

Polinização por *Apis mellifera* em soja transgênica [*Glycine max* (L.) Merrill] Roundup Ready™ cv. BRS 245 RR e convencional cv. BRS 133

Wainer César Chiari¹, Vagner de Alencar Arnaut de Toledo^{2*}, Clara Beatriz Hoffmann-Campo³, Maria Claudia Colla Rúvolo-Takasusuki⁴, Tiago Cleyton Simões de Oliveira Arnaut de Toledo² e Tais da Silva Lopes²

¹Programa de Pós-graduação em Zootecnia, Produção Animal, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, Paraná, Brasil.

²Departamento de Zootecnia, Universidade Estadual de Maringá, Av. Colombo, 5790, 87020-900, Maringá, Paraná, Brasil.

³Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Londrina, Paraná, Brasil. ⁴Departamento de Biologia Celular e Genética, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, Paraná, Brasil. *Autor para correspondência. E-mail: abelha.vagner@gmail.com

RESUMO. O objetivo deste estudo foi verificar a influência de *Apis mellifera* na produção de grãos e qualidade de sementes da soja transgênica *Glycine max* (L.) Merrill Roundup Ready™ e convencional. A soja transgênica foi plantada intercalada com a convencional, em 18 parcelas, em três tratamentos: gaiolas com abelhas *A. mellifera*, gaiolas sem abelhas e áreas descobertas, com livre visitação de insetos. Na soja transgênica, em três parcelas de cada tratamento, foi aplicado glifosato, 30 dias após a emergência. Os parâmetros analisados foram: produção de grãos; número de vagens por planta; peso de 100 sementes e porcentagem de germinação das sementes. Não houve diferença entre as cultivares, entretanto a produção de 2.757,40 kg ha⁻¹ obtida na área coberta por gaiola com abelhas, e 2.828,47 kg ha⁻¹ na área livre para visitação de insetos foram superiores a 2.000,53 kg ha⁻¹ da área coberta por gaiola sem abelhas. O número de vagens por planta foi maior na área coberta por gaiola com abelhas (38,28) e área livre (32,65), quando comparado com o da área coberta por gaiola sem abelhas (21,19). O peso médio de 100 sementes e a germinação das sementes não foram diferentes entre as cultivares e nem entre os tratamentos. Concluiu-se que, para as cultivares estudadas, houve benefício na produção de grãos de 37,84%, quando foi permitida a visita de abelhas.

Palavras-chave: soja transgênica, polinização, *Apis mellifera*, *Glycine max*, Roundup Ready™.

ABSTRACT. Pollination by *Apis mellifera* in transgenic soy (*Glycine max* (L.) Merrill) Roundup Ready™ cv. BRS 245 RR and conventional cv. BRS 133. This research was carried out to evaluate the influence of Africanized honeybees in grain production and seed quality of *Glycine max* (L.) Merrill Roundup Ready™ transgenic soy, as well as of conventional soy. Transgenic soy was interposed with conventional soybean, in 18 plots and three treatments: covered area with Africanized honeybees, covered area without honeybees, and uncovered area with free insect visitation. The herbicide Glyphosate was applied on three plots of each treatment of transgenic soy, 30 days after emergence. Grain production, number of pods/plant, weight per 100 seeds, and seed germination percentage were evaluated. There was no difference among cultivars; however, the production in the covered area with honeybees (2757.4 kg ha⁻¹) and in the uncovered area (2828.47 kg ha⁻¹) were higher than in the covered area without honeybees (2000.53 kg ha⁻¹). The number of pods/plant was greater than in the covered area with honeybees (38.28) and in the uncovered area (32.65) as compared to the covered area without honeybees (21.19). The weight per 100 seeds seed germination did not differ among cultivars or treatments. It can be concluded that, for these cultivars, there was a rise in grain production of 37.84% when honeybee visits were allowed.

Key words: Transgenic soybean, pollination, *Apis mellifera*, *Glycine max*, Roundup Ready™

Introdução

A polinização constitui-se, atualmente, em um fator de produção fundamental na condução de muitas culturas agrícolas em todo mundo. Além do

aumento no número de vagens ou frutos vingados, a polinização, bem conduzida, também contribui para aumento no número de grãos por vagem, melhora a qualidade dos frutos e diminui os índices de

malformação, aumenta o teor de óleos e outras substâncias extraídas dos frutos, encurta o ciclo de certas culturas agrícolas e, ainda, uniformiza o amadurecimento dos frutos, diminuindo as perdas na colheita (Free, 1993; McGregor, 1976; Williams *et al.*, 1991; Freitas, 1997; Nogueira-Couto, 1994 e 1998).

