute, remaining 12.10 seconds. In both *A. mellifera* and *T. angustula*, pollen collection was higher in the morning and at higher temperature. The influences of time of day, temperature and relative humidity, on the behavior of bees foraging, may favor the pollination of the crop of *B. napus*.

KEY WORDS: collection behavior, generalized linear models, Hyola 76, pollination, stingless bee

Introdução

A polinização é considerada um serviço ecossistêmico, que proporciona benefícios para as plantas e para os polinizadores, aumentando o valor adaptativo (*fitness*) de ambos (Rech et al., 2014). A polinização é importante para a conservação da biodiversidade e produção de alimentos.

Estimativas realizadas por Ollerton et al. (2011) indicam que 87,5% das angiospermas são polinizadas por animais e, em média, 33% das principais culturas agrícolas dependem em algum grau da polinização por insetos. Dentre elas, encontra-se a canola (*Brassica napus* L. var. oleifera), que é a terceira oleaginosa mais produzida no mundo (USDA, 2016). Essa cultura apresenta flores hermafroditas e autocompatíveis, podendo gerar frutos e sementes tanto pela autopolinização quanto pela polinização cruzada (Bommarco et al., 2012). Estudos evidenciam que a polinização cruzada pode aumentar a produção (Chambó et al., 2014) e o valor econômico dos grãos de canola (Bommarco et al., 2012).

A dispersão dos grãos de pólen de canola é mediada por uma variedade de insetos polinizadores, que são atraídos pelo aroma e cor de suas flores, bem como pelo seus recursos nutritivos (Ali et al., 2011). As flores de *B. napus* têm produção média de néctar de 2,33 μL por flor e produzem em média, 9 kg ha^{-1} de pólen por dia (Pierre et al., 1999; Westcott e Nelson, 2001).

Para que o processo de polinização seja eficiente, é necessário que o visitante floral apresente características morfológicas e comportamentais específicas para cada tipo de flor (Rech et al. 2014). Este é o caso das abelhas *Apis mellifera* que foram identificadas como sendo polinizadoras efetivas da cultura de canola, em diferentes partes do mundo (Durán et al., 2010; Chambó et al., 2014; Kamel et al., 2015; Lindström et al., 2015).

Apesar da reconhecida eficiência da *A. mellifera* como polinizadora, a identificação de polinizadores alternativos é importante pois, além de incentivar a conservação dos mesmos, assegura a continuidade dos serviços de polinização, caso ocorra diminuição ou desaparecimento do principal polinizador (Imperatriz-Fonseca et al., 2012). No cultivo de canola, as espécies de abelhas *Halictus* sp. (Ali et al., 2011), *Bombus lapidarius* (Stanley et al., 2013) e *Colletes lacunatus* (Kamel et al., 2015) foram apontadas como polinizadores alternativos. No Brasil, a espécie de abelha sem

ferrão *Trigona spinipes* foi identificada com potencial polinizador para a cultura de canola (Chambó et al., 2017).

Considerando a importância das abelhas nativas na polinização de culturas agrícolas (Garibaldi et al., 2016), em especial da *Tetragonisca angustula*, para a região oeste do Paraná, bem como, a variação existente no comportamento de forrageamento das abelhas (Chambó et al., 2017), objetivou-se avaliar os efeitos de tempo, em diferentes horas do dia, de testes de polinização e de covariáveis ambientais (umidade relativa do ar e temperatura) sobre o comportamento das abelhas *A. mellifera* e *T. angustula*, durante o forrageamento em flores de canola (*B. napus*).

Material e Métodos

O experimento foi desenvolvido na Estação Experimental Professor Alcibiades Luiz Orlando, da Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE, no município de Entre Rios do Oeste, PR, Brasil (Latitude 24°40'51''S e Longitude 54°16'56''GR), localizado no fuso 21, que apresenta altitude de 400 m. As coordenadas são referentes ao Datum SIRGAS 2000.

O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho Eutoférrico (EMBRAPA, 2006). O clima da região é subtropical, com um verão quente úmido, isto é, tipo Cfa de acordo com a classificação de Köppen.

O cultivar avaliado foi Hyola 76 de ciclo longo, que dura de 120 a 164 dias, desde a emergência da plântula até a maturação (Tomm e Ferreira, 2016). As sementes foram semeadas em 31/05/2015 e em 05/05/2016, em sistema de plantio direto, tendo como cultura antecessora a soja.

No primeiro ano, o florescimento ocorreu em 05/08/2015, estendendo-se até 12/09/2015, no segundo ano, o início de florescimento foi 12/07/2016 permanecendo até 27/08/2016. Nos dois anos, os dados meteorológicos (temperatura e umidade relativa) foram coletados dentro das gaiolas de polinização, em cada horário de observação, utilizando um termo-higrômetro.

O experimento foi instalado em delineamento experimental de blocos ao acaso completos, com oito tratamentos repetidos 14 vezes em cada bloco, totalizando 560 registros. Os blocos foram constituídos de cinco conjuntos contendo duas gaiolas de polinização cada. Os tratamentos foram compostos pela combinação de quatro horários

do dia (9h00, 11h30, 13h30 e 15h30 horas) e dois testes de polinização: área coberta com gaiola de polinização com uma colônia de *A. mellifera* e área coberta com gaiola de polinização com uma colônia de *T. angustula*.

O comportamento das operárias foi analisado por meio de observações diretas de seis abelhas em cada horário, durante suas visitas às flores. Para cada visita, foram registradas as variáveis: tempo de permanência das abelhas na flor; número de flores visitadas em um minuto; tipo de recurso floral coletado (néctar ou pólen); local específico de coleta de néctar (nectários laterais ou medianos); presença de pólen na corbícula e se houve contato com as anteras e estigma.

A colmeia utilizada para *A. mellifera* foi núcleo, com cinco quadros, sendo três com crias e dois com alimentos, e para *T. angustula*, colmeias padrão com ninho e duas melgueiras, com medidas internas de 20 cm x 20 cm x 8 cm. As colônias foram inseridas na cultura com 10% de floração nas datas 09/08/2015 e 18/07/2016 e, durante toda a floração, receberam individualmente, água potável e xarope de açúcar, na concentração de 25 mol L⁻¹, como complemento alimentar.

As gaiolas de polinização foram confeccionadas seguindo o modelo proposto por Chiari et al. (2005), com tela de nylon de malha 2x2 mm, apoiadas por tubos de ¾ de polegada em PVC, apresentando 4 m de largura, 6 m de comprimento e 2 m de altura na parte mais alta, totalizando uma área de 24 m² (Figura 1). As mesmas foram montadas cinco dias antes da floração, permanecendo na cultura até o término do período de florescimento.

Procedimentos Estatísticos

Modelos lineares generalizados (GLM), com estrutura de erro binomial e função de ligação logit, expressa por $g(\mu) = \ln(\mu/1-\mu)$, foram usados para verificação dos efeitos de tempo (horas) e teste de polinização, sobre as seguintes variáveis: número de abelhas coletando néctar, número de abelhas coletando pólen; número de abelhas coletando néctar e pólen; número de abelhas coletando nos nectários medianos; número de abelhas coletando nos nectários laterais; número de abelhas coletando nos nectários medianos e laterais; número de abelhas com pólen na corbícula e número de abelhas que entraram em contato com as anteras e estigma. O número de abelhas que entraram em contato somente com as anteras foi considerado como erro, com distribuição normal

$g(\mu) = \mu$. O tempo médio de permanência das abelhas na flor e o número médio de flores visitadas por cada abelha em um minuto foram ajustados à distribuição de Poisson, com função logarítmica $g(\mu) = \ln(\mu)$. Em todas as variáveis utilizou-se o total de seis abelhas por mensuração.

Os parâmetros do modelo foram estimados usando o método de máxima verossimilhança por maximização da função log-verossimilhança, por meio de equações de estimação generalizadas (GEE). No ajuste das GEE, foi considerada a dependência entre as observações medidas dentro de tempo (horas), que caracterizaram medidas repetidas nas unidades experimentais (gaiolas de polinização). As respostas obtidas entre as unidades experimentais de diferentes blocos foram consideradas independentes.

A análise de *deviance* foi utilizada para o ajuste do GLM, a partir de um modelo representado por porção sistemática:

$$\eta = g(\mu) = \mu + B_k + TP_i + T_j + \beta_1(X_{ijk} - \bar{X}) + \beta_2(W_{ijk} - \bar{W}) + \epsilon_{ijk}$$

em que:

μ é o efeito da média geral;

B_k é o efeito blocos ($k = 1, 2, 3, 4$ e 5);

TP_i é o efeito do teste de polinização ($i = 1$ e 2);

T_j é o efeito do tempo ($j=1, 2, 3$ e 4);

β_1 é o coeficiente de regressão de $g(\mu)$ sobre X ;

X_{ijk} é a observação da covariável “temperatura” em cada parcela;

\bar{X} é a média geral de temperatura;

β_2 é o coeficiente de regressão de $g(\mu)$ sobre W ;

W_{ijk} é a observação da covariável “umidade relativa” em cada parcela;

\bar{W} é a média geral de umidade relativa;

ϵ_{ijk} é o erro aleatório das parcelas.

Na ocorrência de maior valor de probabilidade de significância para um determinado fator, este foi retirado do modelo estatístico e a análise foi reprocessada. A qualidade de ajuste dos modelos aos dados observados foi baseada no valor do logaritmo da função de máxima verossimilhança (*LogLik*). Os parâmetros de dispersão foram ajustados para a superdispersão, corrigindo os erros padrão usando modelo *quasibinomial*, *quasipoisson* e normal para as respectivas variáveis mencionadas anteriormente.

Os efeitos de bloco, teste de polinização, tempo, temperatura e umidade relativa sobre as variáveis foram verificadas na análise GEE do tipo 3. Quando ocorreu significância ($p \leq 0,05$), os efeitos de teste de polinização, tempo, temperatura e umidade relativa sobre as variáveis foram avaliados por meio de modelos de regressão logística. A identidade dos interceptos entre os modelos preditivos das variáveis foi realizada utilizando o fator “teste de polinização”, como classificatório nos modelos.

O nível de significância de 0,05 foi adotado em todos os testes de hipóteses. As análises estatísticas foram realizadas utilizando os softwares SAS[®] University Edition e R v.3.1.1 (R Core Team, 2014).

Resultados

As abelhas *A. mellifera* coletoras de néctar foram mais frequentes (67,68%) em relação as que coletaram somente pólen (11,75%) ou ambos os recursos (20,57%). A maior frequência de coletoras de néctar também foi observada nas abelhas *T. angustula* (74,31%), quando comparada a de coletoras de pólen e a de ambos os recursos (24,81 e 0,88%, respectivamente). A porcentagem de abelhas com presença de pólen na corbícula foi de 35,53% nas *A. mellifera* e de 23,93% nas *T. angustula*.

A coleta de néctar pelas abelhas *A. mellifera* foi realizada principalmente nos nectários medianos e laterais em uma mesma visita (84,14%), seguida dos nectários laterais (14,60%) e dos nectários medianos (1,26%). As abelhas africanizadas pousavam sobre a corola e, com a probóscide estendida entre as aberturas das pétalas sugavam o néctar presente nos nectários laterais. Depois caminhavam sobre a flor para coleta nos nectários medianos, tocando dessa maneira os órgãos reprodutivos (anteras e estigma) das flores de *B. napus*.

As *T. angustula* coletaram néctar principalmente nos nectários medianos (46,02%), seguida dos medianos e laterais (45,52%) e em menor proporção nos laterais (8,46%). Para acessar os nectários medianos, as abelhas *T. angustula* pousavam na lateral da flor, entre as sépalas e, aproximando-se da base dos estames curtos pela lateral, com a probóscide estendida conseguiam alcançar o néctar presente nos nectários laterais, sem entrarem em contato com os órgãos reprodutivos das flores.

Durante as visitas, 100% das forrageiras de *A. mellifera* entraram em contato com as anteras e o estigma, enquanto 68,11% das *T. angustula*, entraram em contato somente com as anteras e 31,89% tiveram contato com as anteras e o estigma. As abelhas africanizadas visitaram em média 13,20 (1,74) flores em 1 minuto, e permaneceram em média 4,10 (0,67) segundos na flor. As abelhas *T. angustula* visitaram em média 4,30 (1,59) flores em 1 minuto e o tempo médio de permanência nas flores de *B. napus* foi de 12,10 (3,94) segundos.

A qualidade do ajuste dos modelos lineares generalizados (GLM) aos dados de comportamento, durante o forrageamento das abelhas *A. mellifera* e *T. angustula* na cultura de *B. napus*, foi avaliada pela estatística “scaled deviance” (Tabela 1). A partir do resumo da análise estatística do tipo 3, analisando os valores de probabilidade (P) relacionados às fontes de variação incluídas no modelo estatístico para a proporção de abelhas *A. mellifera* e *T. angustula* coletando néctar, verificou-se efeito de horário ($P = 0,0010$) e umidade relativa ($P < 0,0001$). Houve efeito de temperatura ($P = 0,0006$ e $P < 0,0001$) e umidade relativa ($P = 0,0032$ e $P < 0,0001$) para a proporção de abelhas *A. mellifera* e *T. angustula* que coletavam néctar nos nectários medianos e nos laterais, respectivamente. Para as duas espécies de abelhas que coletavam nos nectários medianos e laterais em uma mesma visita, verificou-se efeito de horário ($P = 0,0010$) e umidade relativa ($P < 0,0001$).

Observou-se efeito de horário ($P < 0,0001$), temperatura ($P = 0,0006$) e umidade relativa ($P < 0,0001$) para a proporção de abelhas africanizadas e *T. angustula* coletando pólen. Houve efeito de umidade relativa ($P < 0,0001$) na proporção de *A. mellifera* e *T. angustula* coletando néctar e pólen. Verificou-se efeito de horário ($P = 0,0001$ e $P = 0,0161$), temperatura ($P < 0,0001$ e $P < 0,0001$) e umidade relativa ($P < 0,0001$ e $P = 0,0004$), para a proporção de abelhas *A. mellifera* e *T. angustula* com pólen na corbícula e para o tempo de permanência dessas abelhas na flor, respectivamente. O número de flores visitadas em um minuto pelas operárias *A. mellifera* e *T. angustula* foi afetado pelo horário e umidade relativa ($P = 0,0130$ e $P < 0,0001$, respectivamente). As proporções de forrageiras de *A. mellifera* e *T. angustula* que entraram em contato com as anteras e estigma ou somente com as anteras foram influenciadas pela umidade relativa ($P < 0,0001$ e $P = 0,0002$, respectivamente).

Observou-se estimativas significativas para os parâmetros dos modelos ($P < 0,05$), com exceção dos interceptos nos modelos ajustados para as variáveis: proporção

de abelhas *A. mellifera* e *T. angustula* coletoras nos nectários medianos e laterais e proporção de abelhas que entraram em contato somente com as anteras (Tabela 2). O número estimado de abelhas africanizadas e *T. angustula* coletando néctar sofreu influência positiva do horário do dia, enquanto a umidade relativa influenciou negativamente (Figura 2).

As operárias das duas espécies de abelhas que coletavam néctar somente nos nectários medianos tiveram interferência positiva da temperatura e umidade relativa, o inverso foi observado na proporção de abelhas *A. mellifera* e *T. angustula* que coletavam néctar somente nos nectários laterais, em que a temperatura e a umidade relativa influenciaram negativamente (Figuras 3 e 4, respectivamente). O horário do dia influenciou positivamente o número de abelhas coletando néctar nos dois nectários medianos e laterais, enquanto a umidade relativa apresentou efeito negativo para ambas as espécies (Figura 5).

A coleta de pólen sofreu influência negativa do horário do dia e positivo da temperatura e da umidade relativa nas duas espécies (Figura 6). A umidade relativa influenciou positivamente a visitação de abelhas com comportamento para coleta de néctar e pólen (Figura 7). O horário do dia influenciou negativamente e a temperatura e a umidade relativa positivamente o número de abelhas com pólen na corbícula, bem como o tempo de permanência nas flores das abelhas *A. mellifera* e *T. angustula* (Figuras 8 e 9). O número de flores visitadas em um minuto pelas duas espécies de abelhas teve influência negativa do horário do dia e da umidade relativa (Figura 10). A umidade relativa influenciou positivamente o comportamento das abelhas africanizadas e das *T. angustula* que entraram em contato com as anteras e estigma e as que tiveram contato somente com as anteras (Figuras 11 e 12).

