

Banco de Sementes e Mecanismos de Dormência em Sementes de Plantas Daninhas

Alessandro de Lucca e Braccini

1. Introdução

O controle de plantas daninhas assume um papel extremamente importante no manejo de inúmeras culturas, apresentando reflexos diretos no rendimento das lavouras e nos custos de produção. As táticas de controle devem estar inseridas em um sistema de manejo integrado, ou seja, um conjunto de práticas de manejo do solo e cultural, que interfiram negativamente no estabelecimento e na competição das plantas daninhas com a cultura, além de propiciar o seu controle por meios preventivos, mecânicos, químicos ou biológicos, associados às condições ambientais predominantes na área de cultivo.

Para o manejo adequado de um sistema agrícola, torna-se necessário a sua avaliação. O método empírico tem como base observações visuais pouco precisas, enquanto que a metodologia de levantamento, por amostragens, como por exemplo, do banco de sementes da flora daninha, apresenta maior precisão. Devido à necessidade de redução nos custos de produção e às crescentes preocupações com as questões ambientais, atualmente, novos métodos de manejo vêm sendo pesquisados. Neste sentido, a agricultura de precisão vem conquistando adeptos. A avaliação do grau de infestação de determinadas pragas-chave, o nível de fertilidade do solo, as perdas associadas à colheita mecanizada e outros aspectos determinantes da produtividade de uma cultura são realizados por meio de levantamentos e, em função deles, são estabelecidas as ações necessárias ao seu manejo. Recentemente, a aplicação de herbicidas, uma das poucas tecnologias que ainda utiliza avaliações empíricas nas suas recomendações técnicas, tem evoluído seja pela aplicação de taxas diferenciadas de doses segundo a capacidade de retenção do solo ou devido a utilização de modernos sensores que permitem aplicação do produto apenas na presença de plantas vivas na área.

Segundo [Voll et al. \(1997\)](#), os levantamentos de bancos de sementes de espécies de plantas daninhas no solo, para serem utilizados em sistemas de manejo integrado de plantas daninhas, requerem procedimentos adequados de amostragem de solo e um processo de extração e identificação das

espécies. Para realizar a predição, torna-se necessário relacionar, ainda, o comportamento das espécies de plantas daninhas do solo com as práticas culturais executadas e os principais processos fisiológicos e ecológicos envolvidos. As taxas de germinação de um banco de sementes e o processo de deterioração das sementes não germinadas remanescentes, bem como as taxas de transformação em plantas adultas e a respectiva produção de sementes, que podem apresentar-se viáveis e dormentes, devem estar relacionadas com as causas que produzem estas alterações. A longevidade das sementes de plantas daninhas no solo é variável em função das características da espécie, condição fisiológica das sementes, dormência, profundidade de enterrio e manejo do solo.

As plantas daninhas continuam a apresentar grandes impactos sobre a produção das culturas a despeito dos esforços despendidos na sua eliminação e controle. Muitas espécies de invasoras dependem da dispersão das sementes para sua regeneração e perpetuação. Contudo, a composição e a densidade das sementes de espécies de invasoras no solo apresentam uma grande variação e estão intimamente relacionadas ao histórico das propriedades agrícolas e das práticas de manejo adotadas. A rotação de culturas e as práticas de controle de plantas daninhas também apresentam impacto sobre a dinâmica populacional dos bancos de sementes do solo (Buhler et al., 1998).

As informações sobre os bancos de sementes de invasoras no solo poderão ser uma ferramenta bastante importante no manejo integrado de plantas daninhas. Modelos para tomada de decisão estão sendo desenvolvidos, os quais utilizam as informações sobre a composição dos bancos de sementes para estimar as populações de plantas daninhas, as perdas de produtividade nas culturas provocadas pela sua competição e para recomendação de táticas de controle. Portanto, o conhecimento da dinâmica dos bancos de sementes no solo e dos mecanismos de dormência das sementes poderá ser utilizado para o desenvolvimento e melhoria dos sistemas de manejo.

2. Banco de Sementes no Solo

2.1 Conceito de banco de sementes

Todas as sementes viáveis presentes na superfície ou enterradas no solo constituem o banco de sementes do solo. Harper (1977) visualizou o solo como um banco de sementes ou reservatório no qual são realizados diversos processos que resultam em depósitos e retiradas (Figura 1). A produção das sementes e sua dispersão no solo são processos que resultam em depósitos, enquanto que as germinações, deterioração ou morte e predações por insetos, microrganismos e outros, são processos que resultam em retiradas. O armazenamento resulta na distribuição vertical das sementes no perfil do solo, onde a maioria das sementes de plantas daninhas concentra-se su-

perificalmente ou em pequena profundidade. Os bancos de sementes têm se tornado uma parte indispensável e bastante reconhecida da ecologia das populações de plantas daninhas, sobre os quais estão disponíveis substanciais informações a respeito dos processos envolvidos na sua dinâmica (Leck et al., 1989). Além disto, a obtenção de informações sobre a dinâmica dos bancos de sementes tem permitido a melhoria das estratégias de manejo das plantas daninhas.

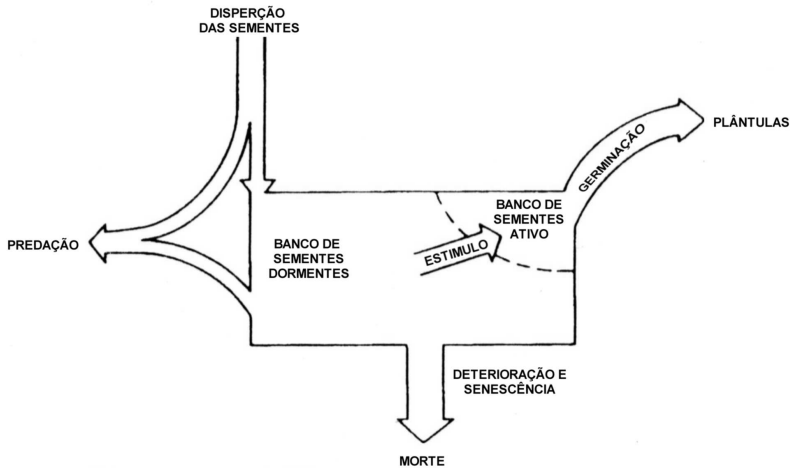


Figura 1. Modelo da dinâmica do banco de sementes de plantas daninhas no solo. Adaptado de Harper (1977).

A maioria das comunidades de plantas anuais é regenerada por meio das sementes armazenadas no banco de sementes do solo. Entretanto, o estabelecimento das plântulas requer que as sementes apresentem condições fisiológicas específicas para sua germinação. Este estado fisiológico das sementes normalmente ocorre durante um período limitado de viabilidade, o qual geralmente coincide com as condições ambientais favoráveis. Para a maioria das espécies de plantas daninhas anuais, o solo é o meio onde as condições fisiológicas específicas ocorrem (Thompson & Grime, 1979). Contudo, algumas sementes podem persistir viáveis no solo por vários anos e podem somar-se às sementes que são adicionadas anualmente ao banco de sementes do solo, favorecendo o estabelecimento futuro de novas comunidades de plantas (Cavers, 1995).

As práticas de manejo cultural apresentam os maiores impactos sobre os processos que envolvem o banco de sementes no solo para as espécies

de plantas daninhas anuais, além de regular o desenvolvimento das comunidades de plantas. As estratégias de regeneração das espécies invasoras apresentam grande variação. As sementes de determinadas espécies apresentam um período de viabilidade bastante curto e sua regeneração é extremamente dependente da produção anual de sementes e de sua dispersão. Para outras espécies, as sementes podem permanecer no solo por longos períodos com as germinações ocorrendo ao longo do tempo, em virtude dos mecanismos de dormência (Bazzaz, 1990; Murdoch & Ellis, 1992). Contudo, as sementes que apresentam grande longevidade no solo geralmente representam uma pequena proporção do banco de sementes (Wilson, 1988). Para o manejo cultural, o que realmente interessa são aquelas sementes que apresentam germinação nos primeiros anos após a sua dispersão. A compreensão da dinâmica de curto prazo destas sementes e das populações de plantas daninhas resultantes pode fornecer uma estimativa do potencial das perdas de produtividade das culturas e dos custos de controle.

O banco de sementes no solo é considerado a principal fonte de novas infestações de plantas daninhas anuais, as quais representam a maioria dos problemas nos sistemas de produção agrícola (Cavers, 1983). Além disto, as características do banco de sementes de plantas daninhas influenciam tanto na população de plantas que ocorrem no campo quanto no sucesso das práticas de manejo adotadas para controlá-las. Muitos fatores estão envolvidos na regulação dos bancos de sementes no solo, tais como o seu tamanho, a composição e distribuição das espécies, os quais estão na dependência de novas introduções de sementes e de suas perdas (Schweizer & Zimdahl, 1984; Burnside et al., 1986).

2.2 Classificação dos bancos de sementes

O banco de sementes do solo pode ser constituído por milhares de sementes de plantas daninhas por metro quadrado, podendo ser considerado a principal fonte de sementes de invasoras para infestações futuras. Thompson & Grime (1979) classificaram os bancos de sementes em dois tipos fundamentais: transitório e persistente. O banco de sementes transitório é constituído de sementes que podem permanecer viáveis por no máximo um ano. O banco de sementes persistente contém sementes que não germinam durante o primeiro ano após terem sido produzidas, pelo fato de que muitas delas podem apresentar dormência, tanto primária como secundária.

As sementes que compõem o banco persistente, geralmente encontram-se enterradas em maiores profundidades e são consideradas a principal fonte de infestações futuras de plantas daninhas em área agrícolas. Sementes de algumas espécies de invasoras podem permanecer dormentes e viáveis no solo por vários anos, sendo que para muitas espécies este período pode ser superior a vinte anos (Darlington & Steinbauer, 1961; Lewis, 1973). Portanto, esta longevidade em algumas espécies pode dificultar sobremaneira o seu manejo nos campos de produção.