Dentre os vários agentes polinizadores, destacam-se os insetos, por ser abundante na natureza e ajustarem-se perfeitamente às diferentes estruturas florais (Free, 1993). Dentre os insetos conhecidos como polinizadores, destaca-se a *Apis mellifera* L., responsável por 80% da polinização entomófila (McGregor, 1976).

Moreti *et al.* (1998) estudaram o efeito da polinização em soja, no Centro de Apicultura Tropical, e observaram a elevada importância da polinização para a produtividade da cv. IAC 14; Chiari *et al.* (2005a) observaram aumento de 58,58% no número de vagens, 82,31% no número de sementes, 57,73% na produção de sementes e de 61,38% na quantidade de vagens, na cv. BRS 133, quando se compararam plantas com livre visitação de insetos em relação ao tratamento em que não foi permitida a polinização cruzada. Free (1993) observou que, em algumas cultivares, mais de 75% das flores não produziram sementes. O aborto das flores de soja pode atingir até 80%, dependendo da cultivar e das condições ambientais (Carlson, 1973). Chiari *et al.* (2005b), trabalhando com a cv. BRS 133, encontraram uma média de 53,31 e 82,90% de aborto nas flores para tratamentos em que abelhas *A. mellifera* estavam presentes e ausentes, respectivamente.

A produção de plantas transgênicas é uma realidade e tem sido liderada pelos Estados Unidos (68% da área plantada no mundo), seguida pela Argentina (22%), Canadá (6%) e China (3%), nos quais diferentes produtos têm sido aprovados e comercializados (James, 2001), inclusive a soja (Dros, 2004).

A maior parte da produção mundial de soja (88%) é processada em óleo e farelo, sendo o restante usado como semente ou processada em grãos integrais. A soja responde por 60% da demanda mundial de farelo rico em proteínas e fornece 25% do total de óleos comestíveis do mundo (Dros, 2004). Tradicionalmente, a soja é produzida em regiões temperadas e subtropicais, em todo o mundo, e, atualmente, está expandindo para regiões tropicais. Os EUA lideram a produção mundial com 35%, em segundo lugar vem o Brasil, com produção de 51 milhões de toneladas ou 27% da produção mundial na safra 2003/04. A Argentina participa com

17% e outros grandes produtores são a China e a Índia, com 9 e 2%, respectivamente (Dros, 2004).

O objetivo do presente estudo foi avaliar a influência da *A. mellifera* na produção e qualidade das sementes obtidas, em diferentes sistemas de polinização na cultura de soja geneticamente modificada (Roundup Read™ cv. BRS 245 RR) e convencional (cv. BRS-133).

Material e métodos

Este trabalho foi desenvolvido na estação experimental da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa Soja), localizada em Londrina, situada na região noroeste do Estado do Paraná. O plantio de soja, nas 18 áreas, foi realizado no dia 30 de outubro de 2003. A época de plantio, os tratos culturais, a condução da cultura e a colheita ocorreram nos períodos apropriados e todos os tratos seguiram as recomendações técnicas para a cultura de soja (Embrapa, 2002).

Foram estabelecidos três tratamentos: dois, em área coberta por gaiola de polinização com e sem abelhas, e uma área livre para visitação de insetos. Cada tratamento foi constituído de seis parcelas, com 24 m² cada uma, e, nesta área, o plantio da soja foi realizado em oito linhas intercaladas, em pares, com as cv. BRS 245 RR (transgênica - Roundup Read™) e BRS 133 (convencional), na soja transgênica de três parcelas de cada tratamento foi aplicado glifosato, 30 dias após a emergência. Nas áreas cobertas, foram instaladas gaiolas de polinização, conforme método descrito em Chiari (2005a e b).

Imediatamente antes da fase de inflorescência, as gaiolas foram montadas e, no interior de cada gaiola da área coberta por abelhas, foi colocada uma colônia de *A. mellifera* africanizada, instalada em colméia de cinco quadros, sendo três com cria e dois com alimento. Nas áreas cobertas sem abelhas, a gaiola impedia que insetos visitassem as flores da soja e, na área de livre visitação por insetos, a área foi apenas demarcada, permitindo a visita de insetos e de outros polinizadores.

A cultura da soja foi monitorada durante todo o período, com particular atenção durante o florescimento, que iniciou no dia 31 de dezembro de 2003 e estendeu-se até 28 de janeiro de 2004; as gaiolas foram desmontadas quando não havia mais flores.

