



Escape Gênico e Impacto Ambiental

Foto cedida pelos autores

O caso do milho no Brasil

Aluizio Borém

Eng. Agrônomo, M.S., Ph.D., Professor da
Universidade Federal de Viçosa
borem@ufv.br

Magno Antônio Patto Ramalho

Eng. Agrônomo, M.S., D.S., Professor da
Universidade Federal de Lavras.
magnoapr@ufla.br

A transformação gênica tem potencial para melhorar a produtividade, resistência, qualidade nutricional e outras características das plantas cultivadas. As técnicas moleculares utilizadas na transformação gênica consistem basicamente na introdução e integração de pequenos fragmentos de DNA isolados e clonados a partir de genes de outros organismos, no genoma da espécie receptora.

emprego de cultivares transgênicos é o fluxo gênico, isto é, a passagem do gene para outras cultivares da mesma espécie ou para algum parente silvestre e até mesmo para espécies não aparentadas. A passagem para parentes silvestres tem recebido maior atenção, porque segundo alguns ambientalistas este fato poderia mudar as propriedades genéticas das espécies nativas, com reflexo na biodiversidade.

É preciso desde logo, comentar que o fluxo gênico nada mais é que



um processo migratório de alelos que é encontrado nos compêndios de genética de populações. Como se sabe, o efeito da migração entre populações da mesma espécie depende da proporção de indivíduos migrantes e da diferença nas frequências do alelo nas duas populações (Falconer e Mackay, 1996). No caso dos transgênicos, como a população receptoras não possui ainda o gene, não é como a transfe-

Apesar dos benefícios evidentes das cultivares geneticamente modificadas, a preocupação de que estas possam apresentar algum impacto negativo ao meio ambiente, como o escape dos transgenes, tem sido alvo de estudos por pesquisadores em diversas instituições.

Um dos argumentos contra o

rência de alelos que normalmente ocorre entre populações. Contudo, ela pode ser tratada do mesmo modo. Deve ser salientado também que genes uma vez introduzidos no parente silvestre, poderá por meio da recombinação, ser disseminado. É evidente que a seleção natural, irá atuar e, assim ele só perma-

Tabela 1: Porcentagem de pólen acumulada provenientes de diferentes distâncias em sete campos de milho B¹ em Ontário.

Campo	Porcentagem de pólen acumulada nas distâncias					
	0 m	1 m	10 m	25 m	50 m	100 m
1	46	75	91	97	99	100
2	43	70	88	94	96	100
3	46	73	88	95	96	100
4	47	81	92	96	98	100
5	35	69	88	93	98	100
6	41	76	90	97	98	100
7	38	72	84	96	98	100
Média	43	74	89	95	98	100

Fonte: Eastham e Sweet, 2002

necerá na população se conferir alguma vantagem seletiva. Em realidade o fluxo gênico entre espécies relacionadas, que sobrevivem em um mesmo ambiente por milhares de anos, deve ocorrer com frequência e mesmo assim podem permanecer com suas propriedades genéticas particulares. Como esse assunto tem sido muito comentado na atualidade, é importante que alguns aspectos do fluxo gênico sejam discutidos e quando necessário adotar medidas para atenuar o seu efeito. O fluxo gênico pode ocorrer por meio de semente ou por dispersão de pólen. Nessa publicação a ênfase será a discussão do pólen como veículo do fluxo gênico. É também necessário salientar que o fluxo gênico pode ser vertical, quando envolve cultivares e/ou populações da mesma espécie, ou horizontal, quando envolve a hibridação entre espécies diferentes, aparentadas ou não. Nesse aspecto é preciso ressaltar que embora o termo híbrido seja utilizado em diferentes conotações, sob ponto de vista, de genética de populações, ele é utilizado quando envolve o cruzamento entre espécies. Já a expressão recombinação é restrita para os cruzamentos entre

populações de mesma espécie (fluxo gênico vertical).

Considerando o conceito de espécie (Ramalho et al., 2001) não é esperado que ocorram hibridações. Contudo, em casos esporádicos, com a interferência do homem ou não, ela pode ocorrer. Foi esse fenômeno que deu origem a um grande número de novas espécies, entre elas o trigo cultivado *Triticum aestivum* L., o algodão *Gossypium hirsutum* e várias outras. É importante salientar, que esses casos ocorreram a milhares de anos e em realidade o fluxo gênico envolveu o genoma inteiro, e não apenas alelos ou genes.

