

BIOLOGIA E EVOLUÇÃO DE PLANTAS DANINHAS RESISTENTES A

Pitelli, Robinson Antonio¹

RESUMO

Neste capítulo será abordada a importância biológica das plantas que invadem espontaneamente as áreas de atividade humana. São plantas pioneiras que tiveram continuidade de habitat adequado à suas colonizações e passaram a conviver com o homem. As plantas pioneiras que desenvolveram características que lhes habilitaram perpetuar suas populações em áreas de intenso distúrbio, passaram a conviver com o homem em suas atividades agrícolas, pecuárias e áreas urbanizadas e receberam o conceito de plantas daninhas; pois em muitas ocasiões e circunstâncias em indesejadas pelas interferências que promoviam. Os herbicidas são abordados como fatores ecológicos não periódicos quando da introdução de um novo modo de ação. No entanto, quando ocorre a aplicação repetida de herbicidas do mesmo modo de ação, as populações de plantas daninhas desenvolvem um rápido processo de evolução adaptativa e passam a responder a este herbicida como fazem para um fator periódico secundário. Quando este processo ocorre, o impacto de controle do herbicida sobre a espécie susceptível deixa de ser satisfatório e esta população selecionada é denominada de população resistente. Neste processo de aquisição de resistência é importante que a planta daninha tenha boa diversidade genética e a presença de biotipos tolerantes para que a pressão do herbicida possa exercer sua ação de seleção a cada geração da população. Para que ocorra a seleção natural e a fixação do caráter de tolerância na maioria da população são fundamentais que hajam dificuldades de fluxo gênico com os biotipos susceptíveis, em um processo de isolamento reprodutivo parcial. A rotação de culturas ou de herbicidas com diferentes modos de ação pode romper parcialmente este isolamento reprodutivo no tempo e o mosaico de culturas, de herbicidas ou de técnicas de controle de plantas daninhas, pode romper este isolamento no espaço, sendo recomendados no manejo da resistência.

Palavras chave: evolução adaptativa, fator ecológico, isolamento reprodutivo, resistência, seleção natural, susceptibilidade, tolerância

ABSTRACT

Biology and Evolution of Weeds Herbicide Resistant

In this chapter it will be discussed the biological importance of plants that colonize spontaneously areas of human activity. They are pioneer plants that were continuously submitted to habitats suitable for their colonization and went to cohabit with man. These plants have developed features that enable them to perpetuate their populations in areas of intense disturbance, cohabiting with the man in their agricultural activities, livestock and urban areas. These plants received the anthropocentric concept of weeds, once at many occasions and circumstances they promoted undesired interference in human interests. Herbicides are considered as non-periodic ecological factors when a new mode of action is introduced. However, when there is a repeated application of these herbicides, the weed populations develop a rapid process of adaptive evolution and begin to respond to this product as they do for a regular secondary ecological factor. When this process occurs, the impact of these herbicides on susceptible species control is no longer satisfactory, and this selected population is called resistant population. In the process of acquisition of resistance is important that the weed has suitable genetic diversity and the presence of tolerant biotypes. So, herbicide selection pressure may exert its action in each generation of the population. For the natural selection occurrence and the fixation of the feature of the tolerance in the majority of the population are fundamental difficulties to gene flow with susceptible biotypes, in a process of partial reproductive isolation. Crop rotation or rotation of herbicides with different modes of action may partially break this reproductive isolation in time and the mosaic of cultures, herbicides or techniques of weed control could break this isolation in space, being recommended in resistance management.

Key words: adaptive evolution, ecological factor, natural selection, reproductive isolation, resistance, susceptibility, tolerance

¹Unesp Jaboticabal, Ecosafe Ltda.

INTRODUÇÃO

As plantas daninhas são vegetais adaptados para viver em associação com o homem, suas plantas cultivadas, seus animais domesticados e ambientes urbanizados, como cidades, áreas industriais, ferrovias, rodovias e outras. Desde o início da agricultura e da pecuária, as plantas que infestavam espontaneamente as áreas de ocupação humana e que não eram utilizadas como alimentos, fibras ou forragem eram consideradas indesejáveis. Estas plantas, em termos de nomenclatura botânica, são consideradas plantas pioneiras, ou seja, plantas evolutivamente adaptadas para ocupação de áreas onde, por algum motivo, a vegetação original foi profundamente alterada, oferecendo alta disponibilidade habitat para o crescimento vegetal. Estas plantas espontâneas, por sua vez, têm a função de criar habitats adequados para o início de uma sucessão ecológica que culmina no restabelecimento da vegetação original.