A colheita dos grãos foi realizada em cada linha individualmente, sendo as extremidades descartadas, computando 12 m² de cada parcela. A produção foi obtida após a limpeza, classificação e pesagem dos grãos colhidos.

Foram realizadas amostragens aleatórias de cinco plantas de cada linha, em cada parcela, nos diferentes tratamentos para se obter a média do número de vagens por planta.

A avaliação do peso médio das sementes, em cada tratamento, foi feita por meio da pesagem de 100 sementes de cada linha de todas as parcelas, a fim de se obter uma média final.

O teste de germinação das sementes foi feito com amostras provenientes de cada linha das parcelas.

As análises estatísticas das variáveis foram realizadas no software Statistical Analysis System (SAS, 2004), sendo utilizado o seguinte modelo:

$$Y_{ijk} = \mu + B_i + T_j + C_k + (BT)_{ij} + (BC)_{ik} + (TC)_{jk} + e_{ijk}$$

em que:

Y_{ijk} = observação referente à variável do Bloco i , Tratamento j , Cultivar k ;

μ é o efeito da média geral;

B_i é o efeito do Bloco ($i = 1, 2 \dots 6$);

T_j é o efeito de tratamento (1, 2, 3);

C_k é o efeito da cultivar;

$(BT)_{ij}$ é a interação do Bloco i e Tratamento j ;

$(BC)_{ik}$ é a interação do Bloco i e Cultivar k ;

$(TC)_{jk}$ é a interação do Tratamento j e Cultivar k ;

e_{ijk} é o erro associado à observação ijk .

Utilizou-se o delineamento em blocos inteiramente casualizados e os dados foram submetidos à análise de variância. Para comparação das médias das variáveis, utilizou-se o teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade.

Resultados e discussão

A Tabela 1 apresenta as médias da produção de grãos, em kg ha^{-1} , com seus respectivos erros-padrão, nos diferentes tratamentos. Pode-se observar, nesta tabela, que ocorreu menor produção na área coberta por gaiola sem abelhas ($p = 0,0161$). A produção média, na área coberta por gaiola com abelhas, foi 37,84% maior que na coberta por gaiola sem abelhas. Na área livremente visitada por insetos, o aumento

da produção de sementes, em relação à área coberta por gaiola sem abelhas, foi de 41,39%, em média. A maior produção, na área livre à visitação por insetos em relação à área coberta por gaiola com abelhas, indica que além da *A. mellifera*, possivelmente, outros polinizadores atuaram no aumento da produtividade da soja, e este aumento foi de 2,57%.

A média de produção de vagens, por planta, não diferiu ($p > 0,05$) entre as áreas cobertas por gaiola com abelhas e de livre visitação para insetos (Tabela 1), porém estes valores foram superiores ($p = 0,0056$) aos obtidos na área coberta por gaiola sem abelhas. Houve aumento médio de 80,65% no número de vagens na área coberta por gaiola com abelhas em relação à coberta por gaiola sem abelhas. Com relação à área livre à visitação por insetos, o aumento foi de 54,08% em média, em comparação à área coberta por gaiola sem abelhas. Na avaliação do peso de 100 sementes e o teste de germinação não foi detectada nenhuma diferença ($p > 0,05$) entre os tratamentos. Não houve diferença ($p > 0,05$) nos parâmetros analisados, quando se comparou a cultivar transgênica e a convencional, indicando que estas respondem, de modo similar, na produtividade e viabilidade de sementes, com a presença ou não da *A. mellifera*.

A produtividade da soja transgênica, bem como da convencional, foi maior nas áreas em que foi permitida a visitação por insetos, contrariando alguns autores (Piper e Morse 1910; Woodhouse e Taylor, 1913; Milum, 1940; Rubis, 1970) que consideram a soja uma espécie autógama e não se beneficia da presença de polinizadores. Todavia, concordam com outros autores (Erickson, 1975 e 1984; Erickson *et al.*, 1978; Moreti *et al.*, 1998; Chiari *et al.*, 2005a). O aumento de 37,84% na produção de grãos na área coberta por gaiola com *A. mellifera*, demonstra que a polinização realizada por estes insetos foi eficiente para as cultivares estudadas. Na área livre à visitação de insetos, o aumento foi de 41,39%, indicando que, além das abelhas, outros insetos visitantes auxiliaram na produtividade da soja, concordando com os dados obtidos por Chiari *et al.* (2005a).