A partir das equações de regressão estimadas para cada espécie de abelha, observou-se que o comportamento exclusivo para coleta de néctar ou pólen foi mais frequente nas *T. angustula*. Essas abelhas também realizaram mais coleta de néctar nos nectários medianos. O tempo de permanência dessas operárias na flor foi maior que o da *A. mellifera*. O comportamento de coleta de néctar e pólen, de coleta no nectário lateral e em ambos os nectários (medianos e laterais), bem como a presença de pólen na corbícula, foram mais frequentes nas forrageiras *A. mellifera*. Durante as suas visitas às flores, essas forrageiras entraram em contato com as anteras e estigma, visitando o maior número de flores comparado a *T. angustula*.

As equações de regressão estimadas para as duas espécies de abelhas evidenciaram que a estimativa média do número de abelhas coletando néctar foi maior quando a umidade relativa foi menor para as abelhas *A. mellifera* e *T. angustula* (Figura 2). A estimativa do número de abelhas coletando néctar nos nectários medianos foi maior quando aumentou a umidade relativa e a temperatura, tanto para *A. mellifera* quanto para *T. angustula* (Figura 3). Observou-se o inverso na estimativa do número de abelhas coletando néctar nos nectários laterais, à medida que diminuiu a umidade relativa e a temperatura, maior foi a proporção de abelhas coletando néctar nos nectários laterais (Figura 4).

Verificou-se que a proporção estimada de abelhas coletando néctar nos nectários medianos e laterais, foi maior quando a umidade relativa foi menor, nos horários vespertinos (Figura 5). Para proporção de abelhas coletando pólen ficou evidenciado que a estimativa foi maior nos horários matutinos associado com o aumento da temperatura, para as duas espécies de abelhas (Figura 6). Observou-se que a estimativa de abelhas coletando néctar e pólen aumentou com o aumento da umidade relativa, especialmente acima de 65% tanto para *A. mellifera* quanto para *T. angustula* (Figura 7). A estimativa da proporção média de abelhas com pólen na corbícula é maior nos horários matutinos e em temperaturas mais elevadas, para ambas às espécies de abelhas (Figura 8). Para o tempo de permanência das abelhas nas flores, a estimativa foi maior quando ocorreram temperaturas mais elevadas, principalmente acima de 32° C, em conjunto com o período matutino (até 10h30) para as abelhas africanizadas e *T. angustula* (Figura 9). Para as duas espécies de abelhas a estimativa de número de flores visitadas em um minuto, foi maior quando a umidade relativa foi menor e no período matutino (Figura 10). As estimativas do número de abelhas que entraram em contato com as anteras e estigma e contato somente com as anteras, evidenciaram que à medida que a umidade relativa aumenta, mais as abelhas *A. mellifera* e *T. angustula* entram em contato com as anteras e estigmas e com as anteras.

O pico médio estimado de abelhas africanizadas que entraram em contato com as anteras e estigma ocorreu quando a umidade relativa ficou aproximadamente 76% (Figura 11). As maiores estimativas de abelhas que entraram em contato somente com as anteras ocorreram quando a umidade relativa esteve 78% aproximadamente (Figura 12).

Discussão

Durante o forrageamento nas flores de canola, o recurso floral mais procurado foi o néctar tanto pelas abelhas *A. mellifera* (67,68%), quanto pelas *T. angustula* (74,31%), sendo menos frequente a coleta exclusiva de pólen (11,75% e 24,81%, respectivamente) ou de ambos os recursos (20,57% e 0,37%, respectivamente). Resultados semelhantes ao comportamento da *A. mellifera* foram verificados por Chambó et al. (2014) na cultura de *B. napus*, e em outras oleaginosas como *Glycine max* (Chiari et al., 2013) e *Helianthus annuus* (Chambó et al., 2011). O comportamento das abelhas *T. angustula* está de acordo com os observados por Souza e Malerbo-Souza (2005) em *Citrullus lanatus* Thunb.

O maior número de abelhas coletando néctar está associado à necessidade energética da colônia, uma vez que é a partir do processo de metabolização dos açúcares presentes no néctar que as abelhas obtêm toda a energia necessária para suas atividades vitais. As colônias passam por grandes variações de oferta de néctar e condições meteorológicas durante o ano e dessa maneira, as abelhas coletam o máximo de néctar possível quando sua oferta aumenta, armazenando-o nos favos em forma de mel (Seeley, 1995).

Em contraste, a oferta de pólen pode variar drasticamente de um dia para o outro, dependendo das condições meteorológicas e quantidades de flores. Contudo, a demanda de pólen pela colônia muda de forma gradual, conforme o aumento ou diminuição do número de crias (Seeley, 1995). Dessa maneira, as abelhas armazenam o necessário para a manutenção das crias e, conforme a necessidade da colônia, as operárias mudam seus comportamentos para coleta de pólen, diminuindo ou aumentando o número de forrageiras, o tamanho da carga de pólen e conseqüentemente a área de armazenamento de pólen (Lima et al., 2016).

A forma com as *T. angustula* coletam o néctar é considerada como “roubo de néctar”, uma vez que essas operárias não polinizam a cultura, porém as abelhas *T. angustula* foram observadas coletando pólen. O comportamento de “roubo de néctar” também foi observado em abelhas da espécie *Apis florea* na cultura de *B. napus* por Ali et al. (2011).

O número de flores visitadas pelas abelhas *A. mellifera* e o tempo gasto assemelham-se aos observados por Chambó et al. (2017) em *B. napus*, cultivares Hyola

61 e 433. Ivey et al. (2003) concluíram que as espécies mais eficientes na transferência de grãos de pólen são as que permanecem mais tempo forrageando na flor. Dessa maneira, pode-se sugerir que as duas espécies podem aumentar a eficiência da polinização em canola, pois enquanto a *A. mellifera* é mais rápida e realiza mais visitas, além de possuírem mais indivíduos por colônia, as *T. angustula* permanecem por mais tempo na flor durante o seu forrageamento. As abelhas africanizadas possuem estratégias de recrutamento em massa, e resulta em grande número de flores sendo forrageadas em várias visitas (Seeley, 1995), e por causa do tamanho do seu corpo e à presença dos pelos ramificados, durante o forrageamento nas flores de canola, seja ele para coleta de pólen ou néctar, ocorre o contato com as anteras e estigmas e, conseqüentemente, a polinização cruzada.

Observou-se que as duas espécies de abelhas preferiram coletar néctar mais concentrado. O néctar apresenta maior concentração de açúcar à medida que a umidade relativa do ar diminui (Corbet, 2003), ou seja, a baixa umidade relativa proporciona maior evaporação de água do néctar. Possivelmente, as abelhas preferem néctar mais concentrado, pois para transformá-lo em mel gastam menos tempo e tem menos trabalho para desidratá-lo.

A posição dos nectários e a exposição ao ambiente podem resultar em variação na secreção e concentração de açúcares (Westcott e Nelson, 2001). Os nectários medianos ficam mais expostos, produzem menos néctar e estão localizados na base dos estames longos, enquanto os nectários laterais se localizam na base dos estames curtos, na parte interna e secretam quase todo o néctar produzido pela flor de canola (Nedić et al., 2013; Bertazzini e Forlani, 2016).

O néctar produzido principalmente pelos nectários que ficam mais expostos, tende a alcançar uma concentração em equilíbrio com a umidade relativa do ar, ou seja, a alta umidade relativa dilui mais o néctar, conseqüentemente há aumento de seu volume (Corbet, 2003). Pode-se deduzir que, à medida que os nectários medianos aumentam a quantidade de néctar, as abelhas tendem a procurá-los com frequência maior. Davis et al. (1996) relataram que o néctar dos nectários laterais possui proporções mais elevadas de glicose e frutose, comparado ao produzido nos nectários medianos e, à medida que a umidade relativa diminui, esse néctar se torna mais concentrado, ficando mais atraente para as abelhas.

Com o aumento da temperatura, o número de forrageiras de néctar tende a aumentar, tanto para *A. mellifera* (Chambó et al., 2017), quanto *T. angustula* (Iwama, 1977). Quanto maior for o número de forrageiras no campo, maior será a competição e extração de néctar dos nectários. Dessa maneira, quando a temperatura é menor, o número de abelhas forrageando néctar também é menor, logo, há sobra de néctar e pólen, aumentando a coleta nos nectários laterais, em que os níveis de glicose e frutose são superiores (Davis et al., 1996). Porém, à medida que aumenta a temperatura, eleva também a competição de abelhas forrageando, diminuindo a disponibilidade do recurso, aumentando assim a coleta nos nectários medianos.

As flores de *B. napus*, apresentam uma taxa de secreção de néctar mais alta no início da manhã (Nedić et al., 2013). Os parâmetros ambientais também são responsáveis pela quantidade de néctar encontrado durante o dia. Esses fatores podem ter contribuído no aumento da coleta de néctar nos nectários medianos e laterais, em uma mesma visita no período da tarde, pois a quantidade do recurso pode ter diminuído, tanto pela diminuição de secreção pela planta quanto pela diminuição da umidade relativa, forçando as abelhas a explorarem mais a flor. A disponibilidade do néctar na flor pode apresentar um padrão espacial, influenciando o movimento de forrageamento dos polinizadores nas flores (Rech et al., 2014).

Westcott e Nelson (2001) observaram que a produção máxima de pólen ocorre no meio da manhã e início da tarde, havendo maior liberação de grãos de pólen pelas anteras em temperaturas mais altas, coincidindo com o comportamento das abelhas africanizadas e *T. angustula* para coleta e transporte de pólen observado neste trabalho.

O tempo de permanência das abelhas nas flores dependerá da quantidade de recursos florais oferecidos aos polinizadores, que por sua vez são afetados por parâmetros ambientais (Corbet, 2003). Observou-se que as abelhas *A. mellifera* demoram mais tempo coletando néctar e pólen do que quando coletam somente néctar. Possivelmente, o maior tempo de permanência das abelhas nas flores, durante o período matutino, pode ter ocorrido por haver maior recurso floral disponível e pelo comportamento de coleta de pólen, que foi mais frequente neste período.

Para que a presença das abelhas na cultura garanta uma polinização adequada, aumentando significativamente os índices de produtividade da canola, é necessário que ocorram consecutivas visitas nas flores (Garratt et al., 2014). De maneira geral, as plantas podem ajustar seus recursos para assegurar que os polinizadores se locomovam

entre o máximo de flores possível (Rech et al., 2014). Considerando que o maior número de abelhas coletando pólen foi no período matutino e que nesse período houve maior número de flores sendo visitadas pelas duas espécies de abelhas estudadas, essas características evidenciam o potencial polinizador da *A. mellifera* e da *T. angustula* na cultura de canola.

Com o aumento da umidade relativa, observou-se aumento no número de abelhas *A. mellifera* e *T. angustula* que entraram em contato com as anteras e estigma, e em contato com as anteras. Malerbo-Souza e Silva (2011) verificaram que as abelhas *A. mellifera* realizam ativamente a coleta de pólen quando a umidade relativa se encontrava entre 45,00% e 89,50%. Para as *T. angustula*, a umidade relativa ótima para o trabalho externo é entre 30 e 70% (Iwama, 1977).

As abelhas africanizadas *A. mellifera* tocaram as anteras e o estigma durante a coleta de néctar e pólen, enquanto as *T. angustula* só tiveram contato com as anteras e estigma durante a coleta de pólen. Durante o forrageamento há dois tipos de coleta de pólen: a passiva, quando os grãos de pólen se aderem à superfície do corpo do visitante floral, e a ativa, quando os polinizadores coletam pólen diretamente das anteras. Nesse caso, os grãos de pólen utilizados no processo de polinização não são os armazenados na corbícula e sim os que ficam no corpo do inseto (Willmer, 2011). Durante as visitas nas flores, os grãos de pólen desprendem-se e caem sobre o estigma, favorecendo a polinização cruzada, ou seja, as abelhas *T. angustula* participam da polinização na coleta ativa de pólen.

Tanto em *A. mellifera* quanto em *T. angustula*, a coleta de pólen foi maior no período da manhã, e em temperatura mais elevada, coincidindo com a produção máxima de pólen da planta. As influências da hora do dia, temperatura e umidade relativa, sobre o comportamento de forrageamento das abelhas, podem favorecer a polinização da cultura de *B. napus*. Esta constatação é um indicativo de que ambas as espécies de abelhas sejam polinizadores potenciais para a cultura de *B. napus*.

Referências

- Ali, M., S. Saeed, A. Sajjad, e A. Whittington. 2011. In search of the best pollinators for canola (*Brassica napus* L.) Production in Pakistan. Appl. Entomol. Zool. 46:353–61. doi:10.1007/s13355-011-0051-0.
- Bertazzini, M., e G. Forlani. 2016. Intraspecific variability of floral nectar volume and

- composition in rapeseed (*Brassica napus* L. var. *oleifera*). *Front. Plant Sci.* 7 online. doi:10.3389/fpls.2016.00288.
- Bommarco, R., L. Marini, e B.E. Vaissière. 2012. Insect pollination enhances seed yield, quality, and market value in oilseed rape. *Oecologia* 169:1025–32. doi:10.1007/s00442-012-2271-6.
- Chambó, E.D., R.C. Garcia, N.T.E. Oliveira, e J.B. Duarte-Júnior. 2011. Honey bee visitation to sunflower: effects on pollination and plant genotype. *Sci. Agric.* 68:647–51. doi:10.1590/S0103-90162011000600007.
- Chambó, E.D., N.T.E. De Oliveira, R.C. Garcia, J.B. Duarte-Júnior, M.C.C. Ruvolo-Takasusuki, e V.A.A. Toledo. 2014. Pollination of rapeseed (*Brassica napus*) by Africanized honeybees (Hymenoptera:Apidae) on two sowing dates. *An. Acad. Bras. Cienc.* 86:2087–2100. doi:10.1590/0001-3765201420140134.
- Chambó, E.D., N.T.E. Oliveira, R.C. Garcia, M.C.C. Ruvolo-Takasusuki, e V.A.A. Toledo. 2017. Statistical modeling of insect behavioral response to changes in weather conditions in *Brassica napus* L. *Arthropod. Plant. Interact.* 1:1–9. doi:10.1007/s11829-017-9506-8.
- Chiari, W.C., C.B. Hoffmann-Campo, C.A. Arias, T.S. Lopes, T.C.S.O.A. Toledo, E.D. Chambó, M.C. Ruvolo-Takasusuki, e V.A.A. Toledo. 2013. Floral biology and Africanized honeybee behaviour in transgenic (Roundup Ready TM var. BR-245 RR) and conventional (var. BRS-133) soybean (*Glycine max* L. merrill) flowers. In: *Herbicidas*, 277–98. Rijeka, Croatia: InTech. doi:http://dx.doi.org/10.5772/55847.
- Chiari, W.C., V.A.A. Toledo, M.C.C. Ruvolo-Takasusuki, V.M. Attencia, F.M. Costa, C.S. Kotaka, E.S. Sakaguti, e H.R. Magalhaes. 2005. Floral biology and behavior of Africanized honeybees *Apis mellifera* in soybean (*Glycine max* L. merrill).” *Brazilian Arch. Biol. Technol.* 48: 367–78. doi:dx.doi.org/10.1590/S1516-89132005000300006.
- Corbet, S.A. 2003. Nectar sugar content: estimating sting crop and secretion rate in the field. *Apidologie*. 34:1–10. doi:10.1051/apido:2002049.
- Davis, A.R., L.C. Fowke, V.K. Sawhney, e N.H. Low. 1996. Floral nectar secretion and ploidy in *Brassica rapa* e *B. napus* (Brassicaceae). II. quantified variability of nectary structure and function in rapid-cycling lines. *Ann. Bot.* 77:223–34. doi:10.1006/anbo.1996.0026.
- Durán, X.A., R.B. Ulloa, J.A. Carrillo, J.L. Contreras, e M.T. Bastidas. 2010. Evaluation of yield component traits of honeybee- pollinated (*Apis mellifera* L.) rapeseed canola (*Brassica napus* L.). *Chil. J. Agric. Research.* 70:309–14.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. 2006. Sistema Brasileiro de classificação de solos. 2nded. Rio de Janeiro - Brasil: EMBRAPA-SPI.