2.3 Densidade e composição do banco de sementes do solo

A composição e a densidade das sementes de plantas daninhas no solo apresentam grande variação e estão intimamente relacionadas com o histórico de cultivo da gleba. A composição de sementes é influenciada pelas práticas culturais adotadas e varia de campo para campo (Fenner, 1985; Benoit et al., 1989, 1992). Dados referentes ao tamanho do banco de sementes em áreas agrícolas variam de valores próximos de zero até mais de um milhão de sementes m^{-2} (Fenner, 1985). Enquanto cada banco pode ser diferente um do outro, algumas similaridades podem ser observadas. Geralmente, os bancos de sementes são compostos por muitas espécies, mas normalmente as poucas espécies dominantes compreendem de 70 a 90% do total de sementes presentes no banco (Wilson, 1988). Estas espécies são consideradas as mais nocivas nos sistemas agrícolas, devido a sua resistência às medidas de controle e capacidade de adaptação a diferentes condições edafoclimáticas. O segundo grupo de espécies compreende entre 10 e 20% do banco de sementes, sendo, em geral, constituído de espécies adaptadas à área geográfica, porém não adaptadas às práticas culturais adotadas naquele campo de produção. O grupo final representa uma pequena porcentagem do total de sementes presentes no banco e inclui sementes recalcitrantes, ou seja, aquelas que não toleram a dessecação, não permanecendo viáveis por períodos prolongados durante o armazenamento, espécies recém introduzidas e sementes da própria cultura que está sendo produzida na área (Wilson et al., 1985).

Muitas comunidades de plantas apresentam, no mínimo, algumas sementes persistentes no solo, embora o tamanho do banco de sementes apresente grande variação de um habitat para outro. Todavia, é possível distinguir certas situações em que bancos de sementes relativamente grandes podem ser encontrados. Em geral, os maiores bancos de sementes (em termos de número de sementes m^{-2}) estão associados com áreas cultivadas, ao passo que os menores bancos de sementes são observados em pradarias, regiões de pântano e reservas florestais. De uma forma geral, o tamanho do banco de sementes (número de sementes m^{-2}) em relação aos diferentes ambientes são os seguintes: áreas cultivadas (20.000 a 40.000), pradarias/pântanos (5.000 a 20.000); florestas temperadas (1.000 a 10.000), florestas tropicais (100 a 1.000), e florestas em regiões montanhosas (10 a 100) (Fenner, 1995).

Os tamanhos dos bancos de sementes são geralmente determinados pela contagem do número total de sementes ou pelo número de sementes germináveis em um dado volume de solo ou em uma determinada área. Amostras são tomadas em determinadas profundidades no campo e transferidas para o laboratório para que sejam analisadas. Caso seja realizada a contagem de todas as sementes presentes na amostra, as sementes necessitam ser separadas do solo por determinados métodos mecânicos, tais como peneiração, flutuação em água, fluxo de ar ou separação manual (Roberts & Ricketts,

1979; Standifer, 1980). Para a estimativa das sementes germináveis, o solo é distribuído em finas camadas sobre bandejas específicas, as quais são colocadas sob condições favoráveis à germinação. Não se pode prever com exatidão se todas as condições providas serão suficientes para induzir a germinação de todas as sementes viáveis. Os resultados são parcialmente direcionados para espécies cujas sementes são prontamente germináveis, e estão na dependência do grau de dormência exibido pelas sementes (Baskin & Baskin, 1985).

2.4 Ocorrência de perdas nos bancos de sementes do solo

Embora as sementes de muitas espécies apresentem potencial para sobrevivência por longos períodos no banco de sementes do solo, a maioria das sementes apresenta longevidade relativamente curta (Murdoch & Ellis, 1992). Os principais fatores que contribuem para a ocorrência de perdas de sementes de plantas daninhas no solo incluem a germinação das sementes, o processo de deterioração e morte das sementes, além da ocorrência de predações. A importância relativa destes mecanismos é variável com as espécies e com as condições ambientais predominantes.

Para o manejo de plantas daninhas, o que realmente interessa é a ocorrência de germinação das sementes e emergência das plântulas. As sementes viáveis resultam em novas plantas capazes de reduzir a produtividade das culturas, caso não sejam controladas a contento. A germinação esporádica no tempo e no espaço é considerada como um mecanismo de sobrevivência de algumas espécies de plantas daninhas. Neste contexto, a ocorrência de dormência nas sementes é considerada como o principal mecanismo regulador deste padrão de variação da germinação no tempo. Diversas causas de dormência foram identificadas nas sementes de inúmeras espécies de invasoras, as quais são enumeradas a seguir.

3. Dormência de Sementes

3.1 Definição

O processo de germinação das sementes depende de uma série de fatores, incluindo os endógenos e aqueles relacionados ao ambiente. A disponibilidade de água, oxigênio, temperatura e, em alguns casos, a presença de luz, são fundamentais para desencadear o processo germinativo. Quando as sementes de determinada espécie, mesmo sendo consideradas viáveis, não germinam, embora sejam fornecidas todas as condições ambientais necessárias para tanto, elas são denominadas dormentes. O estado de dormência não deve ser confundido com o de quiescência, que é um estado de repouso em que, estando viável a semente, é facilmente superado com o fornecimento das condições ambientais necessárias.

A suspensão temporária da germinação não é acidental, ou seja, resulta da ação de mecanismos físicos e fisiológicos que impedem o processo de ger-

minação. Segundo Amen (1968), o estado de dormência é controlado por fatores endógenos e o de quiescência por fatores exógenos. Assim, sementes recém-colhidas de soja perene (*Glycine wightii*) podem apresentar porcentagem de germinação relativamente baixa devido à impermeabilidade do tegumento à água, enquanto que sementes de beldroega (*Portulaca oleracea*) deixam de germinar em virtude de serem sensíveis ao estímulo da luz.

De acordo com Cicero (1986) o período de dormência pode ser de poucos dias, alguns meses ou estender-se por vários anos. Contudo, de qualquer maneira, o fenômeno torna-se menos intenso com o decorrer do tempo até que seja totalmente superado.

3.2 Significado ecológico

Aparentemente, a dormência evoluiu como um mecanismo de sobrevivência da espécie para determinadas condições climáticas. Em regiões de clima temperado, por exemplo, a maior ameaça à sobrevivência é o inverno. Nestas regiões, as sementes em geral amadurecem na primavera, no verão ou no outono. Caso elas germinassem imediatamente, o inverno as surpreenderia em um estágio vulnerável e a espécie seria rapidamente extinta. Geralmente, para qualquer tipo de clima, o fator de ameaça à espécie é o melhor método para superação da dormência. No caso de espécies de clima temperado, deve-se utilizar um inverno artificial, ou seja, submeter as sementes à estratificação ou pré-esfriamento. Em regiões em que predominam condições climáticas que apresentam épocas úmidas alternadas com épocas de seca, deve-se utilizar a secagem e altas temperaturas para superar o estado de dormência das sementes. No caso de regiões desérticas, onde a ameaça às espécies é a escassez de chuvas, o tratamento adequado seria enxaguar as sementes por período de tempo suficiente para remoção dos inibidores químicos, que são os causadores da dormência.

As plantas daninhas constituem um exemplo notório de que a dormência é um mecanismo importante de sobrevivência das espécies. O homem tem procurado controlar sistematicamente tais plantas, por meio de capinas, aplicações de herbicidas ou outras táticas de manejo, entretanto, todos os anos diversas invasoras emergem do solo limpo e cultivado por diversas safras agrícolas. Algumas das sementes podem ter sido introduzidas recentemente, por intermédio dos animais ou por outras formas de dispersão, como o vento ou o escorrimento da água superficial. Contudo, a maioria já estava presente no solo por determinado período de tempo e certamente apresentava algum mecanismo bloqueador da germinação.

Popinigis (1985) cita um exemplo de dormência como mecanismo de sobrevivência bastante interessante, ou seja, o caso das aveias silvestre e cultivada, as quais são espécies muito similares e possuem ciclo vegetativo aparentemente semelhante. Entretanto, a aveia cultivada não sobreviveria por muitas gerações sem a ajuda do homem, enquanto que a aveia silvestre

sobreviveu por vários séculos, apesar de todos os esforços no sentido de erradicá-la. A explicação para tal fato é muito simples, pois a aveia cultivada amadurece no verão e suas sementes apresentam um curto período de dormência, estando aptas para iniciar o processo de germinação logo em seguida. Desta forma, um inverno rigoroso exterminaria suas plântulas. Em contrapartida, a aveia silvestre amadurece aproximadamente na mesma época, porém, apresenta um longo período de dormência impedindo as germinações das sementes. Na primavera seguinte, muitas sementes já não se encontram dormentes e iniciam o processo germinativo, originando plantas invasoras. Caso algumas plântulas venham a morrer devido ao déficit hídrico ou outra condição ambiental adversa, outras sementes ainda dormentes presentes no banco de sementes do solo podem germinar nos anos subsequentes.