Tabela 1. Valores de F com a probabilidade (p), coeficiente de variação (CV%), médias e seus respectivos desvios-padrão da produção de grãos, número de vagens, peso de 100 sementes e porcentagem de germinação de sementes de soja cv. BRS 245 RR (transgênica - Roundup Read™) e BRS 133 (convencional), na estação experimental da Embrapa Soja, Londrina, Estado do Paraná.

Fonte de variação	Produção (kg ha^{-1})	Número de vagens planta ⁻¹	Peso de 100 sementes (g)	Germinação (%)
Cultivar	0,18 p= 0,6740	0,19 p= 0,6655	1,68 p= 0,1485	6,15 p= 0,1247
CV% Cultivar	34,16	18,69	6,16	10,54
Tratamento	3,60 p= 0,0161	3,68 p= 0,0056	1,68 p= 0,1485	1,40 p= 0,2522
CV% Tratamento	28,94	18,69	6,16	9,28
Soja transgênica	2467,12 a*(±834,16)	31,13 a*(±8,61)	9,41 a (±0,58)	73,51 a (±9,53)
Soja convencional	2590,49 a (±851,79)	30,29 a (±9,59)	8,66 a (±0,49)	80,21 a (±7,03)
Área coberta com abelhas	2757,47 a (±598,25)	38,28 a (±4,36)	9,18 a (±0,16)	81,44 a (±6,71)
Área coberta sem abelhas	2000,53 b (±1005,64)	21,19 b (±4,81)	8,78 a (±0,23)	74,63 a (±10,02)
Área livre	2828,47 a (±616,90)	32,65 b (±7,04)	9,15 a (±0,16)	74,52 a (±8,60)

*Médias seguidas de letras minúsculas diferentes, na mesma coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

O número médio de vagens por planta, nas áreas cobertas por gaiola com abelhas e livre à visitação por insetos, foi maior que na coberta por gaiola sem abelhas, e estes valores representam um aumento de 80,65% na área coberta por gaiola com abelhas, quando comparada com a área coberta por gaiola sem abelhas. Este aumento é maior do que os encontrados por Moreti *et al.* (1998) que observaram aumento de 58,58% com a cv. IAC 14 e por Chiari *et al.* (2005a) que obtiveram aumento de 61,38%, na cv. BRS 133.

O peso médio de 100 sementes foi semelhante entre os tratamentos, indicando que as áreas, que permitiram a polinização das flores por *A. mellifera* e outros insetos, não influenciaram no peso médio do grão.

Não houve diferença na porcentagem de germinação das sementes oriundas das áreas coberta por gaiola com abelhas, coberta por gaiola sem abelhas ou livre à visitação por insetos, indicando que esta variável não foi influenciado pela presença da *A. mellifera* nestas cultivares.

A similaridade entre as cultivares transgênica e convencional, em todos os parâmetros analisados, indica que o gene transgênico não interfere na produção de grãos e na viabilidade das sementes, nos tratamentos realizados.

Os resultados contraditórios e as discussões geradas, quando se trata de polinização na cultura da soja podem ser melhor entendidos se forem levadas em consideração as diferenças entre as cultivares e as condições ambientais nas quais são cultivadas.

É importante que os órgãos responsáveis pelo desenvolvimento de cultivares de soja realizem testes de polinização, a fim de informar aos produtores o potencial de ganho em produtividade com o uso de insetos polinizadores, e a *A. mellifera* é um bom indicador.

Conclusão

As cultivares de soja transgênica cv. BRS 245 RR e convencional cv. BRS 133 apresentaram um comportamento similar em relação à produtividade de grão e qualidade de sementes na presença e ausência de abelhas ou outros polinizadores. As abelhas africanizadas influenciaram positivamente na produtividade da soja, independente da cultivar e da aplicação do herbicida, cuja eficiência na polinização, comparada a outros insetos, foi de 97,43%. Estes resultados confirmam a indicação de que a polinização, em soja, pode ser um fator importante para o aumento da produção dependendo da cultivar, e uma atenção especial deve ser dada quanto à liberação de soja transgênica. A soja cv. BRS 245

RR foi polinizada eficientemente por abelhas africanizadas e outros insetos, fator que apresentou aumento na produção de grãos, entretanto, estes resultados não podem ser estendidos a outras cultivares. Por outro lado, a eficiência no processo de polinização de cultivares transgênicas é um aspecto preocupante, uma vez que a polinização cruzada possibilita o fluxo gênico entre exemplares transgênicos e convencionais.

Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela bolsa de estudos e auxílio financeiro concedidos. À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), pelo auxílio financeiro concedido para execução deste projeto.