- Garibaldi, L.A., L.G. Carvalheiro, B.E. Vaissière, Barbara G.H., J. Hipólito, B.M. Freitas, H.T. Ngo, N. Azzu, A. Sáez, J. An, B. Blochtein, D. Buchori, F.J.C. García, F.O. Silva, K. Devkota, M.F. Ribeiro, L. Freitas, M.C. Gaglianone, M. Goss, M. Irshad, A.J.S. Pacheco, L.H.P. Kiill, P. Kwapong, G.N. Parra, C. Pires, V. Pires, R.S. Rawal, A. Rizali, A.M. Saraiva, R. Veldtman, B.F. Viana, S. Witter, H. Zhang. 2016. Mutually beneficial pollinator diversity and crop yield outcomes in small and large farms. *Science*. 351: 388–91. doi:10.1126/science.aac7287.
- Garratt, M.P.D., D.J. Coston, C.L. Truslove, M.G. Lappage, C. Polce, R. Dean, J.C. Biesmeijer, e S.G. Potts. 2014. The identity of crop pollinators helps target conservation for improved ecosystem services. *Biol. Conserv.* 169:128–35. doi:10.1016/j.biocon.2013.11.001.
- Imperatriz-Fonseca, V.L., L.S. Gonçalves, T.M. Franco, e P. Nunes-Silva. 2012. O desaparecimento das abelhas melíferas (*Apis mellifera*) e as perspectivas do uso de abelhas não melíferas na polinização. Documentos (Embrapa Semi-Árido. Online) 249:210–33.
- Ivey, C.T., P. Martinez, e R. Wyatt. 2003. Variation in pollinator effectiveness in swamp milkweed, *Asclepias incarnata* (Apocynaceae). *Am. J. Bot.* 90:214–25. doi:10.3732/ajb.90.2.214.
- Iwama, S. 1977. A influência de fatores climáticos na atividade externa de *Tetragonisca angustula* (Apidae, Meliponinae). *Bol. Zool. da Univ. São Paulo*. 2:189–201.
- Kamel, S. M., H. M. Mahfouz, A. E. H. Blal, M. Said, e M. F. Mahmoud. 2015. Diversity of insect pollinators with reference to their impact on yield production of canola (*Brassica napus* L.) in Ismailia, Egypt. *Pestic. Phytomed.* 30:161–68. doi:10.2298/PIF1503161K.
- Lima, E.G., S.C. Camargo, P.R. Santos, J.W.S. Oliveira, e V.A.A. Toledo. 2016. Regulation of pollen foraging activity in *Apis mellifera* Africanized honeybees colonies. *Agric. Sci.* 7:335–40. doi:10.4236/as.2016.76034.
- Lindström, S.A.M., L. Herbertsson, M. Rundlöf, H.G. Smith, e R. Bommarco. 2015. Large-Scale Pollination experiment demonstrates the importance of insect pollination in winter oilseed rape. *Oecologia*. 180:759–69. doi:10.1007/s00442-015-3517-x.
- Malerbo-Souza, D.T., e F.A.S. Silva. 2011. Comportamento forrageiro da abelha africanizada *Apis mellifera* L. no decorrer do ano. *Acta Sci. Anim. Sci.* 33:183–90. doi:10.4025/actascianimsci.v33i2.9252.
- Nedić, N., M. Mačukanović-Jocić, D. Rančić, B. Rørslett, I. Šoštarić, Z.D. Stevanović, e M. Mladenović. 2013. Melliferous potential of *Brassica napus* L. subsp. *napus* (Cruciferae). *Arthropod. Plant. Interact.* 7:323–33. doi:10.1007/s11829-013-9247-2.
- Ollerton, J., R. Winfree, e S. Tarrant. 2011. How many flowering plants are pollinated by animals? *Oikos*. 120:321–26. doi:10.1111/j.1600-0706.2010.18644.x.

- Pierre, J., J. Mesquida, R. Marilleau, M.H. Pham-Delègue, e M. Renard. 1999. Nectar secretion in winter oilseed rape, *Brassica napus* - quantitative and qualitative variability among 71 genotypes. *Plant Breed.* 118:471–76. doi:10.1046/j.1439-0523.1999.00421.x.
- R Core Team. 2014. R: A Language and environment for statistical computing. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing. <http://www.r-project.org/> (acessado em dez. 2014).
- Rech, A.R., K. Agostini, P.E. Oliveira, e I.C. Machado. 2014. *Biologia da polinização*. Rio de Janeiro: Projeto Cultural.
- SAS[®] University Edition – Statistical Analyses System. SAS Institute Inc. [online] https://www.sas.com/pt_br/software/university-edition.html (acessado em jan. 2017)
- Seeley, T.D. 1995. *The wisdom of the hive: the social physiology of honey bee colonies*. Cambridge: Harvard University Press.
- Souza, F.F., e D.T. Malerbo-Souza. 2005. Entomofauna visitante e produção de frutos em melancia (*Citrullus lanatus* Thunb.) – Cucurbitaceae. *Acta Sci. Agron.* 27:449–54. doi:10.4025/actasciagron.v27i3.1408.
- Stanley, D.A., D. Gunning, e J. C. Stout. 2013. Pollinators and pollination of oilseed rape crops (*Brassica napus* L.) in Irele: ecological and economic incentives for pollinator conservation. *J. Insect Conserv.* 17:1181–89. doi:10.1007/s10841-013-9599-z.
- Tomm, G.O., e P.E.P. Ferreira. 2016. *Canola - híbridos convencionais e com resistência a clearfield*. Passo Fundo: EMBRAPA.
- USDA - United States Department of Agriculture. 2016. Production, supply, and distribution (PS&D). <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/app/index.html#/app/compositeViz> (acessado em jan. 2017).
- Westcott, L., e D. Nelson. 2001. Canola pollination: an update. *Bee World.* 82:115–29. doi:10.1080/0005772X.2001.11099514.
- Willmer, P. 2011. *Pollination and floral ecology*. New Jersey: Princeton University Press.

Legenda das figuras

Figura 1 - Gaiolas de polinização instaladas na cultura de canola. Entre Rios do Oeste, PR, Brasil.

Figura 2 - Superfície de resposta (lado esquerdo) e de contorno (lado direito) dos efeitos de horário do dia (x) e umidade relativa (ur) sobre a proporção (μ) de abelhas *A. mellifera* (a) e *T. angustula* (b) coletoras de néctar. (a) $\mu = e^{2,1074+0,1230x-0,0484ur}/1 + e^{2,1155+0,1230x-0,0484ur}$; (b) $\mu = e^{2,3623+0,1230x-0,0484ur}/1 + e^{2,3698+0,1230x-0,0484ur}$.

Figura 3 - Superfície de resposta (lado esquerdo) e de contorno (lado direito) dos efeitos de temperatura (temp) e umidade relativa (ur) sobre a proporção (μ) de abelhas *A. mellifera* (a) e *T. angustula* (b) coletoras de néctar nos nectários medianos. (a) $\mu = e^{-8,2162+0,0874temp+0,0198ur}/1 + e^{-8,2162+0,0874temp+0,0198ur}$; (b) $\mu = e^{-4,3712+0,0874temp+0,0198ur}/1 + e^{-4,3712+0,0874temp+0,0198ur}$.

Figura 4 - Superfície de resposta (lado esquerdo) e de contorno (lado direito) dos efeitos de temperatura (temp) e umidade relativa (ur) sobre a proporção (μ) de abelhas *A. mellifera* (a) e *T. angustula* (b) coletoras de néctar nos nectários laterais. (a) $\mu = e^{7,9298-0,2590temp-0,0408ur}/1 + e^{7,9298-0,2590temp-0,0408ur}$; (b) $\mu = e^{7,0904-0,2590temp-0,0408ur}/1 + e^{7,0904-0,2590temp-0,0408ur}$.

Figura 5 - Superfície de resposta (lado esquerdo) e de contorno (lado direito) dos efeitos de horário do dia (x) e umidade relativa (ur) sobre a proporção (μ) de abelhas *A. mellifera* (a) e *T. angustula* (b) coletoras de néctar nos nectários medianos e laterais. (a) $\mu = e^{1,9337+0,1256x-0,0386ur}/1 + e^{1,9337+0,1256x-0,0386ur}$; (b) $\mu = e^{-0,1217+0,1256x-0,0386ur}/1 + e^{-0,1217+0,1256x-0,0386ur}$.

Figura 6 - Superfície de resposta (lado esquerdo) e de contorno (lado direito) dos efeitos de horário do dia (x) e temperatura (temp) sobre a proporção (μ) de abelhas *A. mellifera* (a) e *T. angustula* (b) coletoras de pólen. (a) $\mu = e^{-2,9449-0,2951x+0,1459temp}/1 + e^{-2,9449-0,2951x+0,1459temp}$; (b) $\mu = e^{-2,0130-0,2951x+0,1459temp}/1 + e^{-2,0130-0,2951x+0,1459temp}$; Ponto de corte da umidade relativa média em 56,64%.

Figura 7 - Superfície de resposta do efeito da umidade relativa (ur) sobre a proporção (μ) de abelhas *A. mellifera* (a) e *T. angustula* (b) coletoras de néctar e pólen. (a) $\mu = e^{-3,8724+0,0424ur}/1 + e^{-3,8724+0,0424ur}$; (b) $\mu = e^{-8,2201+0,0424ur}/1 + e^{-8,2201+0,0424ur}$.

Figura 8 - Superfície de resposta (lado esquerdo) e de contorno (lado direito) dos efeitos de horário do dia (x) e temperatura (temp) sobre a proporção (μ) de abelhas *A. mellifera* (a) e *T. angustula* (b) com pólen na corbícula. (a) $\mu = e^{0,1248-0,2231x+0,0653temp}/1 + e^{0,1248-0,2231x+0,0653temp}$; (b) $\mu = e^{-0,4988-0,2231x+0,0653temp}/1 + e^{-0,4988-0,2231x+0,0653temp}$; Ponto de corte da umidade relativa média em 56,64%.

Figura 9 - Superfície de resposta (lado esquerdo) e de contorno (lado direito) dos efeitos de horário do dia (x) e temperatura (temp) sobre o tempo médio (μ) de permanência das abelhas *A. mellifera* (a) e *T. angustula* (b) na flor. (a) $\mu = e^{0,7187-0,0245x+0,0341temp}$; (b) $\mu = e^{1,8489-0,0245x+0,0341temp}$; Ponto de corte da umidade relativa média em 56,64%.

Figura 10 - Superfície de resposta (lado esquerdo) e de contorno (lado direito) dos efeitos de horário do dia (x) e umidade relativa (ur) sobre a média de flores visitadas pelas abelhas *A. mellifera* (a) e *T. angustula* (b) em um minuto. (a) $\mu = e^{2,9502-0,0120x-0,0039ur}$; (b) $\mu = e^{1,8229-0,0120x-0,0039ur}$.

Figura 11 - Superfície de resposta do efeito da umidade relativa (ur) sobre a proporção (μ) de abelhas *A. mellifera* (a) e *T. angustula* (b) em contato com as anteras e estigma. (a) $\mu = e^{4,9006+0,0350ur}/1 + e^{4,9006+0,0350ur}$; (b) $\mu = e^{-4,4860+0,0350ur}/1 + e^{-4,4860+0,0350ur}$.

Figura 12 - Superfície de resposta do efeito da umidade relativa (ur) sobre a proporção (μ) de abelhas *A. mellifera* (a) e *T. angustula* (b) em contato com as anteras. (a) $\mu = 0,1450 + 0,0026ur$; (b) $\mu = 0,0341 + 0,0026ur$.

Tabela 1. Resultados dos valores de “scaled deviance”* para mensurar a qualidade do ajuste dos modelos lineares generalizados

Variável	GL	“Deviance”- Valor	Log máxima verossimilhança
Abelhas coletoras de néctar	556	556,0	-567,8
Abelhas coletoras de néctar nos nectários medianos	556	556,0	-666,3
Abelhas coletoras de néctar nos nectários laterais	556	556,0	-382,1
Abelhas coletoras de néctar nos nectários medianos e laterais	556	556,0	-528,3
Abelhas coletoras de pólen	555	555,0	-640,2
Abelhas coletoras de néctar e pólen	557	557,0	-622,7
Presença de pólen na corbícula	555	555,0	-591,3
Tempo de permanência das abelhas na flor	555	555,0	7248,7
Número de flores visitadas em um minuto pelas abelhas	556	556,0	14562,5
Abelhas que entraram em contato com as anteras e estigma	557	557,0	-679,3
Abelhas que entraram em contato com as anteras	557	557,0	-3068,6

* Os GL de Scaled deviance foram iguais a 1,0, para todas as variáveis, devido a utilização do comando “scaled deviance”, que corrige os erros padrão dos parâmetros; GL – Grau de liberdade.

Tabela 2. Análise das estimativas dos parâmetros dos modelos de regressão e respectivos níveis descritivos

Variável	Parâmetro	Estimativa	Erro-padrão	Intervalo de confiança (95%)		χ^2	$P > \chi^2$
Abelhas coletoras de néctar	Intercepto	2,3623	0,6192	1,1487	3,5759	3,82	0,0001
	<i>A. mellifera</i>	-0,2549	0,0699	-0,3918	-0,1179	-3,65	0,0003
	<i>T. angustula</i>	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	-	-
	Horário	0,1230	0,0198	0,0842	0,1618	6,21	<0,0001
	Umidade	-0,0484	0,0053	-0,0588	-0,0380	-9,14	<0,0001
Abelhas coletoras de néctar nos nectários medianos	Intercepto	-4,3712	0,4772	-5,3064	-3,4360	-9,16	<0,0001
	<i>A. mellifera</i>	-3,8450	0,3175	-4,4672	-3,2228	-12,11	<0,0001
	<i>T. angustula</i>	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	-	-
	Temperatura	0,0874	0,0118	0,0642	0,1107	7,38	<0,0001
	Umidade	0,0198	0,0033	0,0133	0,0264	5,94	<0,0001
Abelhas coletoras de néctar nos nectários laterais	Intercepto	7,0904	1,7057	3,7474	10,4334	4,16	<0,0001
	<i>A. mellifera</i>	0,8394	0,1376	0,5697	1,1091	6,10	<0,0001
	<i>T. angustula</i>	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	-	-
	Temperatura	-0,2590	0,0431	-0,3436	-0,1744	-6,00	<0,0001
	Umidade	-0,0408	0,0091	-0,0587	-0,0229	-4,46	<0,0001
coletoras de néctar nos nectários medianos e laterais	Intercepto	-0,1217	0,5641	-1,2273	0,9839	-0,22	0,8292
	<i>A. mellifera</i>	2,0554	0,0599	1,9380	2,1728	34,32	<0,0001
	<i>T. angustula</i>	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	-	-
	Horário	0,1256	0,0282	0,0702	0,1809	4,45	<0,0001
	Umidade	-0,0386	0,0034	-0,0452	-0,0320	-11,41	<0,0001
Abelhas coletoras de pólen	Intercepto	-4,9073	0,6789	-6,2380	-3,5766	-7,23	<0,0001
	<i>A. mellifera</i>	-0,9319	0,0919	-1,1120	-0,7518	-10,14	<0,0001
	<i>T. angustula</i>	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	-	-
	Horário	-0,2951	0,0556	-0,4041	-0,1860	-5,30	<0,0001
	Temperatura	0,1459	0,0295	0,0880	0,2038	4,94	<0,0001
Umidade	0,0511	0,0045	0,0422	0,0600	11,28	<0,0001	
Abelhas coletoras de néctar e pólen	Intercepto	-8,2201	0,4940	-9,1883	-7,2520	-16,64	<0,0001
	<i>A. mellifera</i>	4,3477	0,3712	3,6202	5,0753	11,71	<0,0001
	<i>T. angustula</i>	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	-	-
	Umidade	0,0424	0,0043	0,0338	0,0509	9,75	<0,0001
Presença de pólen na corbícula	Intercepto	-2,9117	0,6661	-4,2172	-1,6063	-4,37	<0,0001
	<i>A. mellifera</i>	0,6236	0,0793	0,4682	0,7790	7,87	<0,0001
	<i>T. angustula</i>	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	-	-
	Horário	-0,2231	0,0336	-0,2890	-0,1571	-6,63	<0,0001
	Temperatura	0,0653	0,0149	0,0362	0,0944	4,39	<0,0001
Umidade	0,0426	0,0052	0,0325	0,0528	8,21	<0,0001	
Tempo de permanência das abelhas na flor	Intercepto	1,5770	0,0834	1,4136	1,7404	18,92	<0,0001
	<i>A. mellifera</i>	-1,1302	0,0020	-1,1340	-1,1263	-576,61	<0,0001
	<i>T. angustula</i>	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	-	-
	Horário	-0,0245	0,0058	-0,0359	-0,0131	-4,23	<0,0001
	Temperatura	0,0341	0,0034	0,0274	0,0408	9,94	<0,0001
Umidade	0,0048	0,0004	0,0039	0,0056	10,94	<0,0001	

(Continua)

(Continuação)

Variável	Parâmetro	Estimativa	Erro-padrão	Intervalo de confiança (95%)		χ^2	$P > \chi^2$
Número de flores visitadas em um minuto pelas abelhas	Intercepto	1,8229	0,0534	1,7183	1,9276	34,14	<0,0001
	<i>A. mellifera</i>	1,1273	0,0085	1,1106	1,1441	131,99	<0,0001
	<i>T. angustula</i>	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	-	-
	Hora	-0,0120	0,0019	-0,0157	-0,0083	-6,33	<0,0001
	Umidade	-0,0039	0,0005	-0,0050	-0,0029	-7,29	<0,0001
Abelhas que entraram em contato com as anteras e estigma	Intercepto	-4,4860	0,6100	-5,6815	-3,2905	-7,35	<0,0001
	<i>A. mellifera</i>	9,3866	0,4099	8,5831	10,1901	22,90	<0,0001
	<i>T. angustula</i>	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	-	-
	Umidade	0,0350	0,0092	0,0170	0,0530	3,81	0,0001
Abelhas que entraram em contato com as anteras	Intercepto	0,0341	0,0291	-0,0231	0,0912	1,17	0,2427
	<i>A. mellifera</i>	-0,1791	0,0112	-0,2011	-0,1570	-15,92	<0,0001
	<i>T. angustula</i>	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	-	-
	Umidade	0,0026	0,0003	0,0019	0,0032	8,08	<0,0001

χ^2 - Estatística calculada de Qui-quadrado.