Nem sempre as plantas daninhas são o resultado da destruição da vegetação nativa. Algumas espécies podem desenvolver extensas e densas colonizações por alteração da qualidade do habitat e causar danos ao ambiente ou às atividades humanas. Um exemplo é o favorecimento de poucas espécies em áreas submetidas à poluição atmosférica ou de plantas aquáticas em corpos hídricos eutrofizados ou assoreados. As plantas exóticas podem invadir áreas nativas intactas e substituir a vegetação local causando grande desequilíbrio na fitossociologia regional, com sérias consequências sobre a fauna e, também, nas atividades humanas.

Com o desenvolvimento da população humana, as áreas antrópicas cresceram e houve grande continuidade entre elas, o que permitiu a expansão geográfica e a evolução das plantas pioneiras, a agregação de novas espécies ao grupo, a hibridação interespecífica e a especiação de novas unidades taxionômicas. Desta maneira, as comunidades de plantas espontâneas foram se tornando cada vez mais densas, diversificadas e especializadas na ocupação de agroecossistemas e outros ambientes antrópicos, passando a

interferir expressivamente nas atividades do homem, recebendo o conceito de plantas daninhas.

A expressão planta daninha não faz qualquer referência a alguma função biológica conhecida. As plantas que causam danos às atividades humanas, à saúde do homem e ao meio ambiente quando se manifestam fora de sua área original de distribuição geográfica ou em tamanho populacional acima da capacidade suporte do ambiente, recebem várias denominações compatíveis com sua função biológica ou condição, como planta parasita, planta pioneira, planta exótica invasora entre outras.

De qualquer maneira, todas estas plantas tem um caráter comum que é o fato de não serem desejadas no local ou na densidade em que se apresentam. Estas são indesejadas em virtude dos problemas que promovem na produção agrícola, nos custos da produção e do produto a ser comercializado, na manutenção da integridade de reservas ambientais, no aumento de riscos com acidentes em rodovias, ferrovias e hidrovias, dentre outras interferências importantes. Desta indesejabilidade pelo homem emergiu o conceito de planta daninha. É um conceito artificial decorrente de uma tendência antropocêntrica.

O CONCEITO DE FATOR ECOLÓGICO

Fator ecológico é todo e qualquer fator meio que atue diretamente sobre uma determinada população, ao menos durante uma fase de seu ciclo de desenvolvimento, alterando as taxas de natalidade, mortalidade e influenciando o crescimento dos indivíduos e sua competitividade no ambiente. Estes fatores são considerados pressões ambientais seletivas para a evolução das populações.

Estes fatores podem ser periódicos e não periódicos. Os períodos são aqueles decorrentes diretos e indiretos dos movimentos de rotação e translação da terra e, por isso, têm ciclo regular. Alguns fatores são consequências diretas destes movimentos do globo terrestre e sua periodicidade é bastan-

te regular, previsível e não foi alterada pelo aparecimento e evolução da vida na terra. Estes são chamados fatores periódicos primários e determinam as grandes áreas de distribuição geográfica das espécies no globo. Dentre estas fatores podem ser citados, como exemplos, o ritmo dia-noite com as variações do foto-período, o ritmo das marés e as estações do ano. Todos os organismos estão extremamente adaptados a estes fatores, pois a vida e todas as espécies surgiram e evoluíram na presença destes fatores e de suas variações regulares e constantes.

Outros fatores periódicos estão relacionados à variação dos primários, mas suas manifestações e intensidades foram variando de acordo com o aparecimento e evolução da vida na terra. São os fatores periódicos secundários. O desenvolvimento da biota se deu de forma irregular também promovendo irregularidade nas variações espaciais e temporais destes fatores secundários. Em virtude deste fato, estes fatores, embora periódicos, mas não são tão regulares como os primários e são responsáveis pelas variações temporais e sazonais das ocorrências e densidades das populações dentro das áreas de distribuição das espécies. São exemplos destes fatores, o ritmo anual e regional da temperatura do ar, do solo e da água, o ritmo das precipitações pluviométricas, o ritmo das disponibilidades de forragem para as variadas guildas tróficas e outras. Os organismos também desenvolveram adaptações evolutivas para estes fatores e apresentam algumas variações regionais e formação de biotipos.