3.3 Papel da dormência na manutenção do banco de sementes do solo e como método de distribuição da germinação no tempo

Pelo conceito atual, o fenômeno da dormência é tido como um recurso pelo qual a natureza distribui a germinação das sementes no tempo. As espécies vegetais desenvolveram, juntamente com as sementes, a capacidade de conquistar o espaço e o tempo. Os vegetais conquistaram o espaço por intermédio da produção de sementes, especialmente quando as dotaram de diferentes tipos de apêndices, os quais associados a outras características como o tamanho e a forma, permitiram que as sementes adquirissem mobilidade. Assim, uma pequena semente dotada de aristas, como as sementes de mentrasto (*Ageratum conyzoides*) pode flutuar no ar e movimentar-se a grandes distâncias. Outras sementes, que apresentam formato achatado e fino, podem flutuar na água, sendo por ela transportadas e disseminadas. Desta forma, a germinação de determinada semente pode vir a ocorrer em um local totalmente diferente daquele em que foi produzida, permitindo suportar um maior número de combinações climáticas, o que resultaria em maior possibilidade de sobrevivência da espécie (Carvalho & Nakagawa, 2000; Marcos Filho, 2005).

A dormência contribui decisivamente para a longevidade das espécies de plantas daninhas propagadas por sementes, uma vez que a maioria destas espécies apresenta sementes com algum tipo de dormência. Este fato contribui de maneira decisiva para a manutenção do banco de sementes destas espécies no solo, criando dificuldades bastante acentuadas para o seu controle. Desta forma, torna-se praticamente impossível a erradicação total destas plantas de uma determinada área de cultivo, em virtude da dormência apresentada por certas espécies de invasoras.

A distribuição da capacidade de germinação no tempo não é equitativa e o vegetal manifesta esta característica dotando suas sementes de diferentes intensidades de dormência. Desta forma, se uma determinada espécie

invasora produzisse certo volume de sementes anualmente, em determinada combinação ecológica, ou seja, apresentasse variação da germinação, em função das condições edafoclimáticas e fisiológicas das sementes, a distribuição da intensidade de dormência neste lote de sementes poderia ser bastante diversa. Basicamente, este controle da intensidade de dormência é realizado em nível genético (Vidaver, 1977). Estes fatores genéticos que controlam a intensidade de dormência têm uma grande sensibilidade, determinando grandes diferenças entre sementes que, algumas vezes, são vizinhas no mesmo fruto. O caso que melhor ilustra a sensibilidade destes fatores genéticos no controle da intensidade da dormência foi exemplificado com sementes de *Xanthium stramonium*. Esta espécie possui um fruto com duas sementes: uma dita superior, profundamente dormente, e a outra, inferior, a qual não apresenta dormência alguma (Roberts, 1974).

O banco de sementes do solo consiste de numerosas sementes, muitas das quais são dormentes e retardam a germinação por certo espaço de tempo (Egley & Duke, 1985; Wilson, 1988; Baskin & Baskin, 1989; Egley, 1995). Sementes que são dormentes no momento da sua dispersão da planta-mãe apresentam dormência primária. Estas sementes podem perder a dormência e germinar se as condições tornarem-se favoráveis. Caso as condições sejam inadequadas e a germinação for inibida, as sementes podem ser induzidas à dormência secundária (Bewley & Black, 1994). As sementes que não são dormentes por ocasião da liberação da planta-mãe, também podem se tornar dormentes se o processo de germinação for inibido. Esta transição de sementes dormentes para não dormentes pode se tornar cíclica por vários anos antes de desencadear o processo germinativo ou, em última instância, serem perdidas do banco de sementes do solo (Baskin & Baskin, 1985). O banco de sementes persistente é dinâmico e contém sementes com vários níveis de dormência.

Certas espécies de plantas emergem durante a mesma estação do ano. Esta característica se deve, principalmente, as respostas germinativas das sementes em função dos ciclos sazonais de temperatura do solo. O comportamento cíclico envolve transições graduais entre diferentes graus de dormência das sementes. Segundo (Baskin & Baskin, 1985) estas mudanças cíclicas são descritas como um “conjunto de respostas fisiológicas envolvendo transições graduais”, em que estas transições correspondem às mudanças sazonais de temperatura (Figura 2). Como resultado destes ciclos de dormência, a germinação das sementes limita-se à estação que coincide com a fase de menor dormência no ciclo.

3.4 Tipos de dormência

A dormência de sementes de plantas daninhas tem sido classificada por diversos autores em duas categorias distintas, ou seja, primária e secundária.

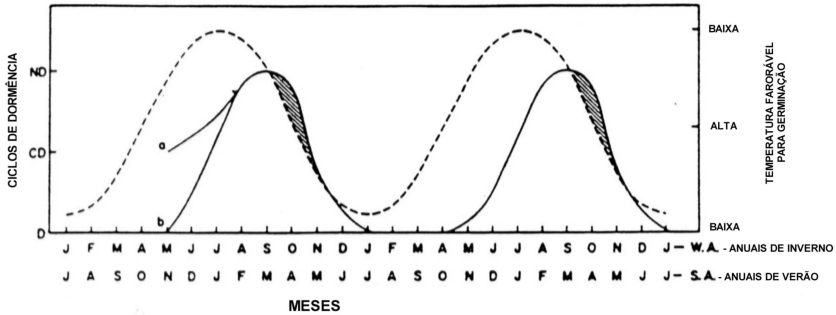


Figura 2. Ciclos anuais de dormência em sementes de plantas daninhas enterradas para espécies estritamente anuais de inverno (W.A.) e anuais de verão (S.A.). Áreas sombreadas no gráfico representam quando a germinação é possível. *D* = dormentes; *CD* = condicionalmente dormentes; *ND* = não dormentes. *a* = sementes condicionalmente dormentes na maturidade; *b* = sementes dormentes na maturidade. Linha sólida = dormência contínua; linha tracejada = temperatura favorável à germinação. Adaptado de [Baskin & Baskin \(1985\)](#).

3.4.1 Dormência primária

A dormência primária é aquela que ocorre por ocasião da maturação das sementes e, portanto, nestas condições, as sementes ainda se encontram fisiologicamente ligadas à planta-mãe. Este tipo de dormência ocorre durante períodos relativamente curtos, os quais podem variar de algumas semanas a poucos meses, sendo importante para muitas espécies, pois impede que as sementes germinem quando ainda estão ligadas à própria planta (fenômeno da viviparidade), caso as condições climáticas sejam desfavoráveis por ocasião do seu completo desenvolvimento ou no momento da sua dispersão. Em geral, este tipo de dormência é facilmente superado por simples armazenamento das sementes secas por algum tempo, geralmente não muito longo. Desta forma, imediatamente após a maturação, as sementes não germinam, todavia, após um período de armazenamento, adquirem a capacidade de germinação. Este tipo de dormência é comumente denominado de “dormência pós-colheita”. Exceção a esta regra ocorre para sementes de tiririca (*Cyperus rotundus*), que necessitam de um período relativamente longo de armazenamento das sementes, aproximadamente 7 anos, para a completa superação da dormência ou, então, a utilização de tratamento químico (escarificação ácida com H_2SO_4 por 15 minutos) ([Popinigis, 1985](#); [Marcos Filho, 2005](#)).

3.4.2 Dormência secundária

Em algumas espécies, sementes que apresentam a capacidade de germinar normalmente podem ser induzidas a entrar no estado dormente, quando mantidas, durante certo intervalo de tempo, sob condições ambientais desfavoráveis.

Geralmente, a dormência secundária é induzida quando são fornecidas à semente todas as condições necessárias à sua germinação exceto uma. Villiers (1972) cita o exemplo em que sementes de *Xanthium* spp. são induzidas à dormência secundária quando submetidas a baixa tensão de oxigênio. Segundo Popinigis (1985), altas tensões de gás carbônico podem causar dormência secundária em sementes de mostarda branca (*Brassica alba*). Outras condições que podem induzir dormência secundária nas sementes de algumas espécies são temperaturas elevadas ou muito baixas, iluminação ou ausência de luz e secagem utilizando altas temperaturas, entre outras.

Segundo Bewley & Black (1994), para que ocorra a superação da dormência, as sementes devem experimentar certos fatores ambientais ou sofrer certas mudanças metabólicas. Portanto, o controle da germinação ocorre em dois níveis. O primeiro é relatado como um estado próprio da semente (dormência primária) e o segundo envolve a atuação de fatores ambientais (dormência secundária). Estes controles são chamados de “interno” e “externo”, respectivamente. O relacionamento entre os dois tipos de dormência e a germinação das sementes está ilustrado na Figura 3.

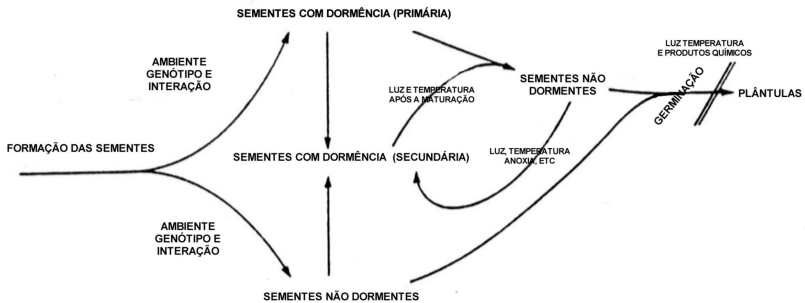


Figura 3. Controle da dormência e germinação das sementes. Adaptado de Bewley & Black (1994).

3.5 Causas da dormência

A dormência das sementes não ocorre devido a uma simples causa ou mecanismo, muito embora a consequência final do processo seja a mesma. É fundamental que se conheça a causa da dormência, para que se possa

planejar ou escolher um método para superá-la, ou ainda, compreender porque as sementes de diversas espécies de plantas daninhas não germinam uniformemente, o que, seguramente, facilitaria o seu controle.

A dormência das sementes pode ser classificada, de acordo com o mecanismo ou a localização do bloqueador ou inibidor, da seguinte maneira: embrião imaturo ou rudimentar, impermeabilidade do tegumento à água, impermeabilidade ao oxigênio, restrições mecânicas, embrião dormente, dormência devido a inibidores internos e combinação de causas.