Figura 1 - Gaiolas de polinização instaladas na cultura de canola. Entre Rios do Oeste, PR, Brasil.

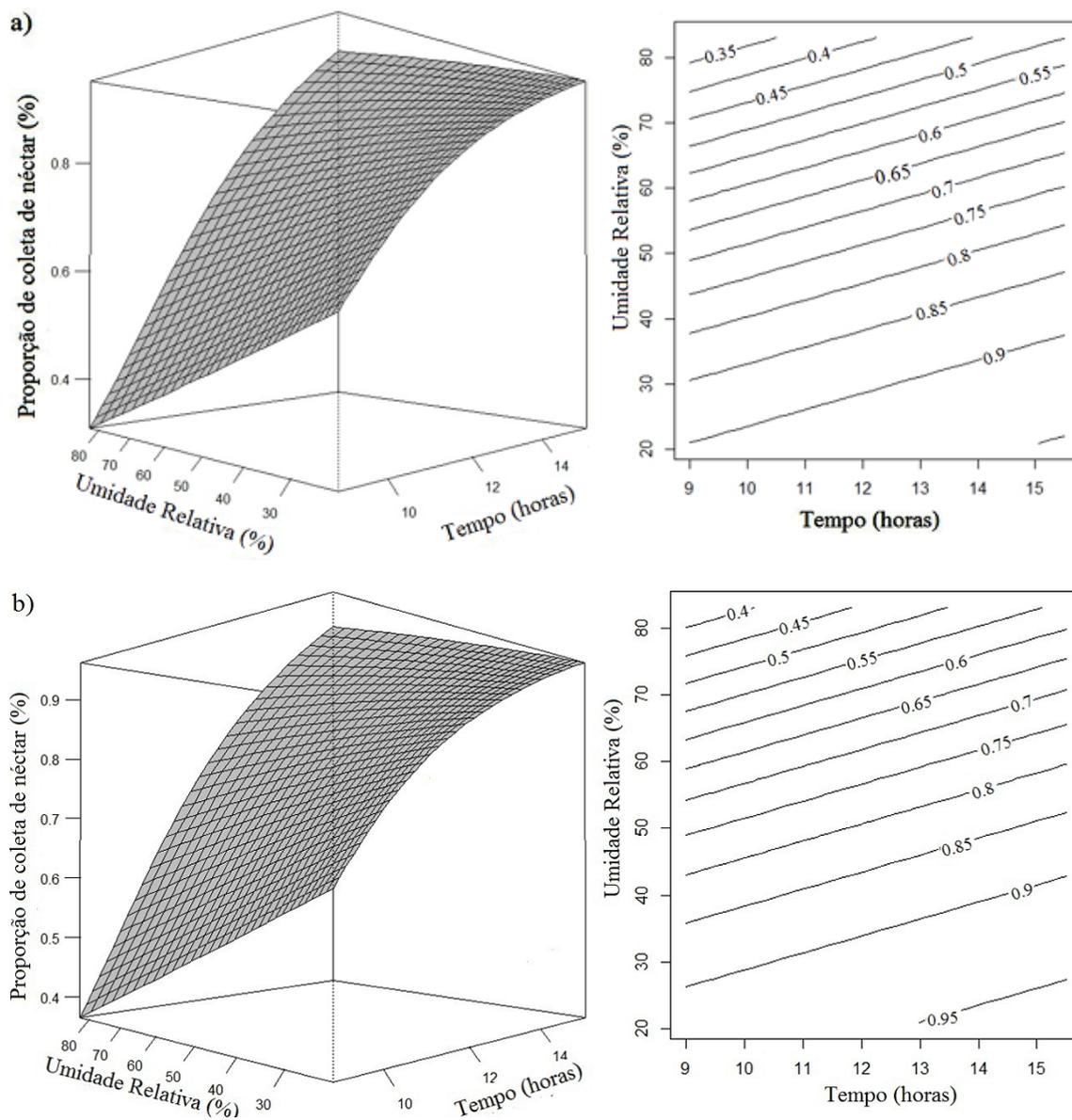


Figura 2 - Superfície de resposta (lado esquerdo) e de contorno (lado direito) dos efeitos de horário do dia (x) e umidade relativa (ur) sobre a proporção (μ) de abelhas *A. mellifera* (a) e *T. angustula* (b) coletoras de néctar. (a) $\mu = e^{2,1074+0,1230x-0,0484ur}/1 + e^{2,1155+0,1230x-0,0484ur}$, (b) $\mu = e^{2,3623+0,1230x-0,0484ur}/1 + e^{2,3698+0,1230x-0,0484ur}$.

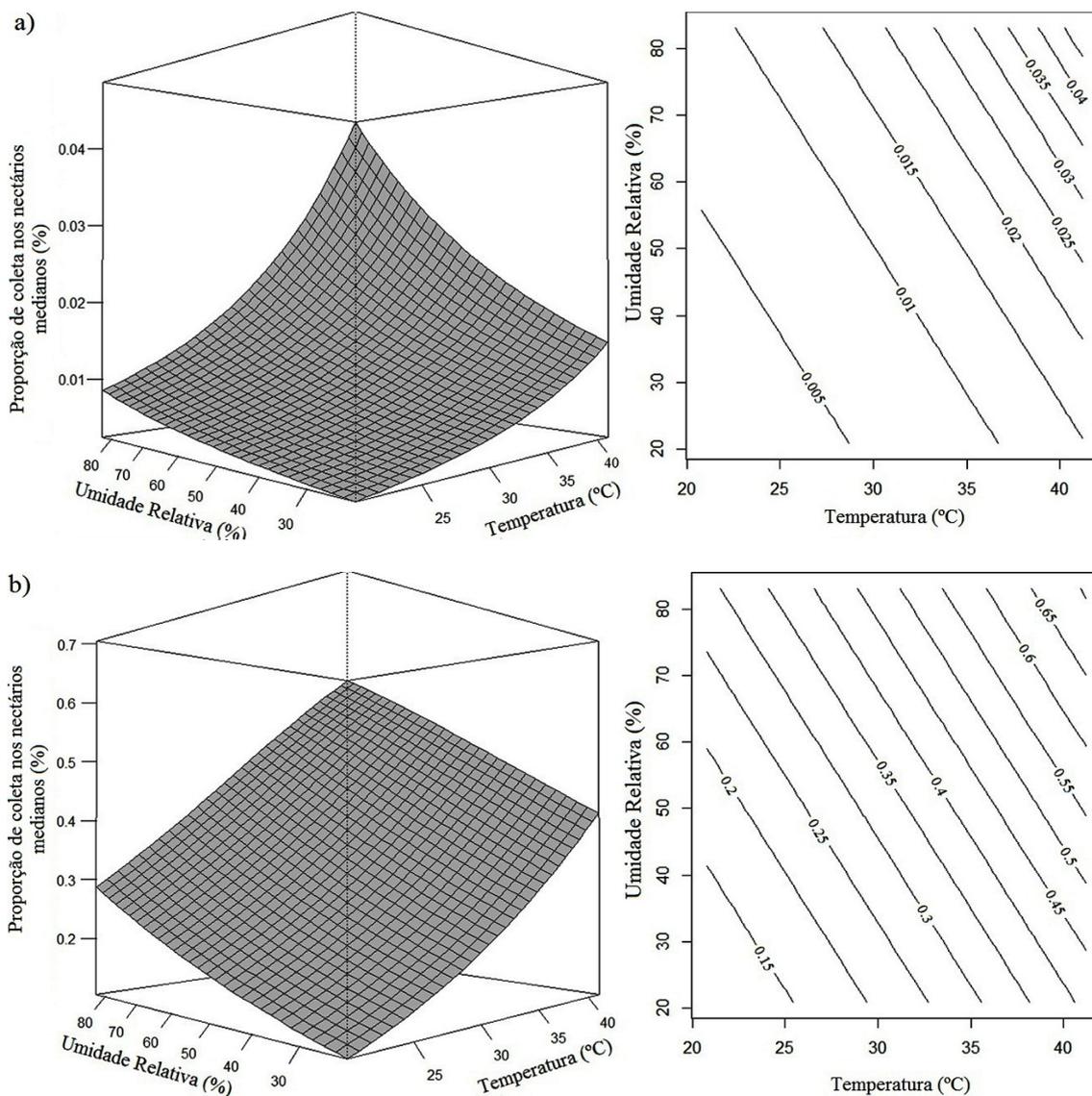


Figura 3 - Superfície de resposta (lado esquerdo) e de contorno (lado direito) dos efeitos de temperatura (temp) e umidade relativa (ur) sobre a proporção (μ) de abelhas *A. mellifera* (a) e *T. angustula* (b) coletoras de néctar nos nectários medianos. (a) $\mu = e^{-8,2162+0,0874temp+0,0198ur}/1 + e^{-8,2162+0,0874temp+0,0198ur}$, (b) $\mu = e^{-4,3712+0,0874temp+0,0198ur}/1 + e^{-4,3712+0,0874temp+0,0198ur}$.

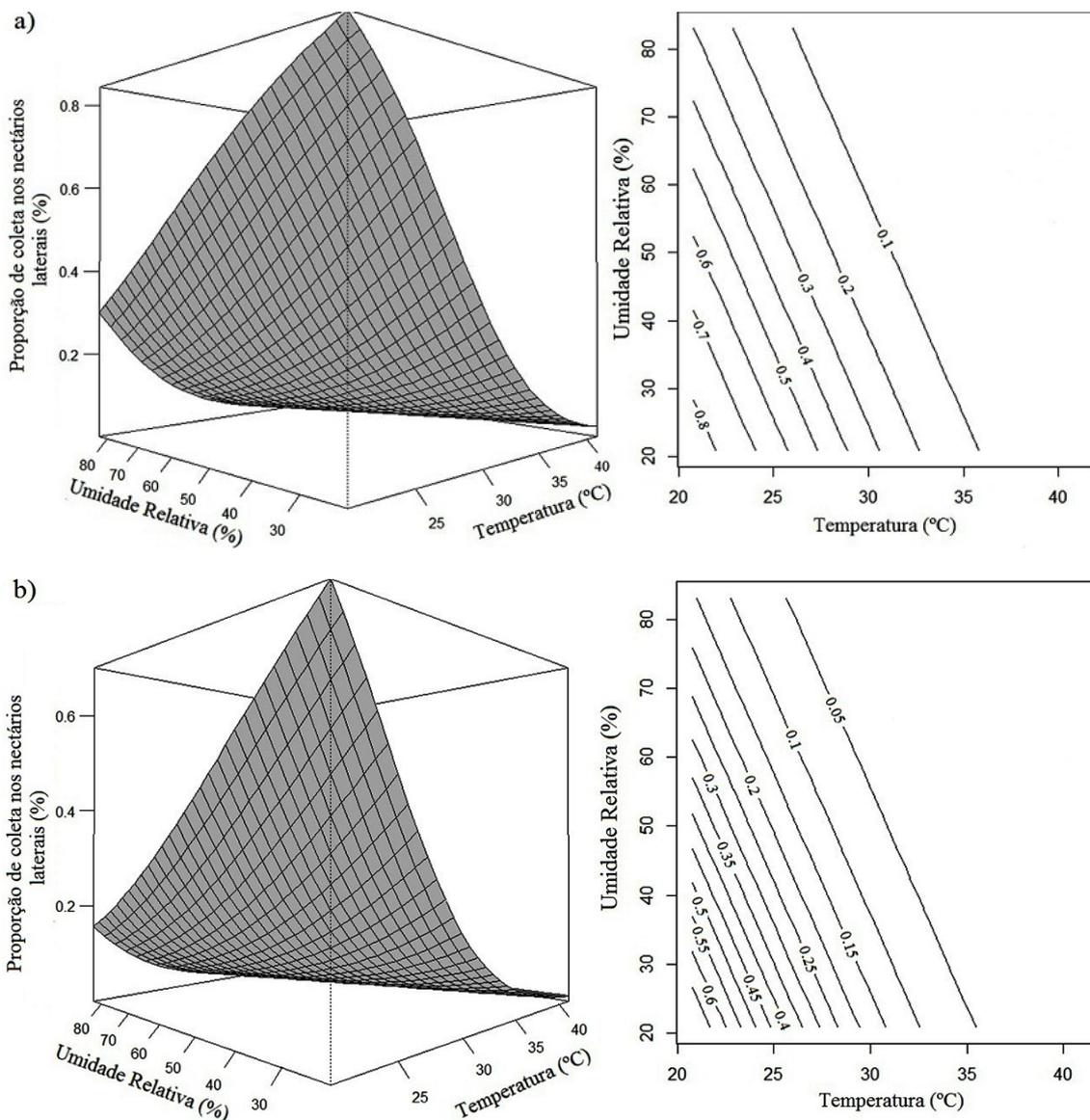


Figura 4 - Superfície de resposta (lado esquerdo) e de contorno (lado direito) dos efeitos de temperatura (temp) e umidade relativa (ur) sobre a proporção (μ) de abelhas *A. mellifera* (a) e *T. angustula* (b) coletoras de néctar nos nectários laterais. (a) $\mu = e^{7,9298 - 0,2590temp - 0,0408ur} / 1 + e^{7,9298 - 0,2590temp - 0,0408ur}$, (b) $\mu = e^{7,0904 - 0,2590temp - 0,0408ur} / 1 + e^{7,0904 - 0,2590temp - 0,0408ur}$.