Os fatores não periódicos são aqueles que normalmente não existem no habitat de uma determinada população e quando ocorrem seus efeitos podem ser muito fortes, às vezes catastróficos, pela falta adaptação dos organismos a este fator devido seu caráter fortuito. Como exemplos podem ser citados, um incêndio em floresta tropical pluvial, a incidência inicial de predador ou parasita exótico. No entanto, quando os fatores não periódicos passam a ser repetidos com frequência e regularidade, há a oportunidade de evolução adaptativa da população atingida, em consequência da sobrevivência

e reprodução dos indivíduos que toleraram o impacto desta nova pressão seletiva no meio. Com a repetição deste fator, as gerações sucessivas continuam reproduzindo e há a seleção dos indivíduos mais adaptados, aprimorando a sobrevivência no local e novamente promovendo aumento da densidade populacional.

Este processo ocorreu na evolução da vegetação que atualmente colonizam espontaneamente os agroecossistemas e recebem o conceito antropocêntrico de plantas daninhas.

A EVOLUÇÃO ADAPTATIVA DAS PLANTAS DANINHAS

Nem toda planta pioneira tem características ecofisiológicas suficientes para perpetuar suas populações em áreas de atividade humana e tornarem plantas daninhas. De acordo com Harper (1977), uma planta de colonizar ambientes sujeitos a perturbações frequentes deverá apresentar a combinação de muitas das seguintes características: (i) elevada produção de propágulos em uma vasta gama de condições ambientais, (ii) propágulos dotados de adaptações embutidos para disseminação em curtas e longas distâncias, (iii) propágulos com diversos e complexos mecanismos de dormência, (iv) estruturas reprodutivas com elevada longevidade, (v) desuniformidade no processo de germinação ou brotação dos propágulos, (vi) capacidade de germinar em muitos ambientes; (vii) produção contínua de propágulos pelo maior período que as condições o permitam, (viii) desuniformidade nos processos de floração, frutificação, brotação de gemas em tubérculos, bulbos ou rizomas, (ix) rápido crescimento vegetativo e floração; (x) produção de estruturas reprodutivas alternativas (xi) plantas auto compatíveis plantas, mas não completamente autógamas ou apomíticas, (xii) quando de polinização cruzada, os agentes polinizadores não são específicos ou é o vento, (xiii) capacidade de usar processos especiais de competição para a sobrevivência como alelopatia e hábito trepador, (xiv) se perene, vigorosa reprodução vegetativa, regeneração de frag-

mentos ou fragilidade na região do colo, de modo que não possam ser arrancadas completamente para fora do chão. Muitas plantas não conseguiram aprimorar algumas destas características sobrevivem sofrivelmente em áreas alteradas, mas com muito baixa intensidade de atividade antrópica.

No início da agricultura moderna, com os primórdios da mecanização, os processos de aração e gradagem do solo exerciam pressões seletivas inéditas sobre as plantas daninhas e tinham grande impacto sobre as densidades populacionais. A inversão da camada superficial do solo proporcionava elevada mortalidade dos diásporos enterrados. Com a aplicação sucessiva destas práticas foi ocorrendo seleção de indivíduos que apresentavam resistência aos predadores e parasitas do solo, complexos e variados mecanismos de dormência, capacidade de germinação com menores variações de temperatura e de emergência a partir de maiores profundidades no solo, entre outros. Também ocorreu uma uniformização dos propágulos na camada arável do solo, de modo que, o preparo do solo apenas os movia entre camadas, mantendo o potencial de infestação. Desta maneira, com o tempo de plantio convencional, o impacto do preparo do solo sobre as populações de plantas daninhas decresceu consideravelmente. Assim, na linguagem atual, poder-se-ia referir esta alteração de comportamento como aquisição de resistência das plantas ao preparo do solo?

