

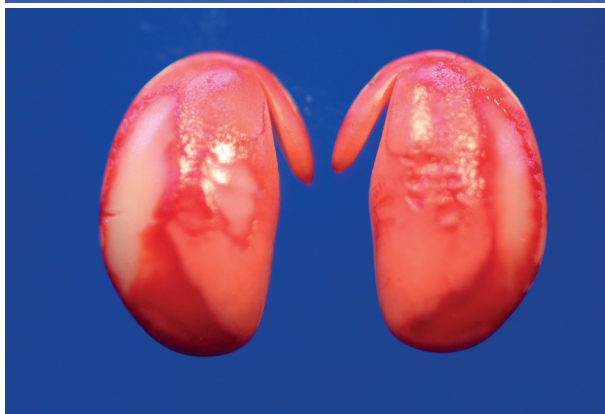
CIRCULAR TÉCNICA

191

Londrina, PR
Dezembro, 2022

Deterioração e vigor da semente

Francisco Carlos Krzyzanowski
Denise Cunha Fernandes dos Santos Dias
José de Barros França-Neto



Deterioração e vigor da semente¹

Deterioração e vigor são processos fisiológicos intimamente relacionados, pois quando a deterioração progride há uma correspondente redução no vigor. As sementes, como qualquer ser vivo, não conseguem ter suas funções vitais preservadas indefinidamente, uma vez que estão sujeitas à deterioração e, inevitavelmente, envelhecem e morrem.

O pioneiro a conceituar o processo de deterioração na semente foi Delouche (1979), professor de fisiologia de sementes da Universidade Estadual do Mississippi, EUA, que caracterizou a deterioração da semente como um processo inexorável, irreversível e mínimo no ponto de maturidade fisiológica, quando o máximo conteúdo de matéria seca foi acumulado. Inexorável porque não pode ser evitado, sendo possível reduzir a sua velocidade e intensidade de modo a retardá-lo, mas não pará-lo totalmente. Irreversível porque uma vez iniciado não é possível revertê-lo, trazendo a qualidade da semente ao ponto inicial.

Delouche (1979) também caracterizou a deterioração como um processo complexo, resultante de uma série de reações degenerativas, que interferem na sobrevivência das sementes. São alterações de ordem bioquímica, citológica, fisiológica e física, que se iniciam após a maturidade fisiológica e que vão acarretando redução gradativa do potencial fisiológico das sementes, até culminar na sua morte. Apesar de ser considerado um processo natural, sua intensidade e velocidade dependem do genótipo, da composição química e do grau de umidade das sementes e, também, das condições a que são submetidas no período compreendido entre a pós-maturidade e a pré-semeadura em campo. A deterioração é influenciada também pela interação de fatores bióticos, que são os microrganismos e pragas, e abióticos, que são as condições ambientais.

Como exemplos de fatores bióticos, tem-se os insetos, como percevejos, que deterioram as sementes pela ação de suas enzimas salivares, o fungo

¹ **Francisco Carlos Krzyzanowski**, engenheiro-agrônomo, Ph.D. em Tecnologia de Sementes, pesquisador da Embrapa Soja, Londrina, PR; **Denise Cunha Fernandes dos Santos Dias**, engenheira-agrônoma, doutora, professora titular do Departamento de Agronomia, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG; **José de Barros França-Neto**, engenheiro-agrônomo, Ph.D. em Tecnologia de Sementes, pesquisador da Embrapa Soja, Londrina, PR.

Nematospora coryli (França-Neto; Krzyzanowski, 2022) e os fungos de armazenamento *Aspergillus* spp. e *Penicillium* sp. (França-Neto et al., 2016).

Os fungos de armazenamento aceleram a deterioração das sementes, pois os nutrientes e a energia armazenadas nas sementes são liberados em menor quantidade durante o metabolismo da semente e em maior quantidade pela ação dos fungos de armazenamento presentes nessas sementes (Mills, 1986). Como consequência, promovem o aumento da taxa de ácidos graxos, causando rancificação do óleo, sendo a taxa de ácidos graxos livres um indicativo de deterioração das sementes. Provocam o aquecimento da massa de sementes, com consequente aumento da taxa respiratória, levando as sementes a uma rápida deterioração. Na fase de pré-colheita, temperatura e umidade relativa elevadas ou a ocorrência de chuvas aceleram a deterioração das sementes e o processo pode ser potencializado pela associação com microrganismos (Peske et al., 2012).