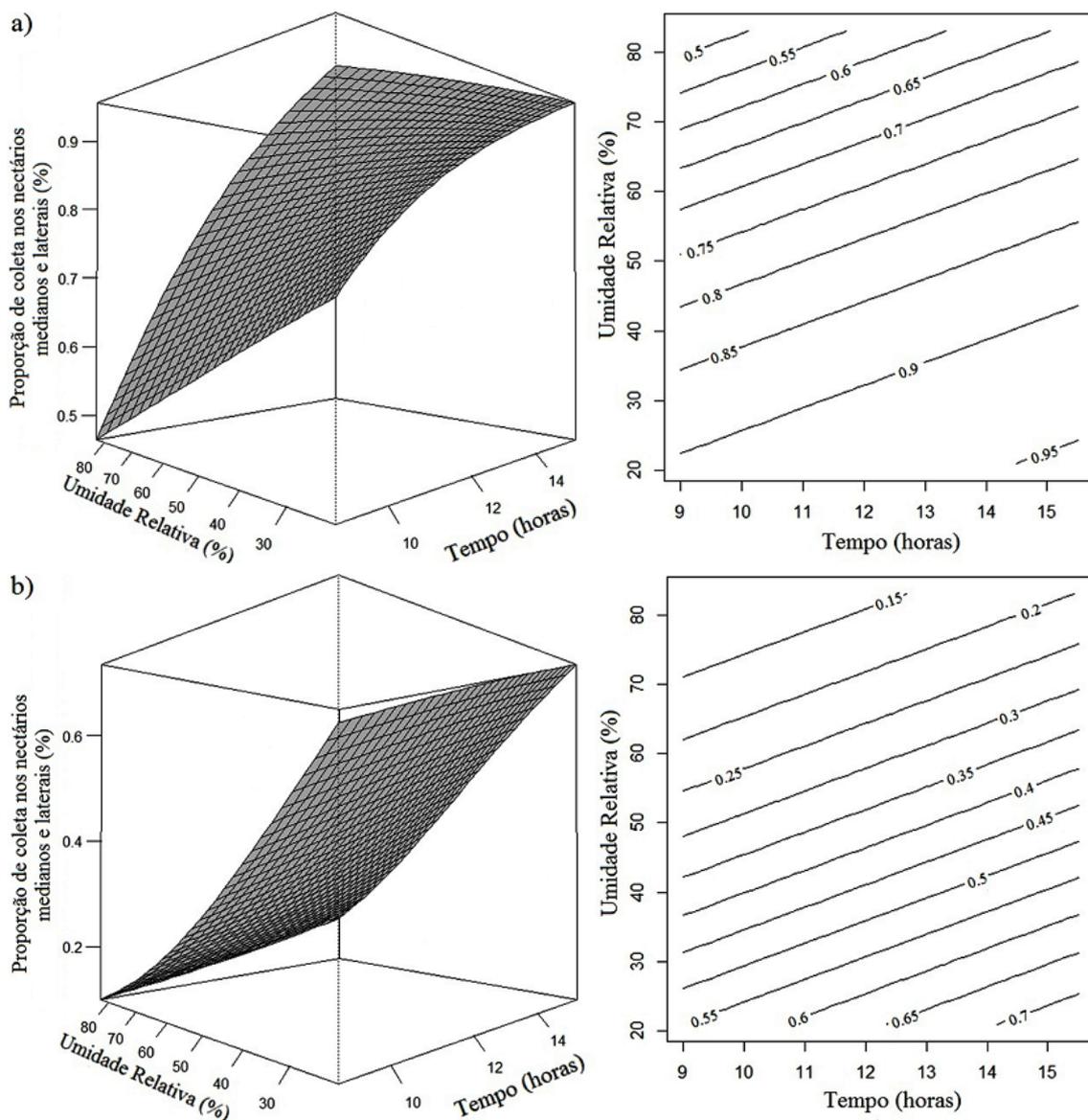


Figura 5 - Superfície de resposta (lado esquerdo) e de contorno (lado direito) dos efeitos de horário do dia (x) e umidade relativa (ur) sobre a proporção (μ) de abelhas *A. mellifera* (a) e *T. angustula* (b) coletoras de néctar nos nectários medianos e laterais. (a) $\mu = e^{1,9337+0,1256x-0,0386ur/1} + e^{1,9337+0,1256x-0,0386ur}$; (b) $\mu = e^{-0,1217+0,1256x-0,0386ur/1} + e^{-0,1217+0,1256x-0,0386ur}$

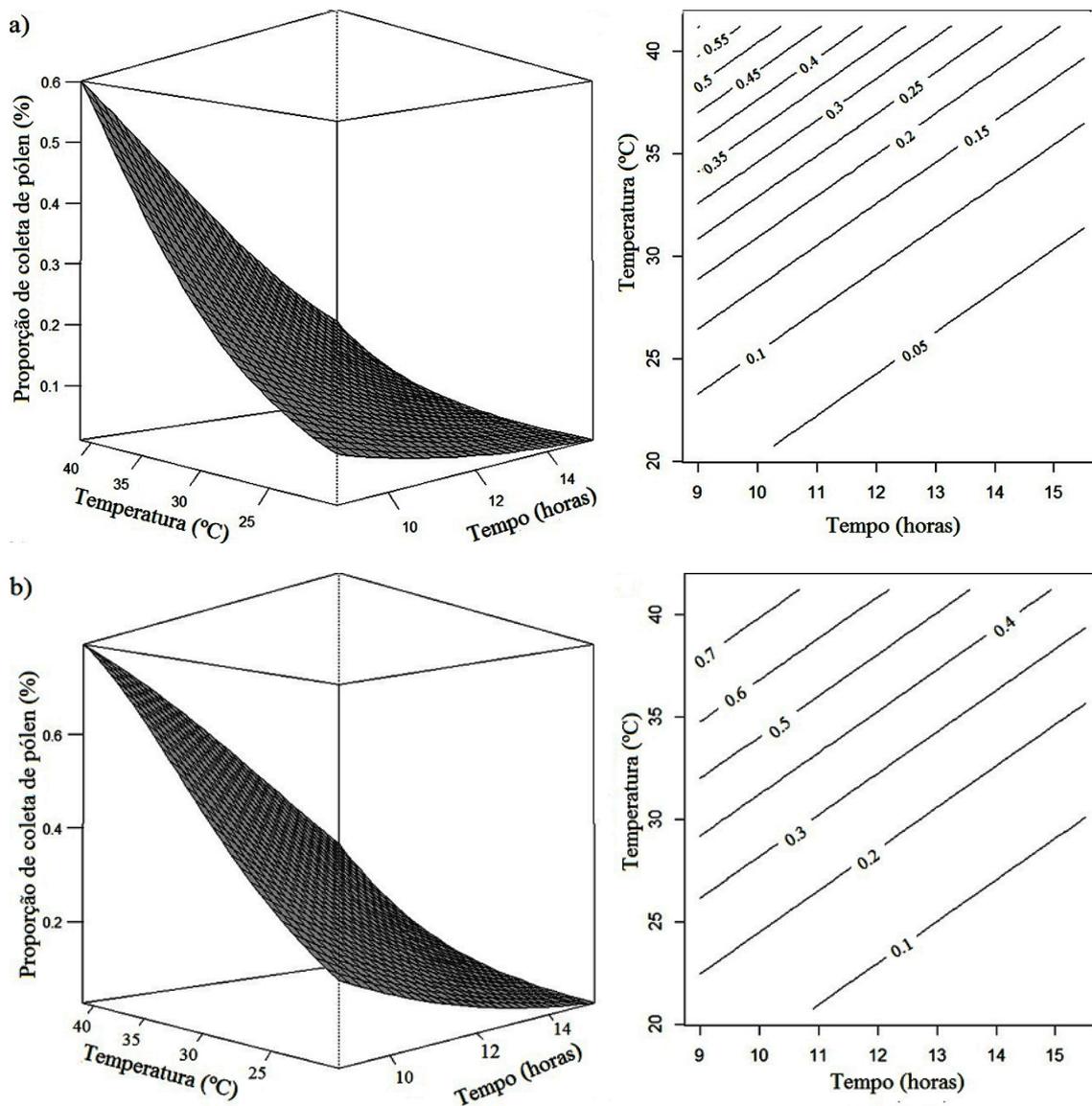


Figura 6 - Superfície de resposta (lado esquerdo) e de contorno (lado direito) dos efeitos de horário do dia (x) e temperatura (temp) sobre a proporção (μ) de abelhas *A. mellifera* (a) e *T. angustula* (b) coletoras de pólen. (a) $\mu = e^{-2,9449-0,2951x+0,1459temp}/1 + e^{-2,9449-0,2951x+0,1459temp}$, (b) $\mu = e^{-2,0130-0,2951x+0,1459temp}/1 + e^{-2,0130-0,2951x+0,1459temp}$; Ponto de corte da umidade relativa média em 56,64%.

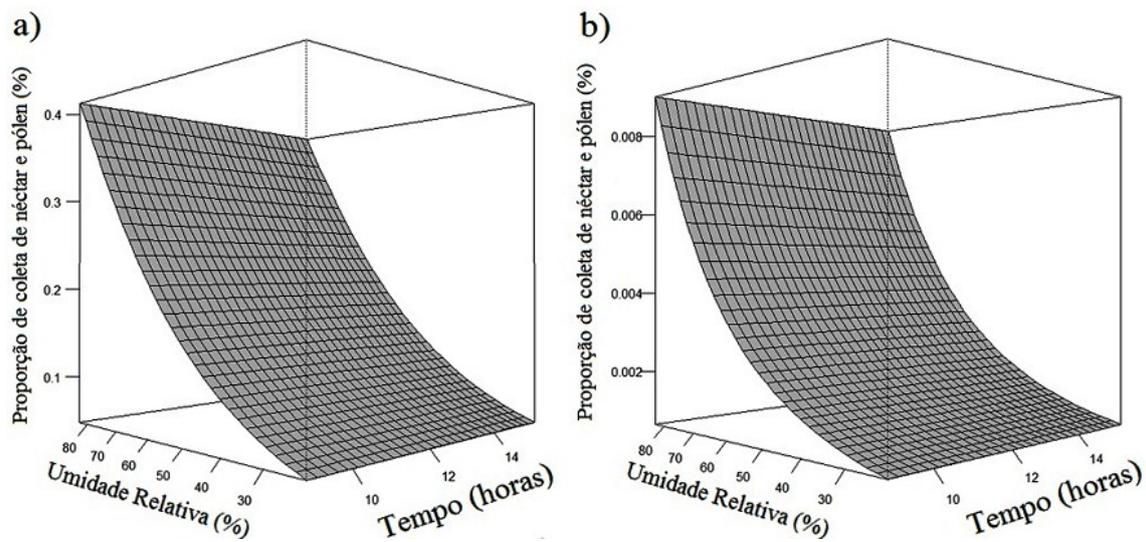


Figura 7 - Superfície de resposta do efeito da umidade relativa (ur) sobre a proporção (μ) de abelhas *A. mellifera* (a) e *T. angustula* (b) coletoras de néctar e pólen. (a) $\mu = e^{-3,8724+0,0424ur}/1 + e^{-3,8724+0,0424ur}$; (b) $\mu = e^{-8,2201+0,0424ur}/1 + e^{-8,2201+0,0424ur}$.

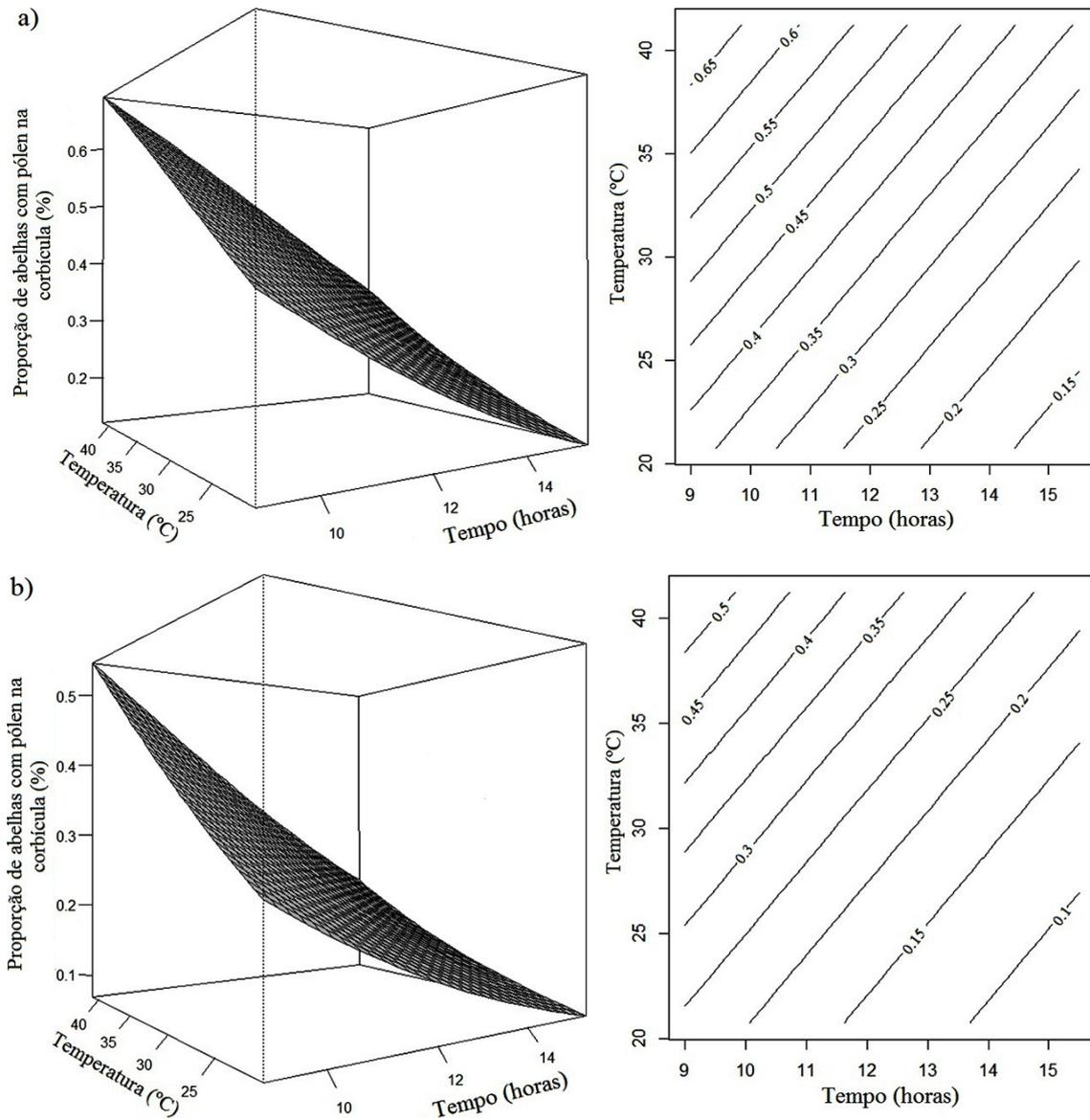


Figura 8 - Superfície de resposta (lado esquerdo) e de contorno (lado direito) dos efeitos de horário do dia (x) e temperatura (temp) sobre a proporção (μ) de abelhas *A. mellifera* (a) e *T. angustula* (b) com pólen na corbícula. (a) $\mu = \mu = e^{0,1248 - 0,2231x + 0,0653temp} / 1 + e^{0,1248 - 0,2231x + 0,0653temp}$, (b) $\mu = e^{-0,4988 - 0,2231x + 0,0653temp} / 1 + e^{-0,4988 - 0,2231x + 0,0653temp}$; Ponto de corte da umidade relativa média em 56,64%.

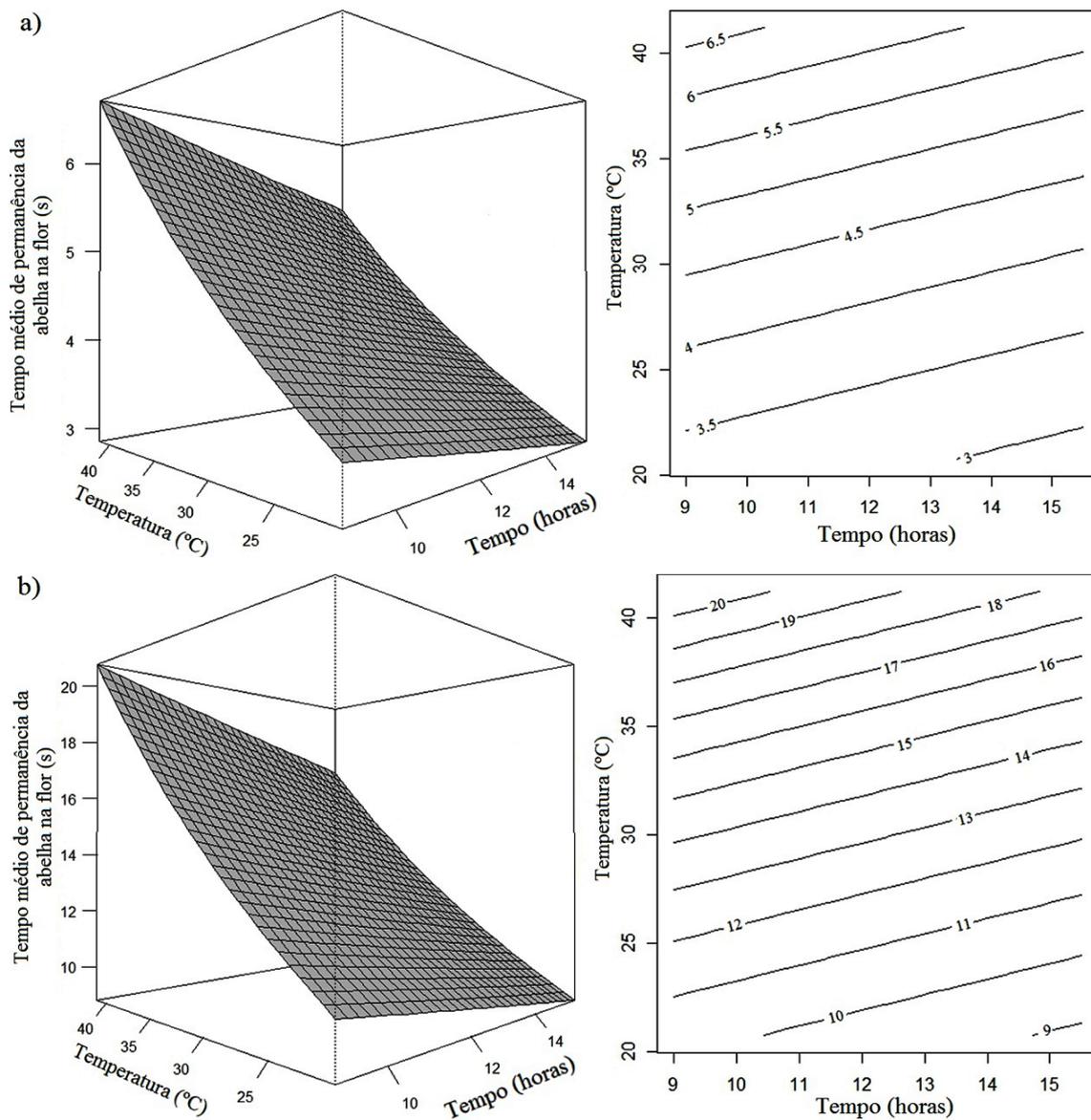


Figura 9 - Superfície de resposta (lado esquerdo) e de contorno (lado direito) dos efeitos de horário do dia (x) e temperatura (temp) sobre o tempo médio (μ) de permanência das abelhas *A. mellifera* (a) e *T. angustula* (b) na flor. (a) $\mu = e^{0,7187 - 0,0245x + 0,0341temp}$; (b) $\mu = e^{1,8489 - 0,0245x + 0,0341temp}$; Ponto de corte da umidade relativa média em 56,64%.