É interessante ressaltar que algumas espécies não conseguiram desenvolver os mecanismos adaptativos que lhes conferissem êxito em lavouras conduzidas neste sistema, desaparecendo o mantendo pequenas populações, sendo consideradas plantas daninhas de importância secundária.

De maneira geral, no sistema de plantio convencional o ambiente para as plantas daninhas é caracterizado por elevado distúrbio do solo e, por algum tempo, exposição direta do solo ao sol, sem qualquer cobertura.

Com a adoção do sistema de semeadura direta na palha começou ocorrer processo inverso de evolução adaptativa das plantas daninhas, pois as pressões seletivas inéditas

passaram a ser a cobertura morta do solo e a utilização de herbicidas de manejo. Também a rotação e sequência de culturas passaram a ser praticadas com maior frequência. Este novo sistema de plantio provocou grande impacto sobre a flora mais adaptada ao sistema convencional e abriu oportunidade para espécies que não haviam se adaptado ao plantio convencional pudesse voltar a aumentar suas populações em agroecossistemas.

Atualmente há inúmeras plantas daninhas mais comuns do plantio convencional que já desenvolveram características que as permitem colonizar o plantio-direto. Estas últimas seriam plantas que são resistentes ao plantio-direto?

Nas duas situações abordadas apenas ocorreu um processo de evolução adaptativa natural, que sempre ocorrerá na presença de novas pressões seletivas para as quais a variabilidade genética das populações contemple indivíduos aptos a sobreviver e reproduzir na nova condição.

O HERBICIDA COMO FATOR ECOLÓGICO

Os herbicidas são substâncias químicas aplicadas nos agroecossistemas para promover a morte ou drástica redução do crescimento de várias espécies de plantas daninhas, encaixando-se na definição de fator ecológico. Quando um herbicida com um novo modo de ação é lançado no mercado pode ser considerado com um fator ecológico não periódico, pois é inédito para as populações susceptíveis e tem grande ação de controle das plantas daninhas. Neste caso, o nível de satisfação do agricultor é grande e este tem a tendência de repetir o produto nos anos subsequentes. Desde a primeira aplicação há a seleção das populações não susceptíveis promovendo a seleção de flora não susceptível e dos indivíduos tolerantes dentro das populações susceptíveis.

Com a aplicação sucessiva de herbicidas do mesmo modo de ação, o caráter fortuito é perdido e as populações de plantas

daninhas passam a ser adaptar à sua aplicação como se fosse um fator ecológico secundário e aumentam suas densidades populacionais a cada ciclo agrícola até o momento em que deixam de ser controladas em níveis eficazes. Nesta ocasião o agricultor passa a se deparar com o problema da resistência da planta daninha ao herbicida.

Neste ponto é bastante interessante que se definam os conceitos de plantas daninhas e populações susceptíveis, tolerantes e resistentes aos herbicidas. Em termo individual só dois tipos biológicos de planta daninha em relação à ação de um herbicida:

(i) o biotipo susceptível no qual o herbicida promove a morte, paralisação expressiva do crescimento ou da capacidade reprodutiva da planta daninha na dose recomendada;

(ii) o biotipo tolerante quando até na dose recomendada do herbicida não há efeitos expressivos na sobrevivência e crescimento da planta. Não há qualquer consideração a ser feita em doses acima da recomendada, porque não são legalmente autorizadas. Assim, é importante reforçar que em termos individuais há apenas plantas daninhas susceptíveis e plantas daninhas tolerantes a um determinado herbicida.

Quando se considera ao nível populacional se define:

(i) Planta daninha susceptível quando a grande maioria dos indivíduos da população pertence ao biotipo susceptível ao herbicida e o controle promovido é expressivo;

(ii) Planta daninha tolerante quando originalmente a maioria dos indivíduos da população pertence ao biotipo tolerante e o herbicida não tem controle satisfatório e

(iii) Planta daninha resistente quando a maioria dos indivíduos da população passar a ser do biotipo tolerante após um processo de seleção e evolução adaptativa sobre uma população originalmente susceptível e que esta mudança de comportamento tenha sido ocasionada pelo uso sistemático de um herbicida.

Assim o conceito de planta daninha resistente é aplicado apenas no nível populacional e é decorrente de um processo

antrópico de aplicação repetitiva de um herbicida com o mesmo modo de ação. Também existe a possibilidade de seleção múltipla quando há a seleção para mais de um modo de ação de herbicidas.