Fatores que Afetam a Dispersão de Pólen e Conseqüentemente a Taxa de Fluxo Gênico

Tipos de espécie. As espécies cultivadas diferem na taxa de fecundação cruzada. Inclusive são classificadas em autógamas—quando há predominância de autofecundação e, alógamas, quando há predominância de fecundação cruzada, além das intermediárias. Como espécies autógamas típicas pode-se citar, a soja, trigo, feijão, alface cuja frequência de fecunda-

ção cruzada é inferior a 5%. Como alógamas tem-se o milho, girassol, cebola e eucalipto, entre outras, a fecundação cruzada é alta, normalmente acima de 90%. Já nas espécies intermediárias como o algodão, a taxa de autofecundação é superior a 5% das alógamas, mas inferior aos 95% das autógamas.

Diferença entre cultivares da mesma espécie. Há diferença entre os cultivares com relação à cor e tamanho das flores, atraindo mais ou menos polinizadores, e a produção de pólen, os quais afetam a taxa de fecundação cruzada. No milho, por exemplo, há grande diferença no tamanho do pendão entre cultivares e por conseqüente na produção de pólen.

A taxa de fecundação cruzada entre espécies ou entre cultivares da mesma espécie depende da produção e dispersão de pólen (Raybould e Gray 1993). Modelos matemáticos têm sido utilizados para simular os padrões de dispersão de pólen em milho e outras espécies.

O Caso do Milho

Para se entender o fluxo gênico é necessário conhecer informações

sobre a biologia floral da espécie. O milho é uma gramínea monóica, isto é, tem órgão masculino (pendão) e feminino (espiga) separados, porém na mesma planta. A inflorescência masculina (pendão) se localiza na parte terminal do colmo, enquanto as inflorescências femininas (espigas) se localizam nas axilas foliares. A quantidade de pólen produzida é muito acima da necessidade da planta. Há estimativas que para cada óvulo que se desenvolve em um grão, a planta produza de 9.000 a 50.000 grãos de pólen (Weatherwax, 1955). Depende-se então que se for considerado uma espiga que tenha em média 500 grãos, tem-se cerca de 4,5 a 25 milhões de grãos de pólen por planta (Eastham e Sweet, 2002).

A duração da antese varia entre as cultivares, porém de um modo geral ela ocorre, em geral, durante 5 a 8 dias. A longevidade do pólen é variável com as condições ambientais, dependendo especialmente da temperatura e umidade relativa do ar. Há relatos de viabilidade após 24 horas até alguns dias (Emberlin, 1999). Contudo, Luna et al. (2001) obtiveram dados que nas condições de San Jose Del Valle, no México, não ultrapassou duas horas. O conhecimento da longevidade do pólen é fundamental para se acessar o fluxo gênico.

O grão de pólen de milho é, relativamente, muito grande, em média com 90 a 125 μm , e o principal veículo de polinização é o vento. Estudos teóricos apontam que pelo vento ele pode ser levado até alguns quilômetros. Contudo, há inúmeros relatos que apontam que a dispersão do pólen se concentra a poucos metros da fonte. A tabela 9, mostra a dispersão do pólen em experimentos conduzidos em Ontário, utilizando como marcador genético o gene B¹, em sete campos diferentes (Sears e Stanley-Horn, 2000). Observa-se que mais de 96% do pólen em todos os campos, situou-se a 25 m da fonte de pólen.

Em função de resultados como este, tem sido proposto o isolamento em campos de produção de sementes de 200 m para se ter 99,9% de pureza (Ingram, 2000 e Luna et al., 2001).

Associando o isolamento espacial de 200 a 300 m, com o temporal, isto é, intervalo na semeadura superior a 30 dias, a chance de ocorrer fluxo gênico vertical, por meio do pólen é nula.

Fluxo gênico horizontal para parentes silvestres por meio do pólen

Os parentes silvestres mais próximos do gênero *Zea*, pertencem ao gênero *Tripsacum*, os quais não se cruzam com o milho. As espécies sexualmente compatíveis com o milho possuem distribuição geográfica restrita ao México e Guatemala e não há relatos de outros parentes sexualmente compatíveis com o milho no Brasil. Portanto, por meios convencionais não é esperado a ocorrência do fluxo gênico horizontal envolvendo o milho no Brasil.