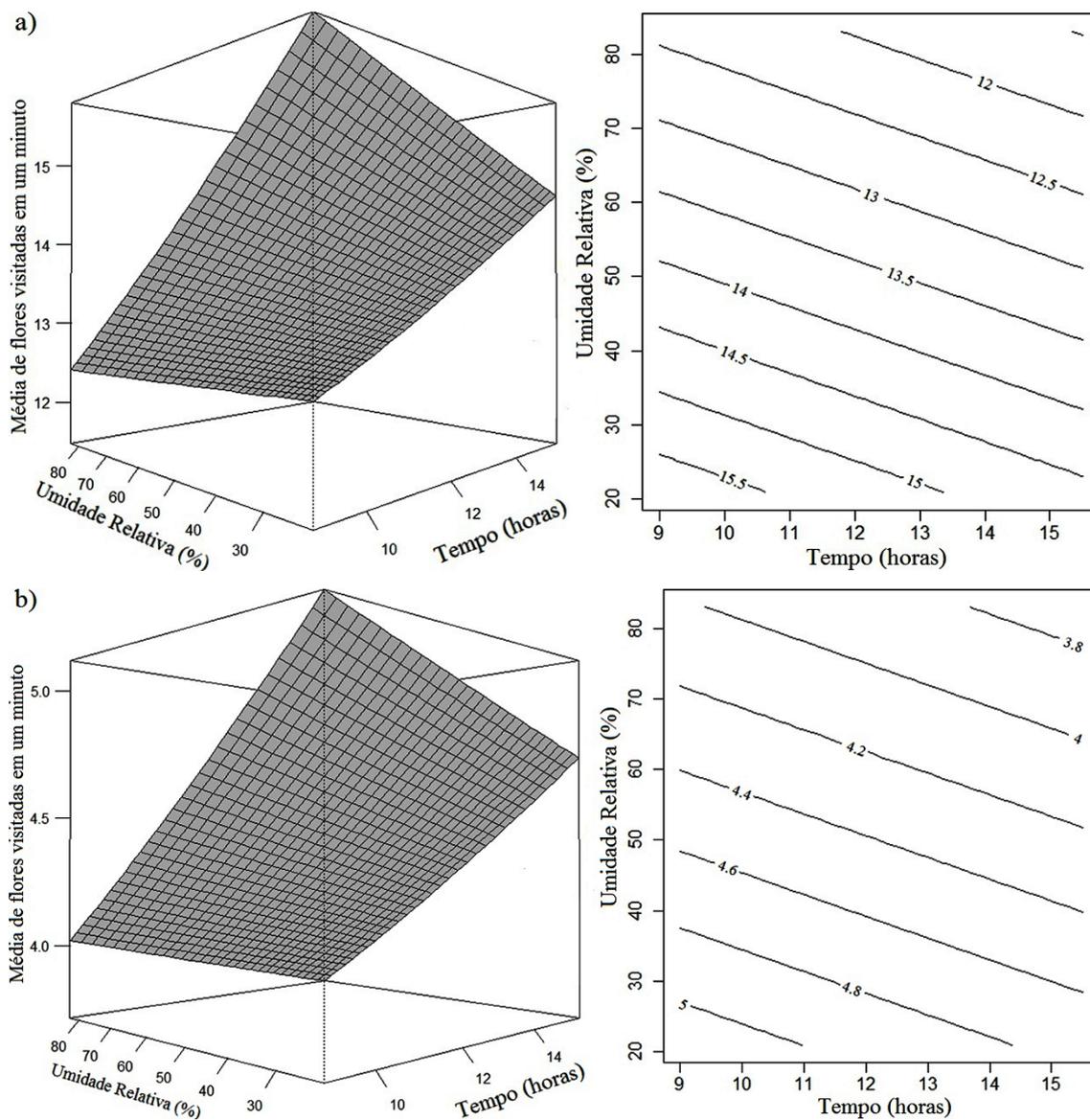


Figura 10 - Superfície de resposta (lado esquerdo) e de contorno (lado direito) dos efeitos de horário do dia (x) e umidade relativa (ur) sobre a média de flores visitadas pelas abelhas *A. mellifera* (a) e *T. angustula* (b) em um minuto. (a) $\mu = e^{2,9502 - 0,0120x - 0,0039ur}$; (b) $\mu = e^{1,8229 - 0,0120x - 0,0039ur}$.

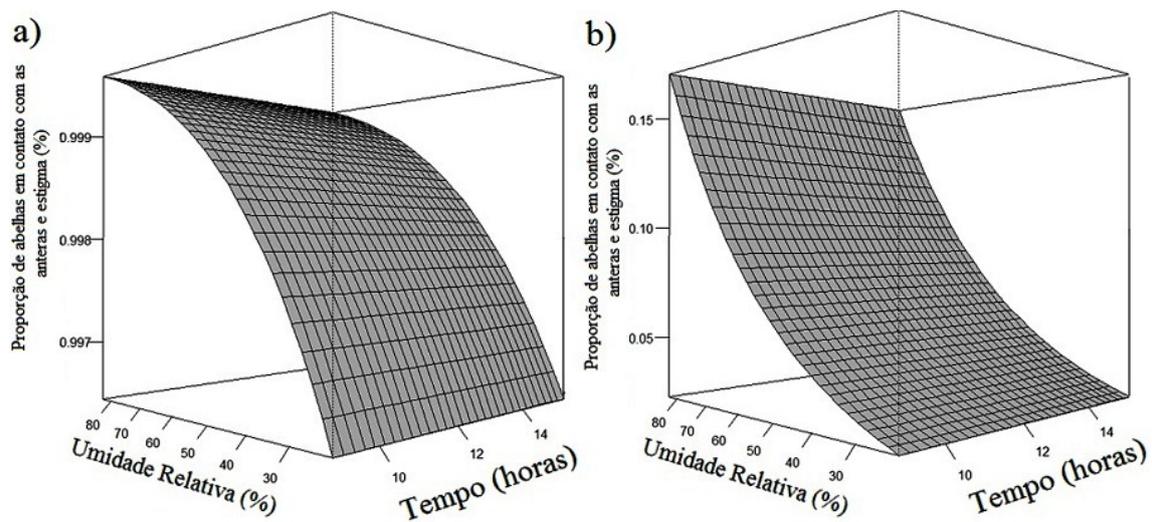


Figura 11 - Superfície de resposta do efeito da umidade relativa (ur) sobre a proporção (μ) de abelhas *A. mellifera* (a) e *T. angustula* (b) em contato com as anteras e estigma. (a) $\mu = e^{4,9006+0,0350ur}/1 + e^{4,9006+0,0350ur}$; (b) $\mu = e^{-4,4860+0,0350ur}/1 + e^{-4,4860+0,0350ur}$.

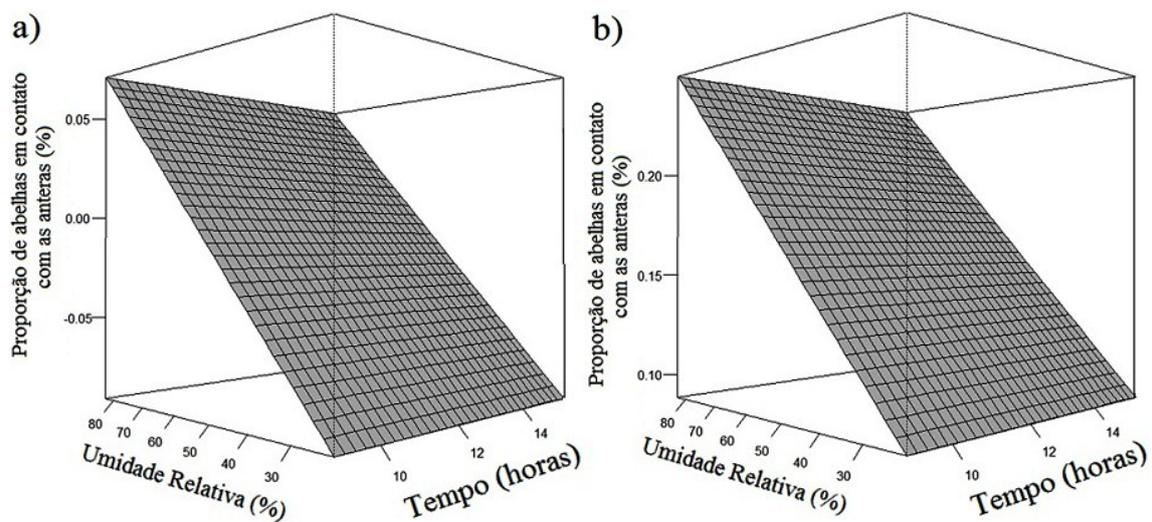


Figura 12 - Superfície de resposta do efeito da umidade relativa (ur) sobre a proporção (μ) de abelhas *A. mellifera* (a) e *T. angustula* (b) em contato com as anteras. (a) $\mu = -0,1450 + 0,0026ur$; (b) $\mu = 0,0341 + 0,0026ur$.

V – Valor nutricional do pólen apícola coletado no alvado e do pólen armazenado, provenientes do pólen de canola (*Brassica napus* L.) coletado por abelhas *Apis mellifera* L. e *Tetragonisca angustula* L.

Resumo

Objetivou-se avaliar a composição bromatológica do pólen de canola (*B. napus*), comparando o pólen apícola com o pólen armazenado pelas abelhas *Apis mellifera* e *Tetragonisca angustula*. O delineamento experimental foi de blocos ao acaso completos em esquema fatorial 3x2, com cinco repetições. Os tratamentos foram constituídos pela combinação de três tipos de amostras de pólen: pólen apícola, coletado no alvado das colmeias de *A. mellifera*; pão de abelha coletado das colmeias de *A. mellifera*, instaladas em gaiolas de polinização; saburá retiradas das colmeias de jataí, colocadas em gaiolas de polinização. Os dados foram submetidos à análise de variância a 5% de probabilidade pelo teste F e as médias foram comparadas pelo teste Tukey. As composições bromatológicas do pão de abelha e saburá diferiram do pólen apícola retirado no alvado. Para as variáveis: matéria seca (MS), proteína bruta (PB), carboidratos totais (CT), matéria mineral (MM) e extrato etéreo (EE), o pólen apícola coletado no alvado apresentou médias de 70,17% (MS), 22,04% (PB), 64,31% (CT), 3,79% (MM) e 9,85% (EE). O pão de abelha apresentou 74,97% (MS), 20,18% (PB), 67,07% (CT), 4,33% (MM) e 8,41% (EE), enquanto as amostras de saburá apresentaram 76,68% (MS), 17,10% (PB), 70,57% (CT), 3,71% (MM) e 8,62% (EE). Conclui-se que a cultura de canola (*B. napus*) é uma excelente alternativa para o forrageamento das abelhas, pelo alto teor de nutrientes encontrado no pólen apícola coletado no alvado, no pão de abelha e no saburá, que teve como matéria-prima o pólen desta cultura.

Palavras-Chave: abelha nativa, composição bromatológica, nutrição de abelhas, pólen armazenado

Nutritional value of bee pollen collected at the entrance of the hive and stored pollen from canola pollen (*Brassica napus* L.) collected by bees *Apis mellifera* L. and *Tetragonisca angustula* L.

ABSTRACT The objective of this research was to evaluate the bromatological composition of canola pollen (*B. napus*), comparing the bee pollen with the pollen stored by the bees *Apis mellifera* and *Tetragonisca angustula*. The experimental design was a randomized complete block in factorial scheme 3x2, with five replicates. The treatments consisted by combining three types of pollen samples: bee pollen collected at the entrance to the beehives of *A. mellifera*; bee bread collected from *A. mellifera* hives, installed in pollination cages; stored pollen removed from *T. angustula* hives, installed in pollination cages. The data were submitted to analysis of variance at 5% probability by the F test and the averages were compared by the Tukey test. The bromatological compositions of the bread of bee and stored pollen from *T. angustula*, differed from bee pollen. For the variables: dry matter, crude protein, total carbohydrates, mineral matter and ethereal extract, the bee pollen collected at the entrance of the hive presented averages of 70.17%, 22.04%, 63.90%, 3.79% and 9.85%, respectively. The bread bees had 75.13%, 20.21%, 66.44%, 4.29% and 8.43%, respectively. Pollen samples stored by *T. angustula* presented 76.68%, 17.73%, 69.76%, 3.72% and 8.49%, respectively. It is concluded that canola (*B. napus*) is an excellent alternative for the bees foraging, due to the high content of nutrients found in the bee pollen collected at the entrance of the hive, in the bread of bee and the stored pollen by from *T. angustula* that had as raw material the pollen of this culture.

KEY WORDS: bee nutrition, chemical composition, stingless bee, stored pollen

Lista de abreviações

MS – Matéria seca;

PB – Proteína bruta;

CT – Carboidratos totais;

MM – Matéria mineral;

EE – Extrato etéreo.

Introdução

As abelhas, assim como os demais animais de produção, necessitam de uma alimentação balanceada e de qualidade para o seu desenvolvimento, crescimento reprodução e produção (Brodschneider e Crailsheim, 2010; Nicolson, 2011). É por meio do consumo de néctar e mel que as abelhas suprem suas exigências de carboidratos (Herbert Jr., 1992), enquanto as exigências de minerais, proteínas, lipídios e vitaminas são supridas pelo consumo de pólen (Herbert Jr., 1992; Modro et al., 2012).

Os grãos de pólen são produzidos nas anteras e contêm o gametófito masculino. São revestidos pela esporoderme, dividida em duas camadas, sendo a exina a mais externa e a intina a mais interna (Silva et al., 2010). A camada de exina apresenta em sua constituição a esporopolenina, que lhe confere grande resistência e proteção não sendo digerida pela maioria dos animais, bem como, a camada de intina composta de celulose e pectina, que também de difícil digestão (Willmer, 2011).

As abelhas campeiras coletam os grãos de pólen, os misturam com o néctar e com as suas secreções bucais, ricas em enzimas digestivas, e os transportam em suas corbículas até a colmeia para serem armazenados. Em meliponini, o armazenamento do pólen é feito em potes de cera e é popularmente chamado de saburá (Nogueira-Neto, 1997), enquanto em *Apis mellifera* as cargas de pólen são armazenadas nos alvéolos dos favos e recebe o nome de pão de abelha (DeGrandi-Hoffman et al., 2013; Morais et al., 2013).

Tanto para as abelhas *A. mellifera*, quanto para os meliponíneos, o pólen armazenado sofre processos semelhantes. Durante a conversão ocorre a ação microbiana, provocada por bactérias e leveduras, com a fermentação e produção do ácido láctico (Nogueira-Neto, 1997; Araneda et al., 2014). Devido às mudanças bioquímicas ocorridas durante o processo de maturação dentro da colmeia, o pólen armazenado apresenta maior estabilidade, biodisponibilidade dos nutrientes e melhor digestibilidade (Herbert Jr., 1992; Fuenmayor et al., 2014).

As colônias usadas para polinização encontram uma dieta menos diversificada de pólen e esta dieta específica pode não fornecer todos os nutrientes essenciais, levando as abelhas ao estresse nutricional (VanEngelsdorp et al., 2009; Alaux et al., 2010; Donkersley et al., 2014). O trabalho desenvolvido por Somerville e Nicol (2006) demonstrou que o pólen apícola, coletado da flor de *Helianthus annuus* possuía baixo

teor de proteína, apresentado em média 14% de proteína bruta, enquanto o de *Brassica napus* apresentou 22,1% de proteína bruta. Nicolson e Human (2012) verificaram que o pólen de *H. annuus* armazenado continha menos proteína bruta e lipídios e maior teor de carboidratos comparado ao pólen fresco.