A VARIABILIDADE GENÉTICA E A SUSCEPTIBILIDADE AOS HERBICIDAS

A seleção de biotipo tolerante e a formação de uma população resistente apenas são possíveis quando na população original (i) existir indivíduos capazes de sobreviver e reproduzir frente à aplicação do herbicida e (ii) este caráter for transmitido aos descendentes na reprodução sexuada. Em outras palavras, o caráter de tolerância deve existir dentro do **contingente genético** da população original da planta daninha susceptível.

Quando numa população originalmente susceptível existir indivíduos tolerantes há uma tendência atual de nomear este grupo como biotipo mutante. Esta denominação não é correta e pode levar a interpretações errôneas. Explicando melhor: dentro de uma população praticamente todos os indivíduos são geneticamente diferentes. Há grandes diferenças, há pequenas diferenças, mas inegavelmente não existem dois indivíduos genotipicamente iguais. Dentro de toda esta variabilidade genética, há alguns indivíduos capazes de sobreviver e reproduzir frente à ação do herbicida. De comum, este grupo de indivíduos têm apenas esta característica fenotípica (resistência ao herbicida) e que não é necessariamente reflexo de um mesmo gene ou de um mesmo grupo de genes. Por outro lado, dentro deste pequeno grupo de plantas tolerantes há diferenças genotípicas para outras características não alvos da seleção.

Deste modo, os indivíduos da população da planta daninha que toleram a ação do herbicida estão sendo grupados por um caráter fenotípico e, portanto, não podem ser designados como decorrentes de uma mutação gênica e nem podem ser designados como biotipos mutantes.

A denominação mutante pode levar a errônea interpretação de que todos os indivíduos partilham de um mesmo gene ou mesmo grupo de genes e também, o que é pior, de que são mutações provocadas pela ação do herbicida. A denominação mais adequada é biotipo tolerante, apenas.

Segundo a teoria sintética da evolução, a biologia evolutiva das espécies depende de cinco processos básicos e três processos acessórios. Dentre os processos básicos, três deles são responsáveis por prover as populações de variabilidade genética. Estes processos são (i) a **mutação gênica**, (ii) **alterações no número e forma dos cromossomas** e a (iii) **recombinação genética**. A variabilidade genética decorrente destes processos promove o aparecimento de uma grande quantidade de biotipos para que a (iv) **seleção natural** (ou promovida pelo herbicida) possa atuar eliminando os indivíduos susceptíveis e mantendo a reprodução dos tolerantes. Com a repetição deste processo, o banco de sementes do biotipo susceptível tenderá a decrescer com velocidade cada vez maior com o passar do tempo, enquanto para o biotipo tolerante ocorrerá o processo inverso. No final de alguns anos, o banco de sementes desta planta daninha será formado praticamente por indivíduos do biotipo tolerante e a população será considerada resistente. A velocidade deste processo dependerá de algumas características intrínsecas da espécie ou dos dois biotipos, as quais são: a capacidade competitiva do biotipo tolerante comparado com o susceptível, a duração da viabilidade do banco de sementes do biotipo susceptível, a capacidade de produção e viabilidade e facilidade de dispersão das sementes, a facilidade de fluxo gênico a curta e longa distância, dentre outros.

O quinto processo básico da biologia evolutiva das espécies é (v) o **isolamento reprodutivo**, impedindo que os processos acessórios (i) **hibridação** e (ii) **migração** possam atrasar ou mesmo anular parcialmente os efeitos da seleção natural por meio do fluxo gênico do biotipo susceptível de fora, de áreas sem aplicação do herbicida, pelo fluxo gênico, seja pelo transporte de pólen

ou transporte de sementes. Por este motivo é mais comum o aparecimento de populações resistentes em grandes áreas de monocultura e/ou submetidas à aplicação de herbicidas com o mesmo modo de ação. O terceiro processo acessório é (iii) **efeito do acaso** que eventualmente e de maneira fortuita podem gerar situações que facilitem a disseminação de biotipos resistentes. Como exemplo é a comercialização de sementes de *Lolium multiflorum* tolerantes ao glyphosate para a melhoria de pastagens em termos de manejo de plantas daninhas.