3.5.1 Embrião imaturo ou rudimentar

Embriões de sementes de várias espécies apresentam-se morfologicamente imaturos por ocasião da dispersão das sementes da planta e requerem um determinado período para o seu completo desenvolvimento. Somente após este intervalo, as sementes estarão aptas a desencadear o processo germinativo.

Os embriões imaturos são, em geral, relativamente pouco desenvolvidos e, em alguns casos, não totalmente diferenciados. Normalmente, há necessidade de um período de três a quatro meses para que seja completado o seu desenvolvimento. Quando estas sementes são colocadas para germinar, ou sob condições específicas, a germinação é retardada, até que o embrião, sofrendo modificações anatômicas e morfológicas adicionais, complete sua diferenciação ou crescimento.

O embrião rudimentar consiste de uma massa de células não diferenciadas, sendo necessário que ocorra sua diferenciação antes que a germinação seja possível. Quando o embrião já se encontra diferenciado, porém somente retoma o crescimento quando a semente se reidrata, não germinando antes que tenha atingido determinado tamanho, é denominado imaturo.

Exemplos típicos de plantas daninhas com embrião imaturo e que são incapazes de germinação imediata ocorrem em sementes de *Polygonum* spp. e *Scirpus* spp. (Zimdahl, 1993).

3.5.2 Impermeabilidade do tegumento à água

Sementes que não absorvem água quando colocadas em condições favoráveis para tal, em virtude da presença de tegumentos impermeáveis, são conhecidas como “sementes duras”. Do ponto de vista de perpetuação da espécie, esta característica é extremamente benéfica, não apenas pelo fato das sementes permanecerem vivas por um longo período, mas também porque, sob condições naturais, tornam-se permeáveis individualmente em períodos diferentes após a sua dispersão. Esta causa de dormência é bastante comum em sementes de inúmeras espécies de plantas daninhas, principalmente naquelas pertencentes às famílias Fabaceae, Malvaceae, Geraniaceae, Chenopodiaceae, Convolvulaceae, Solanaceae e Liliaceae, favorecendo a formação de bancos de sementes no solo.

Os trabalhos de pesquisa voltados para determinar qual a região do tegumento é responsável pela impermeabilidade à água têm sido conduzidos principalmente com sementes de fabáceas, nas quais a testa se constitui na barreira contra absorção da água (Bewley & Black, 1994). A testa das fabáceas não é, evidentemente, um tecido uniforme, pois nela estão presentes o hilo, o estrofiolo e a micrópila. Diversos pesquisadores, estudando a ocorrência de impermeabilidade do tegumento das fabáceas à água, verificaram que o hilo funciona como uma válvula, auxiliando a saída de água da semente, sem permitir a absorção de umidade. O estrofiolo parece ser o principal local de penetração de água nas sementes.

A ocorrência de sementes duras tem sido atribuída tanto a fatores genéticos como ambientais. Crocker & Barton (1957) relatam que em coleções de trevo doce (*Melilotus alba*) havia uma variação de aproximadamente 98% no número de sementes duras produzidas em diferentes anos nas mesmas plantas. Entretanto, relataram não haver qualquer evidência na hereditariedade da impermeabilidade em sementes de trevo vermelho (*Trifolium incarnatum*). Os mesmos autores, estudando os fatores ambientais que podem afetar a produção de sementes duras nesta espécie, verificaram que existe correlação entre a sequência de florescimento e a quantidade de sementes pequenas produzidas e, entre o tamanho da semente e a permeabilidade do tegumento. Quando as condições climáticas favoreciam a produção de sementes pequenas, as mesmas apresentavam impermeabilidade do tegumento. Por outro lado, um suprimento extra de cálcio também proporcionou aumento no número de sementes duras daquela espécie, ao passo que a redução na intensidade luminosa e suprimento hídrico não ocasionaram efeitos sobre o tegumento das sementes.

Em contrapartida, Bewley & Black (1994) relataram que a taxa e o grau de secagem das sementes são particularmente importantes neste mecanismo, para algumas espécies de fabáceas, pois os tegumentos tornam-se progressivamente duros e impermeáveis à medida que o grau de umidade das sementes diminui. A presença de oxigênio durante a perda de umidade das sementes parece ser igualmente importante.

3.5.3 Impermeabilidade ao oxigênio

As sementes de muitas espécies, particularmente as poáceas, apresentam restrições impostas pelo tegumento à absorção de oxigênio, a liberação do gás carbônico ou a ambos os mecanismos, fato este que impede a germinação das sementes.

Segundo Popinigis (1985), esta causa de dormência é particularmente importante para muitas espécies de poáceas. Nestas, a germinação é obtida removendo-se ou danificando-se as cariopses, por meio de escarificação, cortes, remoção, tratamento com ácidos, ou submetendo as sementes a condições de alta tensão de oxigênio. De acordo com Carvalho & Nakagawa

(2000), as diversas espécies de *Brachiaria* spp., tais como *B. humidicola*, *B. decumbens* e *B. brizantha*, apresentam este tipo de dormência.

Bewley & Black (1994) apontam os seguintes fatores responsáveis pela impermeabilidade ao oxigênio: presença de mucilagem envolvendo o tegumento e consumo de oxigênio pelo próprio tegumento, reduzindo, desta forma, a quantidade disponível para o embrião. De acordo com estes mesmos autores, o consumo de oxigênio pelo tegumento, em algumas espécies, é atribuído à oxidação de vários compostos fenólicos, tais como floridzin, ácido clorogênico e ácido *p*-cumaril-shiquímico, reconhecidamente presentes na testa.

Com relação à impermeabilidade ao gás carbônico, Bewley & Black (1994) afirmam que existem poucas evidências da relação entre dormência imposta pela ação dos tegumentos e o acúmulo de CO₂ no interior das sementes. Estes autores apontam que em diversos relatos foi verificado que a germinação pode tornar-se inibida em altas concentrações de gás carbônico, na ordem de 20 a 40%. Por outro lado, Mayer & Poljakoff-Mayber (1989) relataram que são conhecidos exemplos em que os tegumentos das sementes apresentam diferenças na permeabilidade ao oxigênio e ao gás carbônico.

A germinação das sementes de aveia silvestre (*Avena fatua*) pode ser intensamente suprimida pela redução da disponibilidade de oxigênio causada pela compactação do solo (Klingman et al., 1982). A compactação do solo e o excesso de umidade são condições que reduzem a germinação das sementes de diversas espécies de plantas daninhas e o mecanismo responsável pode ser a redução da pressão parcial de oxigênio (Zimdahl, 1993).

Segundo Klingman et al. (1982) e Zimdahl (1993), caruru (*Amaranthus retroflexus*), aveia silvestre (*Avena fatua*), bolsa-de-pastor (*Capsella bursa-pastoris*) e *Lepidium campestre* são exemplos típicos de espécies de plantas daninhas que apresentam dormência nas sementes por impermeabilidade do tegumento à água, ao oxigênio ou a ambos os mecanismos.

3.5.4 Restrições mecânicas

Segundo Egley & Duke (1985), o tegumento das sementes e outras estruturas envoltórias do embrião são extremamente importantes, tanto na sobrevivência quanto na regulação do processo de germinação das sementes de plantas daninhas. Pelo fato do tegumento das sementes ser a principal forma de defesa do embrião contra os perigos impostos pelas variações do ambiente, não é surpreendente que ele possa impor barreiras a germinação rápida e precoce. Portanto, as estruturas protetoras que envolvem o embrião podem apresentar duas funções, ou seja, proteção do eixo embrionário e regulação do tempo de germinação das sementes.

A idéia de que o tegumento ou cobertura protetora pode apresentar suficiente resistência mecânica capaz de impedir o crescimento do embrião, baseia-se no fato de que, em muitos casos, a germinação das sementes

dormentes pode ser obtida danificando, removendo ou perfurando o tegumento, cariopse ou cobertura protetora.

Estas restrições mecânicas são sugeridas como causa de dormência de diversas espécies de poáceas, como por exemplo, em capim pensacola (*Paspalum notatum*) (Popinigis, 1985).

De acordo com Copeland & McDonald (1985), este tipo de dormência têm sido descrita em sementes de caruru (*Amaranthus retroflexus*). Entretanto, deve-se levar em consideração que o tegumento das sementes é, muitas vezes, fonte de substâncias inibidoras que podem ser eliminadas durante a remoção da cobertura protetora.

3.5.5 Embrião dormente

Caracterizado por ser o próprio embrião a sede da dormência. É resultante de condições fisiológicas no embrião, ainda não totalmente elucidadas. As sementes enquadradas neste tipo de mecanismo são as que apresentam exigências especiais quanto à luz e resfriamento para superação da dormência, ou cujas causas são inibidores químicos. As sementes cuja germinação é afetada pela luz podem ter sua germinação promovida ou inibida pela mesma. No primeiro caso, são denominadas “fotoblásticas positivas”, e no segundo, “fotoblásticas negativas”.

Nas sementes que exigem resfriamento, extraíndo-se o embrião da semente, este pode permanecer dormente, ou crescer lentamente. A superação da dormência é obtida pelo processo de estratificação ou pré-esfriamento, que consiste em umedecer a semente e submetê-la a baixas temperaturas. Porém, acima de 0°C, por períodos que variam conforme as espécies. O tratamento das sementes com ácido giberélico (GA₃) pode substituir a estratificação.

Segundo (Popinigis, 1985) a dormência do embrião é frequentemente associada à presença de substâncias químicas inibidoras da germinação. Estas substâncias atuam em interação com fatores ambientais, tais como temperatura e disponibilidade de oxigênio. Entre os inibidores identificados destaca-se o ácido abscísico (ABA), encontrado não apenas nos embriões, mas também nos tegumentos.