Considerando que a canola é uma importante oleaginosa e que a polinização realizada por abelhas resulta em efeitos positivos sobre a produção e qualidade dos grãos (Durán et al., 2010; Stanley et al., 2013; Chambó et al., 2014), o conhecimento da composição química do seu pólen é de fundamental importância para o estabelecimento de dietas adequadas para as abelhas. Dessa maneira, objetivou-se avaliar a composição bromatológica do pólen de canola (*B. napus* L.), cv. Hyola 76, comparando o pólen apícola coletado no alvado com o pólen armazenado pelas abelhas *Apis mellifera* e *Tetragonisca angustula*.

Material e Métodos

O experimento foi desenvolvido na Estação Experimental Professor Alcibiades Luiz Orlando, da Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE, no município de Entre Rios do Oeste, PR, Brasil (Latitude 24°40'51''S e Longitude 54°16'56''GR), localizado no fuso 21, que apresenta altitude de 400 m. As coordenadas são referentes ao Datum SIRGAS 2000.

O delineamento experimental empregado foi o de blocos ao acaso completos em esquema fatorial 3x2, com cinco repetições. Os tratamentos foram constituídos pela combinação de três tipos de amostras de pólen: pólen apícola (coletado no alvado das colmeias de *A. mellifera* - controle); pólen apícola armazenado (pão de abelha) retirado das colmeias de *A. mellifera* instaladas nas gaiolas de polinização com uma colmeia de *A. mellifera*; pólen apícola armazenado (saburá) coletado das colmeias de jataí, instaladas nas gaiolas de polinização, com *T. angustula* (área visitada apenas por abelhas jataí), testados em dois anos (2015 e 2016).

O pólen avaliado proveio da cultura de canola (*B. napus* L.), cultivar Hyola 76, cultivada em sistema de plantio direto, tendo como cultura antecessora a soja. As sementes foram semeadas em 31/05/2015 e em 05/05/2016. No primeiro ano o florescimento ocorreu em 05/08/2015, enquanto no segundo ano, o início de florescimento foi 12/07/2016 e estenderam-se até 12/09/2015 e 27/08/2016,

respectivamente. Os dados meteorológicos locais durante a condução do experimento foram coletados da Estação Meteorológica Experimental da Unioeste (Figura 1).

Foi realizada a correção da acidez do solo com aplicação de 1,6 t ha⁻¹ e 1,8 t ha⁻¹ de calcário dolomítico, no primeiro e segundo ano, respectivamente, 30 dias antes da semeadura. Para a adubação do solo, foram aplicados na linha de semeadura 200 kg ha⁻¹ do formulado NPK 10-15-15. Na adubação de cobertura, para suprir as demandas de nitrogênio e enxofre, foram aplicados 182 kg ha⁻¹ de sulfato de amônio, quando as plantas apresentavam quatro folhas verdadeiras, no primeiro e segundo ano. Toda a adubação baseou-se nas interpretações da análise química do solo, de acordo com as recomendações sugeridas pela EMBRAPA (Tomm et al., 2009).

As colmeias utilizadas para *A. mellifera* foram núcleos com cinco quadros, sendo três com cria, um com alimento e um quadro vazio do qual foram retiradas as amostras de pão de abelha. Para as abelhas *T. angustula*, foram utilizadas colmeias padrão com um ninho e duas melgueiras (20 cm x 20 cm x 8 cm), sendo estas as medidas internas, possuindo somente alimento no ninho, e uma melgueira vazia para deposição de pólen e néctar coletado na cultura. As colônias foram inseridas na cultura com 10% de floração nas datas 09/08/2015 e 18/07/2016. Durante toda a floração, receberam, individualmente, água potável e xarope de açúcar, na concentração de 25 mol L⁻¹, como complemento alimentar.

As gaiolas de polinização foram confeccionadas conforme Chiari et al. (2005), com tela de nylon de malha 2x2 mm, apoiadas por tubos de ¾ de polegada em PVC, formando gaiolas de 4 m de largura, 6 m de comprimento e 2 m de altura na parte mais alta, perfazendo uma área de 24 m². As mesmas foram montadas antes da floração nas datas de 31/07/2015 no primeiro e 05/07/2016, no segundo ano, permanecendo na cultura até o término do período de florescimento, permitindo o pleno desenvolvimento vegetativo das plantas.

Foram realizadas coletas de pólen apícola no alvado durante o período de floração, em dias alternados, sempre ao final da tarde, totalizando sete coletas em cada colmeia. Utilizou-se coletores do tipo frontal, instalados nos alvados das dez colmeias de *A. mellifera*. Os coletores eram constituídos de uma trampa (superfície de plástico com inúmeros orifícios), na qual os pellets de pólen trazidos pelas operárias campeiras em suas corbículas eram retidos e armazenados em gavetas coletoras, e posteriormente, fazia-se a coleta. Após as coletas, as amostras de pólen apícola foram limpas,

armazenadas em tubos falcon de 15 mL e congeladas no freezer a -4°C até o momento das análises bromatológicas.

Ao fim do experimento, foram retirados os caixilhos contendo o pão de abelha e as melgueiras com o saburá de todos os tratamentos. Com uma espátula, as amostras foram retiradas, armazenadas em frascos falcon de 15 mL esterilizados e congeladas para posteriores análises.

As análises bromatológicas de todas as amostras foram realizadas, seguindo as metodologias descritas por Silva e Queiroz (2002), no laboratório de Análise de Alimentos e Nutrição Animal da Universidade Estadual do Oeste do Paraná, no Campus de Marechal Cândido Rondon. Foram avaliados os teores de matéria seca (MS%), matéria mineral (MM%), proteína bruta (PB%) e extrato etéreo (EE%). O teor de carboidratos totais (CT) foi calculado de acordo com Sniffen et al. (1992): $\text{CT} (\%) = 100 - (\% \text{PB} + \% \text{EE} + \% \text{MM})$.

O modelo estatístico utilizado foi:

$$Y_{ijk} = \mu + G_i + B/A_{jk} + A_j + GA_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

em que:

Y_{ijk} = observação da média de tratamento i , no ano agrícola j e no bloco k ;

μ = efeito da média geral;

G_i = efeito do tratamento, para $i = (1, 2 \text{ e } 3)$;

B/A_{jk} = Efeito de bloco k dentro do ano j ;

A_j = efeito de ano, para $j = (1 \text{ e } 2)$;

GA_{ij} = efeito da interação entre tratamento i e ano j ;

ε_{ijk} = erro associado à observação ijk .

Os efeitos dos tratamentos (G), ano (A) e interação entre G e A foram avaliados pelo teste F na análise de variância (ANOVA). Quando significativo na ANOVA, às médias de G , A e do efeito hierárquico de um fator dado a outro, foram comparadas por meio do teste de Tukey. O nível de 5% de significância foi adotado em todos os testes de hipóteses. As análises estatísticas foram realizadas pelo aplicativo computacional Genes (Cruz, 2013).

Resultados

Para matéria seca, proteína bruta e carboidratos totais, houve interação significativa entre anos agrícolas e os tratamentos de amostras de pólen. As variáveis, matéria mineral e extrato etéreo tiveram efeito significativo somente dos tratamentos (Tabela 1).

As amostras de pólen apícola do alvado apresentaram menor teor de matéria seca, diferindo das amostras de pão de abelha, e das amostras de saburá, no ano 2015 (Tabela 2). No ano 2016, não houve diferença nos teores de matéria seca entre os tratamentos (Tabela 2).

A porcentagem de matéria seca do pólen apícola do alvado foi inferior aos demais tratamentos em 2015 e não diferiu estatisticamente entre eles em 2016, embora também apresentasse menor valor. A porcentagem de matéria seca das amostras de pão de abelha e de saburá foi maior (0,79 e 3,64%, respectivamente), no ano de 2016, do que em 2015 (Tabela 2).

A porcentagem de proteína bruta das amostras de pólen apícola do alvado foi maior e diferiu dos demais tratamentos. Enquanto as amostras de pão de abelha diferiram das de saburá, sendo essas relações entre os tratamentos observadas nos dois anos estudados (Tabela 2). Ainda, as amostras coletadas no ano 2016, apresentaram maior teor de proteína bruta em relação às coletadas no ano agrícola 2015, em todos os tratamentos estudados. (Tabela 2).

Nos dois anos analisados, o teor de carboidratos totais das amostras de pólen apícola do alvado foi menor em relação aos demais tratamentos. O pão de abelha apresentou menor teor de carboidratos totais comparado as amostras de saburá (Tabela 2).

A porcentagem de carboidratos totais das amostras coletadas no ano 2015, foi maior em relação às amostras coletadas em 2016, para o pólen apícola coletado no alvado e para as amostras de pão de abelha (2,93 e 1,26%, respectivamente). As amostras de saburá coletadas das colônias de jataí, apresentaram maior teor de carboidratos totais (1,64%), no segundo ano, comparado ao primeiro (Tabela 2).

O teor de matéria mineral (cinzas) das amostras de pão de abelha, foram maiores, em relação às amostras de pólen apícola coletadas no alvado e de saburá (Tabela 3). Não houve efeito entre os anos para matéria mineral.

A porcentagem de extrato etéreo foi maior nas amostras de pólen apícola coletadas no alvado, em comparação com as amostras de pão de abelha e saburá retiradas das colônias de jataí (Tabela 3). Não houve efeito entre os anos para extrato etéreo.

Discussão

A análise dos resultados revelou que a interação entre amostras de pólen e ano foi significativa para as variáveis: matéria seca, proteína bruta e carboidratos totais (Tabela 1), indicando que ocorreram diferentes respostas das amostras de pólen em relação aos anos estudados. Fatores, como temperatura do ar, umidade e fertilidade do solo afetam o valor nutritivo do pólen (Herbert Jr., 1992), conseqüentemente, os grãos de pólen de uma única fonte floral, coletado em áreas ou anos distintos, podem ser diferentes quimicamente.

A maior porcentagem de proteína bruta das amostras de pólen no ano 2016, em comparação ao ano de 2015, em todos os tratamentos pode ter ocorrido pelas condições ambientais diferentes entre os anos. O desenvolvimento do cultivo de canola é favorecido por temperaturas do ar mais baixas, ficando entre 13° a 20°C (OGTR, 2016). Durante o período de florescimento no primeiro ano (05/08/2015 a 12/09/2015), a temperatura média foi de 23°C, enquanto no segundo ano (12/07/2016 a 27/08/2016), a temperatura média foi de 18°C (Figura 1). Possivelmente a temperatura mais alta, no primeiro ano, pode ter influenciado na menor produção de proteína no pólen coletado pelas abelhas na cultura, e conseqüentemente influenciou no teor de proteína do pólen apícola coletado do alvado, do pão de abelha e saburá.

Observou-se que nas amostras de pão de abelha e, nas de saburá, a porcentagem de proteína bruta foi menor em relação às amostras de pólen apícola coletado no alvado (Tabela 2). Estudos desenvolvidos por Nicolson e Human (2012), com *H. annuus*, encontraram maior teor de proteína bruta, no pólen fresco (26,49%), comparado ao armazenado pelas abelhas (13,31%), contudo, não houve diferença entre o pólen apícola e o pólen armazenado.

O teor de proteína bruta presente no pólen apícola coletado no alvado é mais elevado do que o pólen armazenado pelas abelhas, da mesma origem floral, no entanto, esta diferença não influencia no valor nutricional do mesmo, uma vez que, após os processos de fermentação e formação de ácido láctico, o conteúdo citoplasmático do grão de pólen torna-se mais biodisponível (Nogueira-Neto, 1997; Araneda et al., 2014) aumentando a digestibilidade e o valor nutritivo para as abelhas (Herbert Jr., 1992). Os teores de proteína bruta no pão de abelha, foram maiores que as amostras de saburá, nos anos 2015 e 2016. Degrandi-Hoffman et al. (2013) verificaram que pode haver diferenças na composição e consumo de pão abelha de diferentes espécies, mesmo quando se alimentam do mesmo pólen. Os diferentes microrganismos presentes no saburá e no pão de abelha (Nogueira-Neto, 1997; Vásquez e Olofsson, 2009; Čadež et al., 2014; Kirk et al., 2014) podem justificar as diferenças ocorridas no teor de proteína da amostras provenientes das diferentes espécies.

É necessária uma quantidade adequada de proteína na dieta das abelhas, uma vez que as mesmas são utilizadas no desenvolvimento de seus tecidos, músculos e glândulas (Herbert Jr., 1992). Plantas que produzem pólen com mais de 20% de proteína bruta são as mais adequadas para abelhas forragearem (De Groot, 1953). Dessa maneira, o pólen apícola de canola, avaliado nesse trabalho, apresentou níveis de proteína bruta satisfatório para as abelhas, em média 22,04%. Araneda e Caniullan (2015) encontraram 39,04% de proteína bruta em amostras de pólen apícola de *B. napus*, no Chile, sendo este superior ao encontrado neste trabalho.

Neste trabalho, os carboidratos totais constituíram o grupo de nutrientes mais abundantes, nas amostras de pólen. Fuenmayor et al. (2014), também verificaram que os carboidratos foram os principais componentes do pólen apícola. O teor de carboidratos totais nas amostras de saburá coletadas nas colmeias de jataí, foi maior que as amostras de pólen apícola coletadas no alvado e as amostras de pão de abelha, nos dois anos de avaliação. Os carboidratos totais são inversamente proporcionais à proteína bruta, e o teor de proteína bruta do saburá foi menor que do pólen apícola e o pão de abelha.

Com a adição de néctar e mel ao pólen durante sua coleta e armazenamento, a quantidade de carboidratos aumenta (Nicolson, 2011). Possivelmente as abelhas *T. angustula* adicionam mais mel ao pólen durante o seu armazenamento, comparado às abelhas africanizadas. Nicolson e Human (2012), verificaram aumento de 28% na quantidade de carboidratos em amostras de pólen armazenado de *H. annuus* em relação

ao pólen fresco. Apesar de néctar e mel satisfazerem as exigências de carboidratos das abelhas adultas, é importante que o pólen e pão de abelha contenham entre 30-35% de açúcar (Herbert Jr., 1992).

O teor de matéria seca das amostras de pão de abelha e saburá, foi menor que o pólen apícola coletado no alvado (6,49 e 7,40%, respectivamente), no ano 2015. Nicolson e Human (2012), não observaram diferença, na quantidade de umidade entre o pólen apícola e o pólen armazenado, para a cultura de *H. annuus*. Níveis altos de umidade no pólen armazenado podem comprometer a sua qualidade e potencialmente promover o crescimento microbiano. A maior quantidade de água no pólen apícola coletado no alvado, comparado ao pão de abelha e saburá, pode ser pela maior relação, desse produto com a umidade relativa do ar no ambiente fora da colmeia. Enquanto a umidade do pólen armazenado dentro da colmeia, é altamente conservada (Donkersley et al., 2014).

A porcentagem de matéria mineral do pólen apícola coletado no alvado, foi 14,14 menor que as amostras de pão de abelha. Estes resultados diferem dos encontrados por Nicolson e Human (2012), na cultura de *H. annuus*. Ainda, o teor de matéria mineral do pão de abelha coletado nos dois tratamentos com *A. mellifera* foi maior que o saburá proveniente dos dois tratamentos com *T. angustula*.

A quantidade de mineral do pólen depende da origem botânica e é um componente dos aminoácidos, fosfolipídios e enzimas provenientes das abelhas que coletaram o pólen (Mărghitas, 2005). Observa-se dessa maneira, que o teor de mineral nas amostras de pólen, pode ter sido influenciado pela espécie de abelha.

O teor de gordura (extrato etéreo) do pólen apícola coletado no alvado foi maior que as amostras de pão de abelha e, de saburá, contudo o teor de gordura nas amostras de pólen armazenado, tanto do pão de abelha quanto de saburá, não diferiram entre si. Nicolson e Human (2012), encontraram valor de 4,98% no teor de lipídio no pólen armazenado, proveniente da cultura de *H. annuus*. Donkersley et al. (2014), verificaram que as quantidades de lipídios no pão de abelha se mantêm estável na colmeia. As abelhas utilizam os lipídios como fontes de energia, síntese de ácidos graxos e de glicogênio, entre outras funções (Herbert Jr., 1992).

Os teores médios de matéria seca do pólen apícola coletado no alvado, do pão de abelha e do saburá foram 70,17, 74,97 e 76,83%, respectivamente, de proteína bruta (22,04, 20,18 e 17,10%, respectivamente), de carboidratos totais (64,31, 67,07 e

70,57%, respectivamente), de matéria mineral (3,79, 4,33 e 3,71%, respectivamente) e de extrato etéreo (9,45 8,41 e 8,62%, respectivamente).