Uma grande evidência da importância de isolamento reprodutivo é que os casos de resistência são mais frequentes em grandes áreas com amplo predomínio de uma cultura e/ou do uso de herbicidas com mesmo modo de ação.

De qualquer maneira, a variabilidade genética da população é um dos principais atributos das espécies de plantas daninhas para o risco de desenvolvimento de populações resistentes. São muitos os fatores que podem afetar a variabilidade genética e também a fixação de populações resistentes. Podem ser citados: o tipo de biologia reprodutiva envolvendo plantas alógamas ou autógamas, facilidade de dispersão de pólen e dos diásporos, variedade de ambientes em que a espécie habitou em sua biologia evolutiva anterior, e outros. Não há dúvidas de que a grande variabilidade genética é um passo importante para determinação do risco de uma espécie apresentar biotipo tolerante e desenvolver uma população resistente.

BASES BIOLÓGICAS PARA A PREVENÇÃO DA EVOLUÇÃO DO DESENVOLVIMENTO DE POPULAÇÕES RESISTENTES

As principais bases biológicas para contenção do aumento da expressão numérica do biotipo tolerante é a descontinuidade da pressão seletiva promovida pelo modo de ação do herbicida e a facilitação de fluxo gênico tanto via pólen como via diásporo entre populações com e sem a pressão seletiva.

A descontinuidade da pressão seletiva pode ser promovida no tempo e no espaço. No tempo são atitudes de rompimento da pressão seletiva e que pode ser conseguida com a rotação de culturas e/ou a rotação de herbicidas com modos de ação diferentes, rotação de técnicas de controle de plantas daninhas, dentre outras. No espaço, o mosaico de cultura e a variação espacial da técnica de controle ou do modo de ação do herbicida são atitudes também bastante efetivas para o controle do desenvolvimento de resistência. Esta variação no espaço tem a grande virtude de permitir o fluxo gênico entre populações que estão sendo a pressões seletivas diversas.

Outra forma de conter a pressão seletiva exercida pelo herbicida é a combinação de sua aplicação com a de outros produtos com modo de ação diferente, adicionando outra força seletiva. Esta é uma atitude efetiva, mas que pode conduzir a seleção de biotipo com tolerância múltipla após aplicações repetitivas em grandes áreas com a mesma atitude controle de plantas daninhas.

Finalizando é importante considerar que o conceito de resistência de planta daninha aos herbicidas não é um conceito natural e sim antropocêntrico, porque define a dose para a definição do biotipo tolerante ou resistente, em virtude de interesse da relação custo/eficiência para a qual o produto foi registrado e considerando também que o próprio herbicida frequentemente não é um produto natural.

LITERATURA CONSULTADA

Para a confecção deste texto foi considerado conhecimento adquiridos em estudos de ecologia de plantas daninhas e mais especificamente relacionados ao texto podem ser citados alguns textos, muito deles clássicos.

CHRISTOFFOLETI, P.J.; VICTORIA F.R.; SILVA, C.B. 1994. Resistência de plantas daninhas aos herbicidas. *Planta Daninha* 12(1): 13-20, 1994.

GRESSEL, J. 1986. Modes and genetics of herbicide resistance in plants. In USA. *Pesticide Resistance: strategies and tactics for management*. Washington DC, National Academic Press. p. 54-73.

GRESSEL, J.; SEGEL, L.A. 1990. Modeling the effectiveness of herbicide rotations and mixtures as strategies to delay or preclude resistance. *Weed Technology* 4: 186-198.

HARPER, J.L. 1977. *Population biology of plants*. New York, Academic Press. 712 p.

PITELLI, R.A. 2010. El factor antropogénico como causante de la proliferación de malezas. In *Taller Latinoamericano en Control Biológico de Malezas* (4., 2010, Jiutupec, México). Libro de palestras. p. 12-27.

PITELLI, R.A. ; PITELLI, R.L.C.M. 2004. Biología e ecofisiología de plantas daninhas. In L.Vargas; ES.Roman. eds. *Manual de Manejo e Controle de Plantas Daninhas*. Bento Gonçalves, EMBRAPA Uva e Vinho. v. 1, p 11-38.

STEBBINS, G. L. *Processo de evolução orgânica*. São Paulo, Editora da USP, 1974. 260 p.