Este tipo de dormência é particularmente comum em algumas espécies de invasoras, tais como diversas poáceas, mostarda e *Polygonum* spp. (Klingman et al., 1982).

3.5.6 Dormência promovida por inibidores internos

A germinação das sementes de muitas espécies é algumas vezes reduzida ou impedida pela presença de compostos conhecidos como inibidores. Os mais importantes são o ácido abscísico (ABA), as lactonas insaturadas, como a cumarina, e vários compostos fenólicos. Segundo Khan (1980), os inibidores de germinação podem estar presentes em diversas partes da semente, principalmente pericarpo, testa, endosperma e embrião.

Os inibidores da germinação são constituídos de uma grande variedade de compostos químicos. As funções fisiológicas e bioquímicas de muitas substâncias não são conhecidas com exatidão. Acredita-se que o ABA esteja envolvido na inibição da síntese de RNA e de proteínas e que vários compostos fenólicos possam atuar como inibidores da divisão celular ou consumir oxigênio durante o processo de oxidação, restringindo, desta forma, a quantidade de oxigênio disponível para o desenvolvimento do embrião (Bewley & Black, 1994).

A dormência tem sido definida como resultado de um equilíbrio entre substâncias inibidoras da germinação, tais como o ácido abscísico e a cumarina e substâncias que estimulam a germinação, tais como o ácido giberélico (GA_3), as citocininas e o etileno (Copeland & McDonald, 1985; Egley & Duke, 1985; Popinigis, 1985; Taylorson, 1987; Mayer & Poljakoff-Mayber, 1989). Para que a germinação ocorra, é necessário que haja o restabelecimento do desequilíbrio favorável às giberelinas, em que estas não exerceriam papel direto algum, apesar do equilíbrio ser alcançado por meio do fornecimento de giberelinas exógenas. Outro grupo de hormônios, as citocininas, é que desempenharia um papel promissor sobre a germinação das sementes, ou seja, anularia os efeitos provocados pelos inibidores (Carvalho & Nakagawa, 2000; Marcos Filho, 2005).

A luz é outro fator que desempenha um importante papel no processo de quebra da dormência provocada por inibidores internos, pois sua ação seria levar o fitocromo da forma inativa (PV ou P660) à ativa (PvD ou P730), que liberaria ou ativaria, por um processo desconhecido, as citocininas. Estas, agindo antagonisticamente em relação a diversos inibidores, permitiriam às giberelinas desempenhar várias funções, tanto no tecido endospermático como no embrionário, funções estas relacionadas com a germinação das sementes (Bewley & Black, 1994; Carvalho & Nakagawa, 2000; Marcos Filho, 2005).

Esquemáticamente, a interconversão das duas formas do fitocromo poderia ser representada de acordo com a Figura 4.

Outro fator importante no processo de dormência promovida por inibidores internos é a temperatura. Segundo Thomas (1980), foi verificado que durante o tratamento de pré-esfriamento ocorria um decréscimo inicial dos inibidores de germinação, seguido por um aumento sequencial de citocininas e giberelinas.

O etileno também está envolvido na quebra da dormência resultante do equilíbrio entre substâncias inibidoras e promotoras da germinação. Existem evidências de que a presença de etileno atenua a exigência de temperaturas específicas para a germinação das sementes de algumas espécies, afetando os níveis de citocininas e auxinas e agindo sinergisticamente com giberelinas e luz (Olatoye & Hall, 1972). Schonbeck & Egley (1981) observaram que sementes de caruru (*Amaranthus retroflexus*) tem exigências

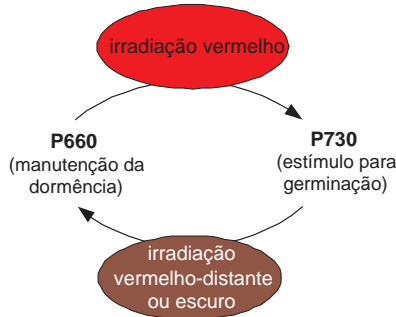


Figura 4. Interconversão das duas formas do fitocromo.

variáveis na sensibilidade ao etileno, de acordo com as condições do pretratamento.

3.5.7 Combinação de causas

A presença de uma causa de dormência em uma semente não elimina a possibilidade de que outras também estejam presentes. Neste caso, serão também necessárias combinações de tratamentos para superar a condição de dormência. Existem evidências de que sementes de *Panicum* spp., *Paspalum* spp. e *Brachiaria* spp. apresentam embriões imaturos, impermeabilidade a gases e inibidores de germinação. Sementes de trevo subterrâneo (*Trifolium subterraneum*) apresentam dois tipos de causas de dormência (impermeabilidade a água e inibidores endógenos) (Cicero, 1986).

3.6 Métodos para superação da dormência

O método a ser empregado na superação das diferentes causas depende do tipo de dormência presente nas sementes. Na Tabela 1 são apresentados os principais métodos empregados na superação dos diferentes mecanismos de dormência.

A descrição sumária das técnicas mais comumente empregadas na superação da dormência é apresentada a seguir.

3.6.1 Escarificação mecânica

Consiste em submeter as sementes contra superfícies abrasivas, tais como lixa ou pedra de carbonato de silício, com o objetivo de desgastar ou eliminar parte do tegumento das sementes.

A escarificação não deve ser muito severa, pois poderá provocar injúrias ao embrião, prejudicando o desempenho germinativo. A escarificação mecânica é empregada basicamente na superação da dormência de sementes

Tabela 1. Métodos de superação dos principais mecanismos de dormência em sementes. Fonte: Popinigis (1985).

Tipo de dormência	Métodos de superação
Impermeabilidade e restrições mecânicas do tegumento	Imersão em solventes (água quente, álcool, acetona, etc.) Escarificação mecânica Escarificação com ácido sulfúrico Resfriamento rápido Exposição à alta temperatura Aumento da tensão de oxigênio Choques ou impactos contra superfícies rígidas
Embrião dormente	Estratificação à baixa temperatura Tratamento com hormônios (giberelinas ou citocininas)
Dormência em poáceas	Rompimento da cariopse Tratamento com nitrato de potássio Exposição à luz Emprego de temperaturas alternadas Aplicação de pré-esfriamento Aumento da tensão de oxigênio Tratamento com hormônios Germinação à temperatura subótima
Tegumento impermeável combinado com embrião dormente	Escarificação mecânica ou com ácido sulfúrico, seguida de estratificação à baixa temperatura
Dormência dupla (epicótilo e radícula dormentes)	Estratificações a baixas temperaturas seguidas de condições favoráveis para o crescimento da radícula e do epicótilo, respectivamente

que apresentam tegumento impermeável à água (sementes duras), como é o caso da maioria das espécies de plantas daninhas pertencentes à família Fabaceae.

3.6.2 Escarificação ácida

Este método consiste em submergir as sementes em ácido sulfúrico concentrado por um determinado intervalo de tempo e, a seguir, lavar em água corrente e secar. Este tipo de escarificação é recomendado na superação da dormência de sementes que apresentam tegumentos impermeáveis à água ou a gases.

A utilização do ácido sulfúrico na escarificação química de sementes, indicado principalmente para algumas espécies de poáceas como, por exem-

plo, *Brachiaria* spp., somente apresenta viabilidade prática quando realizada em laboratórios de análise de sementes e utilizando todas as medidas de segurança. Caso contrário, apresenta o perigo de queimaduras ao técnico ou funcionário que executa a operação, além de contaminação do meio ambiente, em virtude de seu elevado poder corrosivo e sua violenta reação com a água.

O tempo de submersão no ácido é crítico e deve ser cuidadosamente determinado para os diferentes lotes de sementes a serem escarificadas. Segundo (Popinigis, 1985), este intervalo de tempo pode variar de alguns minutos a várias horas, dependendo da espécie. Normalmente são utilizadas duas partes do ácido para uma parte de sementes. Em seguida, a mistura sementes-ácido deve ser lentamente agitada, com a finalidade de homogeneizar o tratamento. Após o tratamento, o ácido deve ser eliminado e as sementes lavadas em água corrente por um período de aproximadamente 10 minutos.

3.6.3 Escarificação térmica

O tratamento consiste na imersão das sementes em água com temperatura variando entre 60 e 100°C, durante um intervalo de tempo previamente determinado, o qual é variável conforme a espécie a ser tratada.

3.6.4 Lavagem em água corrente

Este método é empregado para espécies cujas sementes apresentam algumas substâncias inibidoras solúveis em água, as quais podem ser removidas pela simples lavagem das sementes em água corrente, durante um intervalo de tempo variável com a espécie.

Para algumas espécies, o simples enterrio das sementes de plantas daninhas já é considerado suficiente para a superação deste tipo de dormência, pelo fato da maioria dos inibidores serem adsorvidos pelas partículas do solo.

3.6.5 Secagem prévia

Sementes recém colhidas de determinadas espécies de poáceas eliminam a sua dormência pós-colheita, quando submetidas a secagem por algumas semanas em condições de câmara seca, ou em ambiente a 40°C com livre circulação de ar por, aproximadamente, uma semana (Brasil, 2009).

3.6.6 Pré-esfriamento

Sementes de algumas espécies de poáceas, como *Agrostis* spp., *Lolium* spp., entre outras, além de algumas espécies de *Brassica* (Tabela 2), como a mostarda e nabiça, superam a dormência quando submetidas a baixas temperaturas. Para tanto, as sementes devem estar embebidas.

Em laboratório, estas condições podem ser simuladas colocando as sementes em substrato umedecido e levando-as para uma câmara previa-

mente regulada à temperatura de 5 a 10°C, permanecendo nestas condições por um período de tempo variável conforme a espécie (Popinigis, 1985).

Tabela 2. Pré-esfriamento indicado para superação da dormência das sementes de algumas espécies de *Brassica*. Fonte: Brasil (2009).