Literatura Consultada

Bateman, A. J. 1947. Contamination in seed crops - I. Insect pollination. *J. Genet.* 48: 257-275.

Borém, A. Escape gênico e transgênicos. Rio Branco: Editora Suprema. 204 p.

Borém, A. Melhoramento de plantas. Viçosa: Editora UFV. 3ª edição 500 p.

Brubaker, C.L; Brown, A.H.D; Stewart, J.M; Kilby, M.J; e Grace, J.P. 1999. Production of fertile hybrid germplasm with diploid Australian *Gossypium* species for cotton improvement. *Euphytica* 108: 199-213.

Burrows, P. 1999. Deliberate release of genetically modified organisms: the UK regulatory framework. In: Gene flow and

agriculture: relevance for transgenic crops. Proceedings of a symposium held at Keele, UK 13-21pp. BCPC Symposium Proceedings No.72. British Crop Protection Council; Farnham; UK.

Carvalho, N.F.; Frendo, P. Montagu, M.; e Cornelissen, M. 1995. Post-transcriptional cosuppression of β -1, 3-glucanase genes does not affect accumulation of transgene nuclear mRNA. *The Plant Cell* 7: 347-358.

Department of the Environment. 1994. Genetically modified crops and their wild relatives - A UK perspective. Research Report No. 1.

Doebley, J.; Stec, A. ; Wendel, J. e Edwards, M. 1990. Genetic and morphological analysis of a maize-teosinto F₂ population: implications for the origin of maize. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 87: 9888-9892.

Eastham, K e Sweet, J. 2002. Genetically modified organisms (GMOs): The significance of gene flow through pollen transfer. European Environment Agency. Copenhagen, Germany.

Emberlin, J., Adams-Groom, B. e Tidmarsh, J. 1999. The dispersal of maize (*Zea mays*) pollen. A report commissioned by the Soil Association: National Pollen Research Unit, University College Woecester, UK.

Falconer, D. S., Mackay, T. F. C. 1998. Introduction to quantitative genetics. 4 ed. Edinburgh: Longman Group. 464 p.

Gabriel, W. 1993. Technologically modified genes in natural populations: some skeptical remarks on risk assessment from the view of population genetics. In: Wohrmann, K. e Tomiuk, J. (eds): *Transgenic Organisms: Risk Assessment of Deliberate Release*. Basel: Birkhause Verlag. pp. 109-116.