A partir dos dados obtidos neste trabalho, conclui-se que a cultura de canola (*B. napus*) é uma excelente alternativa para o forrageamento das abelhas, pelo alto teor de nutrientes encontrado no pólen apícola coletado no alvado, no pão de abelha e no saburá, que teve como matéria-prima o pólen desta cultura. Conclui-se também que pesquisas relacionadas à nutrição das abelhas, não devem ser baseadas somente na avaliação da composição bromatológica do pólen apícola coletado do alvado, mas também no pólen armazenado nas colmeias, uma vez que estas diferem entre si e é esse alimento que as abelhas irão consumir.

Referências

- Alaux, C., F. Ducloz, D. Crauser, e Y. Le Conte. 2010. Diet effects on Honeybee immunocompetence. *Biol. Lett.* 6: 562–65. doi:10.1098/rsbl.2009.0986.
- Araneda, X., e R. Caniullan. 2015. Aporte nutricional de polen de especies polinizadas por abejas (*Apis mellifera* L.) en la región de la Araucanía, Chile. *Rev. la Fac. Ciencias Agrar.* 47: 139–44. http://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S1853-86652015000100010&script=sci_arttext&tlng=pt (acessado em 15 jan. 2017).
- Araneda, X., C. Velásquez, D. Morales, e I. Martínez. 2014. Producción de pan de abejas (*Apis mellifera* L.) bajo condiciones de laboratorio. *Idesia.* 32: 63–69. doi:10.4067/S0718-34292014000400008.
- Brodtschneider, R., e K. Crailsheim. 2010. Nutrition and health in Honey Bees. *Apidologie.* 41: 278–94. doi:10.1051/apido/2010012.
- Čadež, N., L. Fülöp, D. Dlačhy, e G. Péter. 2014. *Zygosaccharomyces favi* sp. Nov., an obligate osmophilic yeast species from bee bread and honey. *Antonie van Leeuwenhoek, Int. J. Gen. Mol. Microbiol.* 107: 645–54. doi:10.1007/s10482-014-0359-1.
- Chambó, E.D., N.T.E. De Oliveira, R.C. Garcia, J.B. Duarte-Júnior, M.C.C. Ruvolo-Takasusuki, e V.A.A. Toledo. 2014. Pollination of rapeseed (*Brassica napus*) by Africanized Honeybees (Hymenoptera: Apidae) on two sowing dates. *An. Acad. Bras. Cienc.* 86: 2087–2100. doi:10.1590/0001-3765201420140134.
- Chiari, W.C., V.A.A. Toledo, M.C.C. Ruvolo-Takasusuki, V.M. Attencia, F.M. Costa, C.S. Kotaka, E.S. Sakaguti, e H.R. Magalhaes. 2005. Floral biology and behavior of Africanized Honeybees *Apis mellifera* in soybean (*Glycine max* L. Merrill). *Brazilian Arch. Biol. Technol.* 48: 367–78. doi:dx.doi.org/10.1590/S1516-89132005000300006.

- Cruz, C.D. 2013. Genes: Um pacote de software para análise em estatística experimental e genética quantitativa. *Acta Sci. Agron.* 35: 271–76.
- DeGrandi-Hoffman, G., B.J. Eckholm, e M.H. Huang. 2013. A comparison of bee bread made by Africanized and European Honey Bees (*Apis mellifera*) and its effects on hemolymph protein titers. *Apidologie.* 44: 52–63. doi:10.1007/s13592-012-0154-9.
- De Groot, A.P. 1953. Protein and amino acids requirements of the Honeybee (*Apis mellifera* L.). *Physiol. Comp. Oecol.* 3: 169-180.
- Donkersley, P., G. Rhodes, R.W. Pickup, K.C. Jones, e K. Wilson. 2014. Honeybee nutrition is linked to landscape composition. *Ecol. Evol.* 4: 4195–4206. doi:10.1002/ece3.1293.
- Durán, X.A., R.B. Ulloa, J.A. Carrillo, J.L. Contreras, e M.T. Bastidas. 2010. Evaluation of yield component traits of honeybee-pollinated (*Apis mellifera* L.) rapeseed canola (*Brassica napus* L.). *Chil. J. Agric. Researh.* 70:309–14.
- Fuenmayor, B.C., D.C. Zuluaga, M.C. Díaz, C.M. Quicazán, M. Cosio, e S. Mannino. 2014. Evaluation of the physicochemical and functional properties of Colombian bee pollen. *Rev. MVZ Córdoba.* 19: 4003–14. doi: <https://doi.org/10.21897/rmvz.120>.
- Herbert Jr., E.W. 1992. Honey Bee nutrition. In: *The hive and the Honey Bee*, 197–224. Hamilton, Illinois: Datan and Sons.
- Kirk, E.A., J.C. Mark, T. Sheehan, M.M. Brendon, P. Maes, e V. Corby-Harris. 2014. Hive-stored pollen of Honey Bees: many lines of evidence are consistent with pollen preservation, not nutrient conversion. *Mol. Ecol.* 23: 5904–17. doi:10.1111/mec.12966.
- Mărghitas, L.A. 2005. *Albinele si produsele lor*. Bucureste: Ceres.
- Modro, A.F.H., L.C Marchini, A.C.C.C. Moreti, e E. Maia. 2012. Influence of pollen on the development of Africanized bee colonies (Hymenoptera: Apidae). *Sociobiology.* 59: 395–406. doi: <http://dx.doi.org/10.13102/sociobiology.v59i2.602>
- Morais, M.M., A.P. Turcatto, R.A. Pereira, T.M. Francoy, K.R. Guidugli-Lazzarini, L.S. Gonçalves, J.M.V de Almeida, J.D. Ellis, e D. De Jong. 2013. Protein levels and colony development of Africanized and European Honey Bees fed natural and artificial diets. *Genet. Mol. Res.* 12: 6915–22. doi:10.4238/2013.December.19.10.
- Nicolson, S.W. 2011. Bee Food: The chemistry and nutritional value of nectar, pollen and mixtures of the two. *African Zool.* 46: 197–204. doi:10.3377/004.046.0201.
- Nicolson, S.W., e H. Human. 2012. Chemical composition of the ‘low quality’ pollen of sunflower (*Helianthus annuus*, Asteraceae). *Apidologie.* 44: 144–52. doi:10.1007/s13592-012-0166-5.

- Nogueira-Neto, P. 1997. Vida e criação de abelhas indígenas sem ferrão São Paulo: Nogueirapris. doi:10.1590/S0044-59672004000200021.
- OGTR - Office of the Gene Technology Regulator. 2016. The biology of *Brassica napus* L. (Canola) and *Brassica juncea* (L.) Czern. & Coss. (*Indian mustard*). Austrália: Office of the Gene Technology Regulator.
- Silva, C.I., M. Arista, P.L. Ortiz, S.G. Bauermann, A.C.P. Evaldt, e P.E. Oliveira. 2010. Catálogo polínico: palinologia aplicada em estudos de conservação de abelhas do gênero *Xylocopa* no triângulo mineiro. 2010. Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia – EDUFU.
- Silva, D.J., e A.C. Queiroz. 2002. Análise de alimentos: métodos químicos e biológicos. São Paulo: UFV.
- Sniffen, C.J., J.D. O'Connor, P.J. Van Soest, D.G. Fox, e J.B. Russell. 1992. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: II. Carbohydrate and protein availability. *J. Anim. Sci.* 70: 3562–77. doi:/1992.70113562x.
- Somerville, D.C., e H.I. Nicol. 2006. Crude protein and amino acid composition of honey bee-collected pollen pellets from south-east Australia and a note on laboratory disparity. *Aust. J. Exp. Agric.* 46: 141–49. doi:10.1071/EA03188.
- Stanley, D.A., D. Gunning, and J. C. Stout. 2013. Pollinators and pollination of oilseed rape crops (*Brassica napus* L.) in Ireland: ecological and economic incentives for pollinator conservation. *J. Insect Conserv.* 17: 1181–89. doi:10.1007/s10841-013-9599-z.
- Tomm, G.O., S. Wiethölter, G.A. Dalmago, e H.P. Santos. 2009. Tecnologia para produção de canola no Rio Grande do Sul. Embrapa Trigo. www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/863304 (acessado 5 de jan. 2017).
- VanEngelsdorp, D., J.D. Evans, L. Donovall, C. Mullin, M. Frazier, J. Frazier, D.R. Tarpy, J. Hayes, and J.S. Pettis. 2009. ‘Entombed pollen’: a new condition in honey bee colonies associated with increased risk of colony mortality. *J. Invertebr. Pathol.* 101: 147–49. doi:10.1016/j.jip.2009.03.008.
- Vásquez, A., and T.C. Olofsson. 2009. The lactic acid bacteria involved in the production of bee pollen and bee bread. *J. Apic. Res.* 48: 189–95. doi:10.3896/IBRA.1.48.3.07.
- Willmer, P. 2011. *Pollination and floral ecology*. New Jersey: Princeton University Press.

Legenda da figura

Figura 1 - Dados meteorológicos obtidos na estação climatológica da UNIOESTE, município de Entre Rios do Oeste, Paraná, Brasil, no período de maio a outubro dos anos de 2015 e 2016. Temperatura máxima, mínima e média (°C); UR (%) - Umidade Relativa.

Tabela 1. Análise de variância das variáveis: matéria seca (MS), matéria mineral (MM), proteína bruta (PB), extrato etéreo (EE), carboidratos totais (CT) de amostras de pólen apícola e pólen armazenado, coletado pelas abelhas *A. mellifera* e *T. angustula* na cultura de canola (Hyola 76). Entre Rios do Oeste, Paraná, Brasil

F.V.	GL	QM				
		MS (%)	MM (%)	PB (%)	EE (%)	CT (%)
Blocos/Ano	8	0,9266	0,0734	0,1619	0,1016	0,2586
A	1	24,3153**	0,2007 ^{ns}	15,0651**	0,0107 ^{ns}	2,2976**
AP	4	71,9616**	0,9017**	50,0108**	3,9396**	78,0385**
A x AP	4	2,4085**	0,0293 ^{ns}	0,3155*	0,0838 ^{ns}	4,1314**
Resíduo	32	0,5904	0,0751	0,1201	0,1290	0,2428
Total	49	-	-	-	-	-
CV (%)		1,03	6,91	1,80	4,11	0,72

F.V.: Fonte de variação; GL: Grau de Liberdade; QM: Quadrado médio; A: Anos (2015 e 2016); TP: Teste de Polinização; CV: Coeficiente de variação; ^{ns} - Não significativo pelo teste F; **, * – Significativo a 1% e 5% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

Tabela 2. Desdobramento da interação entre amostras de pólen e ano agrícola, referente às variáveis¹: matéria seca (MS), proteína bruta (PB) e carboidratos totais (CT) do pólen apícola e pólen armazenado, coletado pelas abelhas *A. mellifera* e *T. angustula* na cultura de canola. Entre Rios do Oeste, Paraná, Brasil

Amostras de pólen	Anos		Médias
	2014/2015	2015/2016	
	Matéria Seca (%)		
Pólen apícola - Alvado	69,8258 Ab	70,5296 Aa	70,1777
Pão de abelha - Gaiola de polinização: <i>A. mellifera</i>	74,6727 Aa	75,2604 Ba	74,9665
Saburá - Gaiola de polinização: <i>T. angustula</i>	75,4053 Aa	78,2583 Ba	76,8318
Médias	73,3013	74,6828	73,9920
	Proteína Bruta (%)		
Pólen apícola - Alvado	21,2567 Ba	22,8310 Aa	22,0438
Pão de abelha - Gaiola de polinização: <i>A. mellifera</i>	19,6530 Bb	20,7105 Ab	20,1817
Saburá - Gaiola de polinização: <i>T. angustula</i>	16,4327 Bc	17,7603 Ac	17,0965
Médias	19,1141	20,4339	19,7740
	Carboidratos Totais (%)		
Pólen apícola - Alvado	65,2405 Ac	63,3855 Bc	64,3130
Pão de abelha - Gaiola de polinização: <i>A. mellifera</i>	67,4891 Ab	66,6519 Bb	67,0705
Saburá - Gaiola de polinização: <i>T. angustula</i>	69,9936 Ba	71,1438 Aa	70,5687
Médias	67,5744	67,0604	67,3174

¹ Valores expressos em matéria seca; * Médias seguidas da mesma letra, minúsculas na coluna e maiúsculas na linha não diferem estatisticamente entre si, pelos testes de Tukey e F, respectivamente, ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 3. Valores médios* da matéria mineral (MM) e extrato etéreo (EE) de amostras de pólen apícola e pólen armazenado, coletado pelas abelhas *A. mellifera* e *T. angustula* na cultura de canola (Hyola 76) de acordo com as amostras de pólen e os anos avaliados. Entre Rios do Oeste, Paraná, Brasil

Amostras de pólen	MM¹ (%)	EE¹ (%)
Pólen apícola - Alvado	3,7969 b	9,8463 a
Pão de abelha – Gaiola de polinização: <i>A. mellifera</i>	4,3338 a	8,4139 b
Saburá - Gaiola de polinização: <i>T. angustula</i>	3,7105 b	8,6242 b
D.M.S.	0,3540	0,4640
CV (%)	6,9112	4,1156

* Médias seguidas de letras minúsculas diferentes na coluna, diferem estatisticamente entre si, pelo teste Tukey ($P < 0,05$); ¹ Valores expressos em matéria seca.

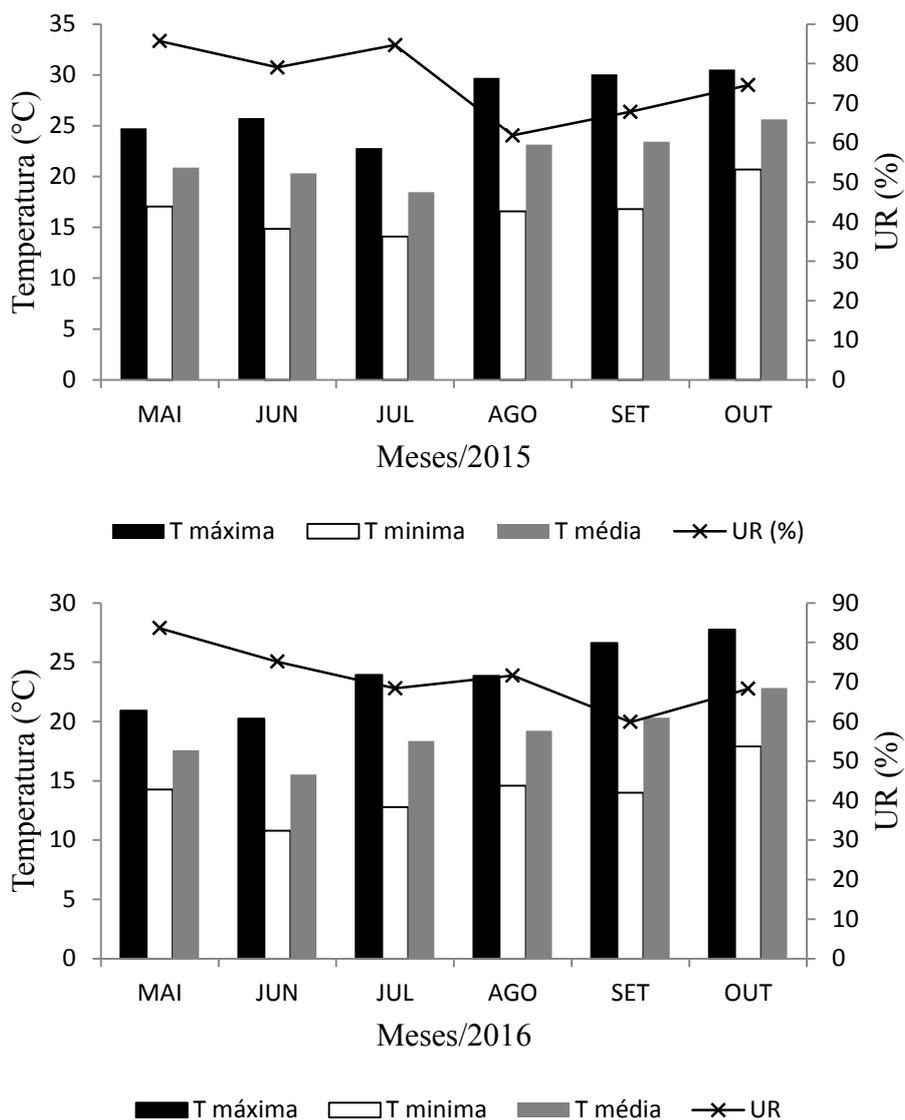


Figura 1 - Dados meteorológicos obtidos na estação climatológica da UNIOESTE, município de Entre Rios do Oeste, Paraná, Brasil, no período de maio a outubro dos anos de 2015 e 2016. Temperatura máxima, mínima e média (°C); UR (%) - Umidade Relativa.