Espécie	Temperaturas e dias necessários
<i>B. campestris</i>	5 ou 10°C por 7 dias
<i>B. juncea</i>	10°C por 7 dias
<i>B. napus</i>	5 ou 10°C por 7 dias
<i>B. nigra</i>	10°C por 3 dias
<i>B. oleracea</i>	10°C por 3 dias

3.6.7 Estratificação

Este tratamento é empregado na superação da dormência de diversas espécies arbustivas, com a finalidade de promover determinadas modificações fisiológicas no embrião. Para tanto, as sementes são colocadas em determinados recipientes que permitem a aeração, mas evitam o ressecamento. As embalagens devem ser colocadas em câmara refrigerada ou enterradas no solo como é o caso de regiões de clima frio, sendo deixadas em repouso pelo período recomendado para a espécie.

As temperaturas normalmente empregadas na estratificação situam-se entre 2 e 7°C (Popinigis, 1985). No caso de sementes de algumas espécies de plantas daninhas comuns em regiões temperadas, o próprio período de inverno é suficiente para a superação da dormência, atuando como um tratamento de estratificação (Egley & Duke, 1985).

3.6.8 Produtos químicos

Alguns produtos químicos tais como nitrato de potássio (KNO₃), ácido giberélico (GA₃), peróxido de hidrogênio (H₂O₂) e etileno são indicados para o tratamento de superação da dormência das sementes de inúmeras espécies. Porém, este tipo de tratamento só é viável economicamente em condições bastante específicas, tais como em laboratório de análise de sementes e para pequenos volumes de sementes.

O peróxido de hidrogênio tem sido utilizado no tratamento de sementes de algumas poáceas e tem se mostrado efetivo como estimulante da germinação. Por outro lado, o etileno é recomendado para o tratamento de diversas espécies, sendo que a concentração utilizada varia de 10 a 100 ppm, dependendo da espécie (Cicero, 1986). As concentrações de ácido giberélico utilizadas para superação de alguns tipos de dormência são bem mais elevadas, não sendo viáveis para determinadas quantidades de sementes.

3.6.9 Temperaturas alternadas

As Regras para Análise de Sementes (Brasil, 2009) prescrevem para o teste de germinação, temperaturas alternadas para um grande número de espécies que apresentam dormência. A alternância de temperatura, que ocorre naturalmente em condições de campo, ao que tudo indica age sobre os tegumentos das sementes tornando-os mais permeáveis à água e ao oxigênio e parece apresentar, também, influência sobre o equilíbrio entre as substâncias promotoras e inibidoras da germinação (Cicero, 1986).

3.6.10 Exposição à luz

Sementes de muitas espécies são sensíveis à luz (fotoblásticas positivas) e não germinam na sua ausência ou apresentam germinação muito reduzida nesta condição. Em laboratórios de análise de sementes, para espécies exigentes em luz, o teste de germinação é, normalmente, conduzido em substrato úmido, em que as sementes não são cobertas com papel-toalha e devem ser iluminadas. A intensidade da luz deve estar entre 750 e 1.250 lux, e as sementes devem ser submetidas à iluminação pelo menos 8 em cada 24 horas.

Sementes de alface (*Lactuca sativa*) e diversas espécies de poáceas, tais como *Agropyron* spp., *Agrostis* spp., *Axonopus* spp., *Bromus* spp., *Festuca* spp., *Lolium* spp. e *Poa* spp. são alguns exemplos de espécies cujas sementes são sensíveis à luz (Popinigis, 1985).

3.7 Teorias da dormência

O mecanismo de dormência das sementes apresenta peculiaridades para diferentes espécies de plantas, tornando difícil qualquer generalização a respeito de suas causas. Entretanto, diversas teorias têm sido propostas para explicar a dormência como resultado de uma única causa.

A teoria mais antiga foi proposta por Amen (1968). Este pesquisador sugeriu que todos os tipos de dormência conhecidos possuem um mesmo mecanismo de controle. Neste contexto, o estabelecimento, o controle e a superação da dormência das sementes seriam regulados pelo equilíbrio entre substâncias inibidoras e promotoras da germinação. O referido modelo envolve quatro fases distintas, ou seja: indutiva, mantenedora, disparadora e germinativa. Os reguladores endógenos de crescimento seriam as gibberelinas, as citocininas e vários inibidores. Neste caso, o estabelecimento do mecanismo de dormência ocorreria por um desequilíbrio em favor dos inibidores, enquanto que na superação do estado, o desequilíbrio favoreceria os promotores.

Khan (1971) propôs outra teoria em que a dormência das sementes seria controlada por substâncias reguladoras do crescimento, sendo que as gibberelinas seriam responsáveis pela promoção da germinação. As citocininas apresentariam ação “permissiva” ou de anulação do efeito das substâncias inibidoras, porém sem promover a germinação. Os inibidores, por sua vez,

impediriam o processo germinativo. Neste caso, a dormência resultaria não apenas do excesso de inibidores, mas também da ausência de giberelinas na ausência de inibidores ou, então, pela ausência de citocininas na presença de substâncias inibidoras (Figura 5).

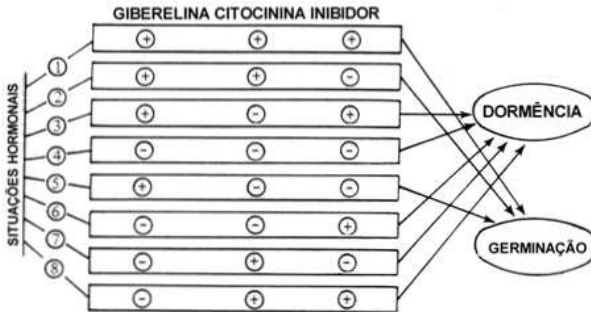


Figura 5. Modelo de mecanismo hormonal da dormência e germinação das sementes, utilizando giberelinas, citocininas e inibidores. São mostradas oito situações hormonais ou fisiológicas encontradas nas sementes. A presença de algum tipo de hormônio em concentrações fisiologicamente ativas é designada com o sinal positivo e sua ausência, com o sinal negativo. Adaptado de Khan (1971).

De acordo com Roberts (1973), o estado de dormência das sementes é provocado pela restrição na respiração, por meio do ciclo das pentoses, indispensável à ocorrência da germinação. Bewley & Black (1994) sugerem um controle genético da dormência das sementes, por meio da observação de uma grande diversidade de níveis de dormência em populações naturais de aveia silvestre (*Avena fatua*). Embora existam algumas evidências em favor das teorias propostas, nenhuma foi totalmente comprovada, até o presente momento.

3.8 Consequências da dormência em sementes e possibilidade de uso no manejo de plantas daninhas

A dormência é considerada um importante mecanismo de sobrevivência das sementes por longos períodos no solo, sendo considerada uma contínua fonte de infestação de plantas daninhas. O mecanismo de dormência das sementes assegura a sobrevivência de muitas espécies de invasoras por muitos anos, contribuindo para a manutenção dos bancos de sementes no solo.

A maior parte das causas da dormência, além dos principais métodos empregados na sua superação, são bastante conhecidos, entretanto, o seu

uso no manejo de plantas daninhas permanece, ainda, obscuro. Em laboratório, os tratamentos utilizados na quebra da dormência das sementes de inúmeras espécies de plantas daninhas são rotineiramente empregados. Estes métodos, segundo Zimdahl (1993), são classificados, de uma forma geral, em métodos abrasivos, manipulação da temperatura e métodos químicos.

Contudo, em condições de campo o problema da dormência torna-se mais difícil de ser solucionado. Métodos empregados em laboratório não são adequados para operações de cultivo em áreas destinadas a produção, pelo fato de que as sementes de plantas daninhas não podem ser reconhecidas nestas condições. O preparo do solo é uma boa alternativa para superação da dormência, enquanto que o não revolvimento é uma maneira satisfatória de manutenção da dormência de sementes enterradas. Desta forma, o cultivo do solo expõe as sementes à luz e às mudanças de temperatura.

Práticas culturais não são seletivas e afetam todas as sementes; portanto, em algumas espécies a dormência pode ser promovida com o preparo do solo, enquanto que em outras ela pode ser superada. O manejo de plantas daninhas deve continuar enfatizando o controle das invasoras até que obtenha uma melhor compreensão do processo de dormência nas sementes e desenvolvam métodos que utilizem este mecanismo nas táticas de manejo cultural (Zimdahl, 1993). Para efeito de controle das plantas daninhas seria interessante que o máximo de sementes germinasse simultaneamente, ou seja, que os mecanismos de dormência pudessem ser manipulados no sentido de uniformizar a germinação e facilitar o controle.

Algumas alternativas de manejo que têm mostrado resultados satisfatórios no controle de plantas daninhas são o plantio direto e o preparo do solo à noite, principalmente para evitar a germinação de sementes cujo mecanismo de dormência seria a sensibilidade das sementes à luz. Neste caso, sementes fotoblásticas positivas de algumas espécies de invasoras seriam mantidas em seu estado de repouso com o não revolvimento do solo em áreas de plantio direto, contribuindo substancialmente para maximizar o seu controle.

Segundo Radosevich et al. (1996) a cobertura do solo tem sido utilizada para reduzir a abundância de plantas daninhas, por meio da manipulação dos requerimentos das sementes para a quebra da dormência. De acordo com estes mesmos autores, sementes de *Lolium* spp. apresentam requerimentos particulares de luz e temperatura para germinação, a qual pode ser interrompida pela presença da cobertura vegetal no solo. Desta forma, a cobertura do solo promovida pelo plantio direto na cultura do trigo pode propiciar um controle substancial da população desta invasora.