O limite mínimo de umidade em sementes para crescimento das diversas estirpes do fungo *Aspergillus* situa-se entre 12,0% e 17,5% de umidade e de *Penicillium* entre 16,0% e 18,5% (Scussel, 2002). Em sementes de soja armazenadas com conteúdo de água acima de 14,0%, predomina o *Aspergillus flavus*. Recomenda-se armazenar sementes de soja com grau de umidade abaixo de 13,0% (França-Neto et al., 2016).

Vale ressaltar que a intensidade e a velocidade da deterioração variam com a espécie, com a variedade, entre lotes de sementes de uma mesma variedade, entre sementes de um mesmo lote ou até de uma mesma embalagem e entre as diferentes estruturas das sementes. Por exemplo, em gramíneas (Figura 1), geralmente a deterioração inicia-se nas células da extremidade da radícula e progride em direção ao escutelo e demais regiões do eixo embrionário. Já, em sementes de leguminosas (Fabaceae) (Figura 2), as regiões mais sensíveis são os pontos de crescimento do embrião, como epicótilo e radícula (Marcos-Filho, 2015).

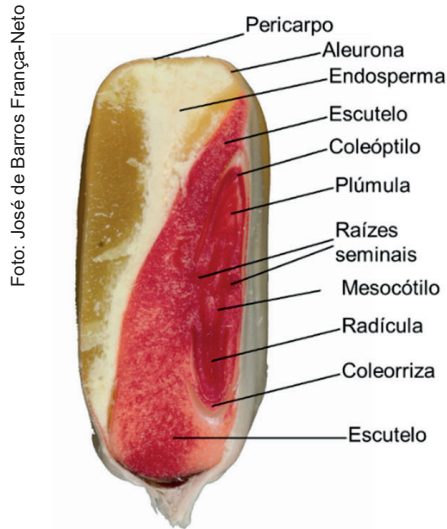


Figura 1. Corte longitudinal de uma semente de milho, após a coloração em tetrazólio.

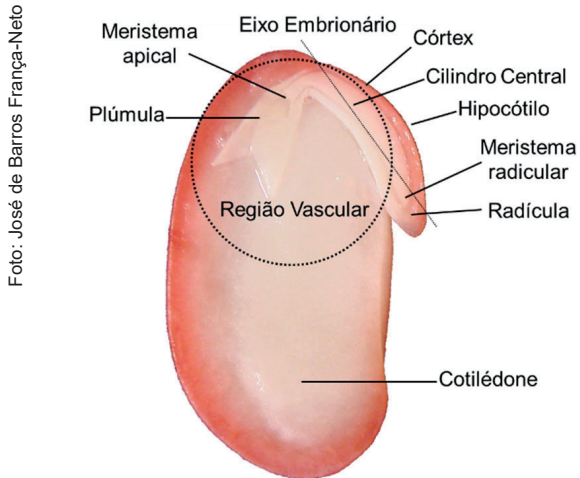


Figura 2. Corte longitudinal da semente de feijão, ilustrando as partes componentes da estrutura embrionária.

Outro aspecto relevante a ser considerado é que lotes de sementes de uma mesma variedade com a mesma idade cronológica podem ter desempenho fisiológico distintos por apresentarem diferentes níveis de deterioração. Ou seja, a idade cronológica das sementes pode não ser a principal determinan-

te da deterioração como em animais, uma vez que, conforme já comentado acima, nas sementes, as condições de ambiente são decisivas para a velocidade do processo de deterioração. Assim, lotes de sementes com a mesma idade cronológica podem exibir desempenhos totalmente distintos por apresentarem níveis de deterioração diferentes, determinados pelas condições de maturação, colheita, processamento, armazenamento, ou seja, pelo seu histórico de produção. Deste modo, lotes de sementes já armazenados por algum tempo podem apresentar desempenho superior ao de lotes recém-colhidos, indicando que o processo de deterioração nestes pode ter sido mais intenso devido às condições específicas de ambiente ou de manejo (Delouche, 1979).

As bases fisiológicas e bioquímicas do processo de deterioração das sementes têm sido intensivamente estudadas. A redução da qualidade de sementes é desencadeada por várias reações bioquímicas que danificam biomoléculas (Kumar et al., 2015). Dentre essas reações, a peroxidação de lipídios tem sido apontada como a principal causa da deterioração (Gutteridge; Halliwell, 1990; McDonald, 1999). Os lipídios na semente são os triglicerídeos (lipídios de reserva nas oleaginosas) e os fosfolipídios das membranas (Figura 3), com destaque para as membranas das mitocôndrias, que são o centro de produção de energia das células. Portanto, o colapso das mitocôndrias (Figura 4) nas regiões de crescimento da plântula, principalmente do eixo embrionário nas dicotiledôneas e da extremidade da radícula nas monocotiledôneas, resultam no baixo desempenho fisiológico da semente (Marcos-Filho, 2015). A mitocôndria tem ampla superfície de membranas (cristas), com predomínio de lipídios insaturados (mais instáveis). As membranas são sítios da respiração (transporte de elétrons x cristas) e o avanço do processo de deterioração compromete a produção de ATP. As membranas contêm o seu próprio DNA (mtDNA), que é mais suscetível aos radicais livres que o DNA nuclear.