Referências

- CARLSON, J.B. Morphology. In: CALDWELL, B.E. (Ed.). *Soybeans: improvement, production and uses*. Madison: American Society of Agronomy, 1973. p. 17-95.
- CHIARI, W.C. *et al.* Pollination of soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) by honeybees (*Apis mellifera* L.). *Braz. Arch. Biol. Technol.*, Curitiba, v. 48, n. 1, p. 31-36, 2005a.
- CHIARI, W.C. *et al.* Floral biology and behavior of Africanized honeybees *Apis mellifera* in soybean (*Glycine max* (L.) Merrill). *Braz. Arch. Biol. Technol.*, Curitiba, v. 48, n. 3, p. 367-378, 2005b.
- DROS, J.M. *Administrando os avanços da produção de soja: dois cenários da expansão do cultivo de soja na América do Sul*. [Sl.: s.n.], 2004. Disponível em: <http://www.panda.org/downloads/forests/managingthesoyboomportuguese_d7mr.pdf>. Acesso em: 20 jun. 2005.
- EMBRAPA-Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. *Tecnologia de produção de soja: Paraná - 2003*. [Sl: s.n.], 2002. Disponível em: <http://www.cnpso.embrapa.br/download/recomendacoes_parana.pdf>. Acesso em: 2 ago. 2004.
- ERICKSON, E.H. Effect of honey bees on yield of three soybean cultivars. *Crop Sci.*, Madison, v. 15, n. 1, p. 84-86, 1975.
- ERICKSON, E.H. Soybean pollination and honey production: a research progress report. *Am. Bee J.*, Hamilton, v. 124, p. 775-779, 1984.
- ERICKSON, E.H. *et al.* Honey bee pollination increases soybean yields in the Mississippi Delta region of Arkansas and Missouri. *J. Econ. Entom.*, Lanham, v. 71, p. 601-603, 1978.
- FREE, J.B. *Insect pollination of crops*. London: Academic Press, 1993.
- FREITAS, B.M. Changes with time in the germinability of cashew (*Anacardium occidentale*) pollen grains found on different body areas of its pollinator bees. *Rev. Bras. Biol.*, São Carlos, v. 57, n. 2, p. 289-294, 1997.
- JAMES, C.A. *Global review of commercialized transgenic crops:*

2001. Ithaca: International Service for the Acquisition of Agri-biotech Applications, 2001. Disponível em: <http://www.isaaa.org/publications/briefs/Brief_24.htm>. Acesso em: 22 set. 2003.
- McGREGOR, S.E. *Insect pollination of cultivated crop plants*. Washington, D.C.: USDA, 1976. (Agriculture handbook, 496).
- MILUM, V.G. Bees and soybeans. *Am. Bee J.*, Hamilton, v. 80, p. 22, 1940.
- MORETI, A.C.C.C. *et al.* Observações sobre a polinização entomófila da cultura da soja (*Glycine max* (L.) Merrill). *B. Industr. Animal*, Nova Odessa, v. 55, n. 1, p. 91-94, 1998.
- NOGUEIRA-COUTO, R.H. Polinização com abelhas africanizadas. *In: ENCONTRO SOBRE ABELHAS*, 1., 1994, Ribeirão Preto. *Anais...* Ribeirão Preto: Faculdade de Filosofia Ciências e Letras, 1994. p. 101-117.
- NOGUEIRA-COUTO, R.H. Manejo das colméias de abelhas africanizadas para polinização. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE APICULTURA*, 12., 1998, Salvador. *Anais...* Salvador: Confederação Brasileira de Apicultura, 1998. p. 129-134.
- PIPER, C.V.; MORSE, W.J. The soybean: history, varieties and field studies. *USDA Plant Ind. Bull.*, Urbana, v. 197, p. 1-84, 1910.
- RUBIS, D.D. Breeding insect pollinated crops. *Ark. Agric. Ext. Serv.*, Little Rock, v. 127, p. 19-24, 1970.
- SAS-Statistic Analysis System. *User's guide: statistics: version 8.0*. 13rd ed. Cary: SAS Inst., 2004.
- WILLIAMS, I.H. *et al.* Beekeeping, wild bees and pollination in the European community. *Bee World*, Cardiff, v. 72, p. 170-180, 1991.
- WOODHAUSE, E.J.; TAYLOR, C.S. The varieties of soybeans found in Bengal, Bihar and Orissa and their commercial possibilities. *Mem. Dep. Agric. India, Bot. Ser.*, Calcutta, v. 5, p. 103-175, 1913.

Received on August 25, 2006.

Accepted on June 25, 2007.