Outra possibilidade de utilização da dormência das sementes no manejo de plantas daninhas seria a aplicação de produtos químicos no solo visando uniformizar a germinação das sementes e propiciar um controle mais efetivo com herbicidas. Contudo, esta prática não tem se mostrado

economicamente viável, em virtude do alto custo de determinados produtos utilizados para esta finalidade, como o etileno, sais de nitrato e ácido giberélico, contribuindo para o aumento dos custos de produção das culturas. Apenas o etileno tem sido utilizado com relativo sucesso em aplicações de larga escala no solo para o controle de determinadas espécies de invasoras nos Estados Unidos.

4. Longevidade das Sementes de Plantas Daninhas no Solo

Diversas condições afetam a longevidade das sementes de invasoras no solo. Uma vez que a germinação é, aparentemente, o destino predominante das sementes de plantas daninhas, os fatores que favorecem este processo podem reduzir a longevidade e a persistência das sementes no solo (Roberts, 1974).

A persistência das sementes de plantas daninhas pode ser reduzida significativamente pelas operações de preparo do solo (Roberts & Feast, 1973). De acordo com os trabalhos conduzidos por Roberts & Dawkins (1967) e Roberts & Neilson (1981), na ausência de ressemeadura ou dispersão, as sementes de plantas daninhas em solos cultivados foram reduzidas em aproximadamente 25% ao ano. Em geral, sementes enterradas próximo da superfície do solo perdem a sua viabilidade mais rapidamente do que aquelas sementes enterradas em maiores profundidades (Toole, 1946). Em consonância, altas temperaturas do solo também favorecem a perda de viabilidade das sementes (Schafer & Chilcote, 1970).

Roberts (1983) verificou que as taxas máximas de deterioração (aproximadamente 45% ao ano) ocorreram quando o preparo solo foi realizado várias vezes ao ano. As menores taxas de deterioração (aproximadamente 25% ao ano) ocorreram quando o solo não foi revolvido. Taxas de 50% ao ano indicam que após sete anos, a população de sementes no solo poderá ser de aproximadamente 1% daquela presente inicialmente.

Nem todas as espécies de invasoras são capazes de apresentar prolongada persistência no solo. De fato, sob condições de cultivo o período médio de viabilidade das sementes para muitas espécies é superior a cinco anos (Egley & Chandler, 1983).

Estudos sobre a longevidade de sementes de plantas daninhas em solos não perturbados indicaram que as sementes de *Rumex crispus*, *Oenothera biennis* e *Verbascum blattaria* permaneceram viáveis após oitenta anos (Darlington & Steinbauer, 1961). Em outro trabalho, sementes de *Chenopodium album* e *Ranunculus repens* permaneceram viáveis por pelo menos vinte anos (Lewis, 1973). Dawson & Bruns (1975) verificaram que algumas sementes de poáceas invasoras (*Echinochloa crus-galli*, *Setaria viridis* e *S. lutescens*) permaneceram viáveis no solo por aproximadamente treze anos.

Villiers (1974) propôs uma hipótese de que sementes hidratadas, porém não germinadas, podem estender o seu período de viabilidade por meio de processos de reparação ou substituição de componentes celulares, tais como DNA, enzimas e membranas, os quais podem ajudar a explicar como as sementes de algumas espécies de invasoras podem permanecer viáveis no solo por períodos bastante prolongados. O mesmo autor sugeriu que as sementes podem sofrer danos, como, por exemplo, desorganização do sistema de endomembranas, porém os danos podem ser reparados ou componentes celulares essenciais podem ser substituídos em sementes hidratadas, durante o armazenamento. Sementes secas abaixo de um determinado nível crítico não apresentam umidade suficiente para suportar o metabolismo necessário para o processo de reparação.

Danos ao sistema de membranas ou falhas aparentemente ocorrem, em alguma extensão, durante os estádios iniciais de germinação, em virtude da perda de solutos celulares provocados pela rápida embebição em sementes deterioradas (Duke & Kakefuda, 1981). Evidências ultraestruturais que suportam a hipótese de Villiers (1974) a respeito de danos às membranas e regeneração foram obtidas com sementes de alface (*Lactuca sativa*) e *Fragaria* spp. (Villiers & Edgumbe, 1975).

5. Manipulação Química da Dormência em Sementes de Plantas Daninhas

A manipulação da dormência das sementes de inúmeras espécies de plantas daninhas por meio da utilização de produtos químicos é uma alternativa de manejo que oferece boas possibilidades de sucesso, visando promover um controle mais eficiente das invasoras com herbicidas. O desenvolvimento de tal tecnologia vai estar na dependência do conhecimento adequado dos mecanismos de dormência da espécie alvo e da descoberta de novas substâncias que apresentem alta atividade na superação da dormência das sementes.

Diversos produtos químicos têm sido testados em laboratório com relativo sucesso na superação de inúmeros mecanismos de dormência utilizados por diferentes espécies de invasoras. Contudo, o desenvolvimento de uma técnica simples, de baixo custo e que ofereça possibilidade de uso em larga escala nos campos de produção, ainda necessita ser melhor pesquisada. Segundo Taylorson (1987) os compostos químicos mais comumente utilizados em trabalhos experimentais têm sido as substâncias nitrogenadas (aminoácidos, amônio, azidas, cianamidas, hidroxilaminas, nitrato, nitrito, tiouréia e uréia), reguladores de crescimento (ácido giberélico, citocininas e etileno), herbicidas e compostos químicos que inibem a germinação (ácido abscísico).

Um exemplo de estimulante da germinação que tem sido utilizado com sucesso no campo para aumentar a eficiência no controle de plantas daninhas é o etileno. Aplicações de etileno induziram a germinação das se-

mentes de *Striga asiatica* e reduziram o número de sementes viáveis desta parasita de plantas em solos da Carolina do Norte e Carolina do Sul, nos Estados Unidos (Eplee, 1975). *S. asiatica* é uma planta daninha considerada como parasita obrigatório de raízes de milho (*Zea mays*) e várias outras poáceas de verão. As sementes desta invasora normalmente não germinam antes de estarem bastante próximas das raízes das plantas hospedeiras que exudam um estimulante para sua germinação. Uma vez que o etileno estimulou a germinação das sementes desta espécie de invasora no solo, na ausência das raízes da planta hospedeira, um método de controle bastante atrativo foi descoberto.

O estímulo da germinação das sementes de *S. asiatica* na ausência do hospedeiro é letal para esta planta parasita, uma vez que o ataque às raízes da planta hospedeira é fundamental para sua sobrevivência. Aquelas plântulas deste parasita que conseguiram sobreviver foram satisfatoriamente controladas por métodos químicos convencionais (Joel et al., 1995). Os métodos de aplicação de etileno no solo foram desenvolvidos pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA) e mais de 6.000 hectares de campos infestados com *S. asiatica* são tratados anualmente. Testes realizados posteriormente indicaram que as populações de sementes de *S. asiatica* no solo foram reduzidas em mais de 90% nos campos tratados com etileno.

Os resultados indicam que o problema da dormência em bancos de sementes no solo pode ser significativamente reduzido com trabalhos desta natureza. Obviamente que as consequências decorrentes dos mecanismos de dormência das sementes não serão completamente solucionadas, pelo fato destes mecanismos serem um meio biológico de sobrevivência bem estabelecido pelas plantas daninhas, ao longo de muitos séculos de seleção natural. Entretanto, com um melhor entendimento dos mecanismos que controlam a dormência e o processo de germinação das sementes de inúmeras espécies de invasoras, certamente serão desenvolvidas novas tecnologias e tratamentos adequados para equacionar ou, pelos menos, reduzir significativamente o impacto da competição de plantas daninhas sobre as culturas.

Referências

- Amen, R.D., A model of seed dormancy. *Bot Rev*, 34:1–25, 1968.
- Baskin, J.M. & Baskin, C.C., The annual dormancy cycle in buried weed seeds: a continuum. *Bioscience*, 25:492–498, 1985.
- Baskin, J.M. & Baskin, C.C., Physiology of dormancy and germination in relation to seed bank ecology. In: Baskin, J.M. & Baskin, C.C., (Eds.). *Ecology and Soil Seed Banks*. San Diego, EUA: Academic Press, 1989. p. 53–66.
- Bazzaz, F.A., Plant-plant interactions in successional environments. In: Grace, J.B. & Tilman, D., (Eds.). *Perspectives on Plant Competition*. San Diego, EUA: Academic Press, 1990. p. 239–263.
- Benoit, D.L.; Derksen, D.A. & Panneton, B., Innovative approaches to seedbank studies. *Weed Sci*, 40:660–669, 1992.
- Benoit, D.L.; Kenkel, N.C. & Cavers, P.B., Factors influencing the precision of soil seed bank estimates. *Can J Bot*, 67:2833–2840, 1989.
- Bewley, J.D. & Black, M., Dormancy and the control of germination. In: Bewley, J.D. & Black, M., (Eds.). *Seeds: Physiology of Development and Germination*. New York, EUA: Plenum Press, 1994. p. 199–271.
- Brasil, , *Regras para Análise de Sementes*. Brasília, DF: Ministério da Agricultura e Reforma Agrária, 2009. 399 p.
- Buhler, D.D.; Hartzler, R.G. & Forcella, F., Weed seed bank dynamics: implications to weed management. In: Basra, A.S., (Ed.). *Crop Sciences: Recent Advances*. New York, EUA: The Haworth Press, 1998. p. 145–168.
- Burnside, O.C.; Noomaw, R.S.; Roeth, F.W.; Wicks, G.A. & Wilson, R.G., Weed seed demise in soil in weed-free corn (*Zea mays*) production across Nebraska. *Weed Sci*, 34:248–251, 1986.
- Carvalho, N.M. & Nakagawa, J., (Eds.), *Sementes: Ciência, Tecnologia e Produção*. 4a edição. Jaboticabal, SP: FUNEP, 2000. 588 p.
- Cavers, P.B., Seed demography. *Can J Bot*, 61:3678–3690, 1983.
- Cavers, P.B., Seed banks: memory in soil. *Can J Soil Sci*, 75:11–13, 1995.
- Cicero, S.M., Dormência de sementes. In: Cicero, S.M.; Mascos-Filho, J. & Silva, W.R., (Eds.). *Atualização em Produção de Sementes*. Campinas, SP: Fundação Cargill, 1986. p. 41–73.
- Copeland, L.O. & McDonald, M.B., Seed dormancy. In: Copeland, L.O. & McDonald, M.B., (Eds.). *Principles of Seed Science and Technology*. New York, EUA: Macmillan Publishing Company, 1985. p. 103–120.
- Crocker, W. & Barton, L.V., *Physiology of Seeds*. Waltham, EUA: Chronica Botanica Company, 1957. 267 p.
- Darlington, H.T. & Steinbauer, G.P., The eighty-year period for Dr. Beal's seed viability experiment. *Am J Bot*, 48:321–328, 1961.