Ilustração Mariana Ruiz Villareal

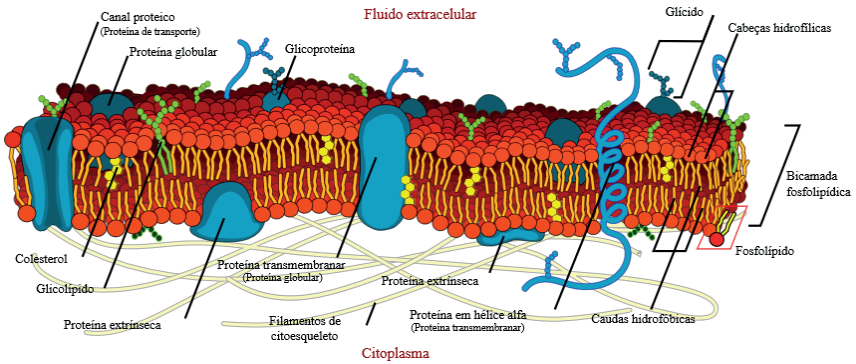


Figura 3. Ilustração da membrana plasmática mostrando os fosfolípidios e proteínas.
Fonte adaptado de Bellairs e Rysavy (2018).

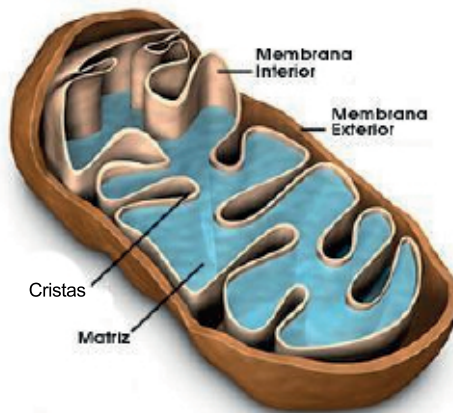


Figura 4. Ilustração da mitocôndria, suas partes e membranas interiores e exterior.
Fonte: Colegioweb (2012).

Os triglicerídeos são moléculas quimicamente instáveis devido às ligações duplas ou triplas entre as moléculas de carbono dos ácidos graxos (Figura 5).

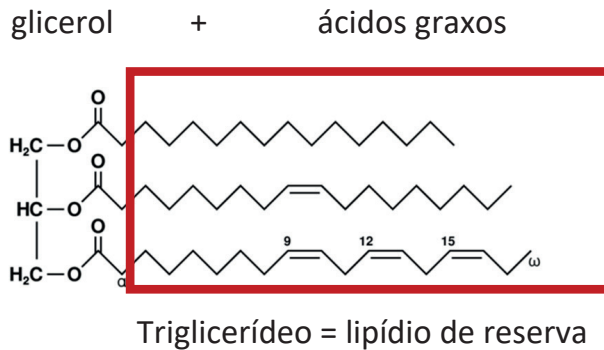


Figura 5. Molécula de triglicerídeo com seus componentes (glicerol e ácidos graxos).

Fonte: Dias (2017).

Os triglicerídeos reagem facilmente com o oxigênio, gerando radicais livres (RL), conforme ilustra a reação das Figuras 6 e 7.

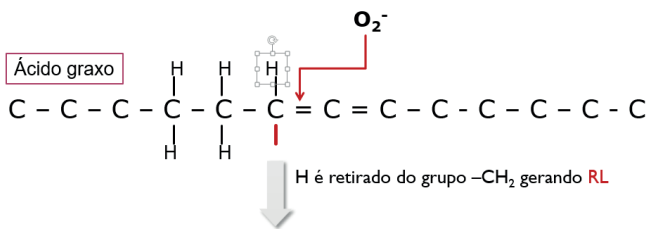


Figura 6. Oxidação de ácidos graxos produzindo RL e hidroperóxidos instáveis, que geram novos RLs, produzindo álcoois e aldeídos, que são compostos tóxicos, que afetam a germinação.

Fonte: Dias (2017).