Gliddon, C.; Boudry, P.; e Walker, D.S. 1990. Gene flow - a review

- of experimental evidence. In: Gray, A.J.; Amijes, F. e Gliddon, C.J. (eds.). Environmental impact of genetically modified crops. Genetically Modified Organisms Research Report 10-pp 67-81. Londres:DETR.
- Gliddon, C.J. 1999. Gene flow and risk assessment. In: Gene flow and agriculture: relevance for transgenic crops. Proceedings of a symposium held at Keele, UK 49-56pp. BCPC Symposium Proceedings No.72; British Crop Protection Council.
- Govidaraju, D. R. 1988. Relationship between dispersal ability and levels of gene flow in plants. *Oikos* 52: 31-35
- Greef, W. 1999. A long term perspective on Ag-biotech. In: Gene flow and agriculture: relevance for transgenic crops. Proceedings of a symposium held at Keele, 33-37pp. BCPC Symposium Proceedings No.72. British Crop Protection Council.
- Haldane, J.B.S. 1948. The theory of a cline. *Journal of Genetics* 48: 277-284.
- Hersensen, J. G. T. 1992. Introductory considerations on distant hybridization. In: Kallou, G. e Chowdhury, J. B. (eds.): Distant hybridization of crop plants. Berlin: Springer Verlag pp. 1-14.
- Ingram, J. 2000. Report on the separation distances required to ensure cross-pollinations is below specified limits in non-seed crops of sugar beet, maize and oilseed rape. MAFF Project No 0123. (Citacao retirada do trabalho de Estham e Sweet, 2002).
- Jones, M. D. e Brooks, J. S. 1950. Effectiveness of distance and border rows in preventing outcrossing in corn. Oklahoma Agricultural Experimental Station, *Technical Bulletin* No. T-38.
- Kareiva, P.; Morris, W. e Jacobi, C. M. 1994. Studying and managing the risk of cross-fertilization between transgenic crops and wild relatives. *Molecular Ecology* 3: 15-21.
- Lavigne, C.; Godelle, B.; Reboud, X. e Gonyon, P.H. 1996. A method to determine the mean pollen dispersal of individual plants growing within a large pollen source. *Theoretical and Applied Genetics* 93: 1319-1326.
- Levin, D.A. e Kerster, H. 1974. Gene flow in seed plants. *Evolutionary Biology* 7: 139-220.
- Loop, C.B.; Buttel, F.H.; Hoban, T.J.; Gould, F.; Beachy, R.N.; Bendahmane, M.; Nickson, T.E.; McKee, M.J.; Ho, M.W.; Matten, S.R.; Robinson, M; e Hardy, R.W.F. 1998. Agricultural biotechnology and environmental quality: gene escape and pest resistance. In: Segelken J.B. (ed.); NABC-Report. No. 10, 165 pp. National Agricultural Biotechnology Council Press.
- Luna, V. et al. 2001. Maize pollen longevity and distance isolation requirements for effective pollen control. *Crop Science*, Madison, v. 41, n. 5, p. 1551-1557.
- Paterniani, E. 1999. Melhoramento do milho. In: Borém, A.(ed.) Melhoramento de espécies cultivadas. Viçosa: Editora UFV. 817 p.
- Paterniani, E. e Goodman, M.M. 1977. Races of maize in Brazil and adjacent areas. International Maize and Wheat Improvement Center. Mexico, DF. CYMMIT.
- Paterniani, E. e Stort, A. C. 1974. Effective maize pollen dispersal in the field. *Euphytica* 23: 129-134.
- Ramallo, M. A. P.; Santos, J. B.; Pinto, C. A. B. P. *Genética na agropecuária*. 2.ed. Lavras: UFLA, 2001. 472 p.
- Raybould, A. F. e Gray, A. J. 1993. Genetically modified crops e hybridization with wild relatives: A UK perspective. *Journal of Applied Ecology* 30: 199-219.
- Regal, P.J. 1994. Scientific principles for ecologically based risk assessment of transgenic organisms. *Mol. Eco.* 3:5-13.
- Sage, G.C.M. 1999. The role of DNA technologies in crop breeding. In: Gene flow and agriculture: relevance for transgenic crops. Proceedings of a symposium held at Keele, 23-31pp. BCPC Symposium Proceedings No.72. British Crop Protection Council.
- Salamov, A. B. (1940) About isolation in corn. *Sel. I. Sem.*, 3. (Russian translation by Michael Afanasiev in 1949).
- Sears, M. K. e Stanley-Horn, D. 2000. Impact of *Bt* corn pollen on monarch butterfly populations. In: Fairbairn, C., Scoles, G. e McHughen, A. (Eds.) Proceedings of the 6th International Symposium on The Biosafety of Genetically Modified Organisms. University Extension Press, Canada.
- Treu, R. e Emberlin, J. 2000. Pollen dispersal in the crops maize (*Zea mays*), oil seed rape (*Brassica napus ssp. oleifera*), potatoes (*Solanum tuberosum*), sugar beet (*Beta vulgaris ssp. vulgaris*) and wheat (*Triticum aestivum*). *Soil Association*: 2:144-149.
- Tufto, J.; Engen, S. e Hindar, K. 1997. Stochastic dispersal process in plant population. *Theoretical and Applied Genetics* 28: 114-138.
- Weatherwax, P. 1955. Structure and development of reproductive organs. In: Sprague, G. F. (ed.), *Corn and corn improvement*, Chap. III: 89-121. Academic Press, New York.
- Wilkes, H. G. 1977. Hybridization of maize and teosinte, in Mexico and Guatemala e the improvement of maize. *Economic Botany* 31: 254-293.
- Wohrmann, K.; Tomiuk, J.; Pollex, C. e Grimm, A. 1993. Evolutionsbiologische Risiken bei Freisetzungen genetisch veränderter Organismen in die Umwelt. Berlin: Bundesminister für Umwelt. 183p.
- Wright, S. 1943. Isolation by distance. *Genetics* 28: 114-138. ♣