- Dawson, J.H. & Bruns, V.F., Longevity of barnyard grass, green foxtail and yellow foxtail seeds in soil. *Weed Sci*, 23:437-440, 1975.
- Duke, S.H. & Kakefuda, G., Role of the testa in preventing cellular rupture during imbibition of legume seeds. *Plant Physiol*, 67:447-450, 1981.
- Egley, G.H., Seed germination in soil: dormancy cycles. In: Kigel, J. & Galili, G., (Eds.). *Seed Development and Germination*. New York, EUA: Marcel Dekker, Inc., 1995. p. 529-543.
- Egley, G.H. & Chandler, J.M., Longevity of weed seeds after 5.5 years in the Stoneville 50-year buried seed study. *Weed Sci*, 31:264-270, 1983.
- Egley, G.H. & Duke, S.O., Physiology of weed seed dormancy and germination. In: Duke, S.O., (Ed.). *Weed Physiology - Reproduction and Ecophysiology*. Boca Raton, EUA: CRC Press, v. 1, 1985. p. 27-64.
- Eplee, R.E., Ethylene: a witchweed seed germination stimulant. *Weed Sci*, 23:433-436, 1975.
- Fenner, M., *Seed ecology*. London, UK: Chapman and Hall, 1985. 485 p.
- Fenner, M., Ecology of seed banks. In: Kigel, J. & Galili, G., (Eds.). *Seed Development and Germination*. New York, EUA: Marcel Dekker, Inc., 1995. p. 507-528.
- Harper, J.L., *Population Biology of Plants*. London, UK: Academic Press, 1977. 892 p.
- Joel, D.M.; Steffens, J.C. & Matthews, D.E., Germination of weedy root parasites. In: Kigel, J. & Galili, G., (Eds.). *Seed Development and Germination*. New York, EUA: Marcel Dekker, Inc., 1995. p. 567-597.
- Khan, A.A., Cytokinins: permissive role in seed germination. *Science*, 171:853-859, 1971.
- Khan, A.A., *The Physiology and Biochemistry of Seed Dormancy and Germination*. 2a edição. Amsterdam: Elsevier/North Holland, 1980. 447 p.
- Klingman, G.C.; Ashton, F.M. & Noordhoff, L.J., Biology of weeds and weed seeds. In: Klingman, G.C.; Ashton, F.M. & Noordhoff, L.J., (Eds.). *Weed Science: Principles and Practices*. New York, EUA: John Wiley & Sons, 1982. p. 37-57.
- Leck, M.A.; Parker, V.T. & Simpson, R.L., *Ecology of soil seed banks*. London, UK: Academic Press, 1989. 524 p.
- Lewis, J., Longevity of crop and weed seeds: survival after 20 years in soil. *Weed Res*, 13:179-191, 1973.
- Marcos Filho, J., *Fisiologia de Sementes de Plantas Cultivadas*. Piracicaba, SP: FEALQ, 2005. 495 p.

- Mayer, A.M. & Poljakoff-Mayber, A., Dormancy, germination inhibition and stimulation. In: Mayer, A.M. & Poljakoff-Mayber, A., (Eds.). *The Germination of Seeds*. Oxford, UK: Pergamon Press, 1989. p. 71–110.
- Murdoch, A.J. & Ellis, R.H., Longevity, viability and dormancy. In: Fenner, M., (Ed.). *Seeds: the Ecology of Regeneration in Plant Communities*. Wallingford, EUA: CAB International, 1992. p. 193–229.
- Olatoye, S.T. & Hall, M.A., Interaction of ethylene and light on dormant weed seeds. In: Heydecker, W., (Ed.). *Seed Ecology*. Norwich, EUA: The Pennsylvania State University Press, 1972. p. 233–249.
- Popinigis, F., *Fisiologia da Semente*. 2a edição. Brasília, DF: AGIPLAN, 1985. 289 p.
- Radosevich, S.; Holt, J. & Ghersa, C., Weed demography and population dynamics. In: Radosevich, S.; Holt, J. & Ghersa, C., (Eds.). *Weed Ecology: Implications for Management*. New York, EUA: John Wiley & Sons, 1996. p. 103–162.
- Roberts, E.H., Oxidative processes and the control of seed germination. In: Heydecker, W., (Ed.). *Seed Ecology*. Norwich, EUA: Pennsylvania State University Press, 2a edição, 1973. p. 189–218.
- Roberts, E.H., Dormancy: a factor affecting seed survival in the soil. In: Roberts, E.H., (Ed.). *Viability of Seeds*. London, UK: Chapman and Hall, 1974. p. 321–359.
- Roberts, H.A., Weed seeds in horticultural soils. *Sci Hort*, 34:1–11, 1983.
- Roberts, H.A. & Dawkins, P.A., Effect of cultivation on the numbers of viable weed seeds in soil. *Weed Res*, 7:290–301, 1967.
- Roberts, H.A. & Feast, P.M., Emergence and longevity of seeds of annual weeds in cultivated and undisturbed soil. *J Appl Ecol*, 10:133–143, 1973.
- Roberts, H.A. & Neilson, J.E., Changes in the soil seed bank of four long term crop herbicide experiments. *J Appl Ecol*, 18:661–668, 1981.
- Roberts, H.A. & Ricketts, M.E., Quantitative relationships between the weed flora after cultivation and the seed population in the soil. *Weed Res*, 19:269–275, 1979.
- Schafer, D.E. & Chilcote, D.P., Factors influencing persistence and depletion in buried seed populations. II. The effects of soil temperature and moisture. *Crop Sci*, 10:342–345, 1970.
- Schonbeck, M.W. & Egley, G.H., Changes in sensitivity of *Amaranthus retroflexus* L. seeds to ethylene during preincubation I. Constant temperatures. *Plant Cell Environ*, 4:229–236, 1981.
- Schweizer, E.E. & Zimdahl, R.L., Weed seed decline in irrigated soil after six years of continuous corn (*Zea mays*) and herbicides. *Weed Sci*, 32:76–83, 1984.

- Standifer, L.C., A technique for estimating weed seed populations in cultivated soil. *Weed Sci*, 28:134–138, 1980.
- Taylorson, R.B., Environmental and chemical manipulation of weed seed dormancy. *Rev Weed Sci*, 3:135–154, 1987.
- Thomas, T.H., Cytokinins, cytokinin-active compounds and seed germination. In: Khan, A.A., (Ed.). *The Physiology and Biochemistry of Seed Dormancy and Germination*. Amsterdam, The Netherlands: Elsevier/North Holland, 2a edição, 1980. p. 111–144.
- Thompson, K. & Grime, J.P., Seasonal variation in the seed banks of herbaceous species in ten contrasting habitats. *J Ecol*, 67:893–921, 1979.
- Toole, E.H., Final results of the Duvel buried seed experiment. *J Agric Res*, 72:201–210, 1946.
- Vidaver, W., Light and seed germination. In: Khan, A.A., (Ed.). *The Physiology and Biochemistry of Seed Dormancy and Germination*. Amsterdam, The Netherlands: Elsevier/North Holland, 2a edição, 1977. p. 181–198.
- Villiers, T.A., Seed dormancy. In: Kozłowski, T.T., (Ed.). *Seed Biology*. New York, EUA: Academic Press, v. 2, 1972. p. 219–281.
- Villiers, T.A., Seed aging: chromosome stability and extended viability of seeds stored fully imbibed. *Plant Physiol*, 53:875–878, 1974.
- Villiers, T.A. & Edgecumbe, D.J., On the cause of seed deterioration in dry storage. *Seed Sci Technol*, 3:761–774, 1975.
- Voll, E.; Domit, L.A.; Gazziero, D.L.P.; Rodrigues, B.N.; Adegas, F.S.; Costa, J.M.; Wobeto, C. & Vicente, D., *Levantamento de Banco de Sementes e de Flora Daninha Emergente no Manejo Integrado de Plantas Daninhas, em Lavouras de Soja no Paraná – 95/96*. Londrina, PR: Embrapa Soja, 1997. 6 p.
- Wilson, R.G., Biology of weed seeds in soil. In: Altieri, M. & Liebman, M., (Eds.). *Weed Management in Agroecosystems: Ecological Approaches*. Boca Raton, EUA: CRC Press, 1988. p. 25–39.
- Wilson, R.G.; Kerr, E.D. & Nelson, L.A., Potential for using weed seed content in the soil to predict future weed problems. *Weed Sci*, 33:171–175, 1985.
- Zimdahl, R.L., Weed biology: reproduction and dispersal. In: Zimdahl, R.L., (Ed.). *Fundamentals of Weed Science*. San Diego, EUA: Academic Press, 1993. p. 59–89.