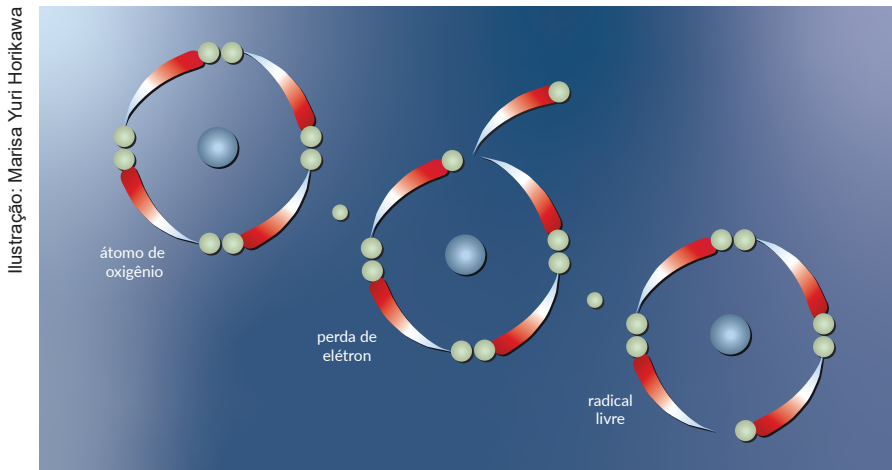


Figura 7. Representação esquemática do processo de liberação de um radical livre a partir do átomo de oxigênio.

Fonte: Adaptado de McDonald (2010).

Um radical livre tem na sua última camada um elétron não-pareado, podendo doar ou receber um elétron, sendo altamente instável e reativo de modo a provocar danos às moléculas vizinhas e afetar diversas atividades celulares. Na verdade, radical livre não é o termo ideal para designar os agentes reativos gerados pela peroxidação, pois alguns destes agentes, mesmo sendo altamente reativos, não apresentam elétrons não-pareados em sua última camada. Como em sua maioria, são derivados do metabolismo do O_2 , o termo mais indicado para estes compostos seria “espécies reativas de oxigênio” (EROs), que são subprodutos naturais do metabolismo celular, formados a partir da redução incompleta ou parcial do oxigênio. As EROs são produzidas constantemente dentro das células e estão envolvidas em diversos processos como sinalização celular, proteção contra patógenos, estresses abióticos, mas, quando produzidas em grande quantidade, geram estresse oxidativo nas células que leva à deterioração. As mais conhecidas são: ânion superóxido (O_2^-); peróxido de hidrogênio (H_2O_2); radical hidroxila (OH); e oxigênio singleto (1O_2) (Mittler, 2017).

Portanto, pode-se afirmar que o acúmulo de EROs decorrentes do estresse oxidativo leva a uma série de alterações metabólicas, como desestruturação das membranas celulares, inativação de enzimas, degradação de proteínas e lipídios, perda de integridade das moléculas de DNA, comprometendo

suas funções biológicas e culminando com a morte celular. Embora todos os componentes celulares sejam suscetíveis à ação das EROs, deve-se destacar que as membranas celulares, por serem constituídas principalmente por fosfolípidios, são o sítio principal da peroxidação e formação das EROs, de modo que as alterações no sistema de membranas são relatadas como uma das primeiras manifestações da deterioração (Kumar et al., 2015; Ebone et al., 2019).

Nesse sentido, recentemente, Ebone et al. (2019) descreveram os processos oxidativos que ocorrem nas células e que podem resultar na deterioração de sementes ortodoxas, conforme ilustrado nas fases descritas na Figura 8.

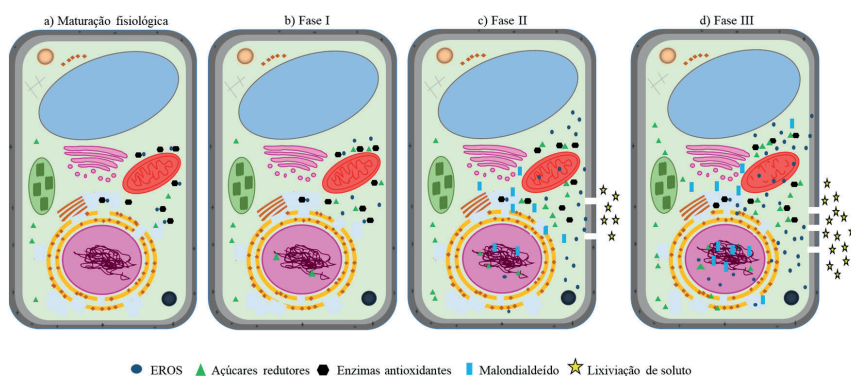


Figura 8. Fases da deterioração das sementes. a) semente em maturidade fisiológica, sem sinais de deterioração; b) Fase I: início da deterioração, com uma ligeira redução do vigor causada pelas reações de redução de açúcares com enzimas antioxidantes e material genético; c) Fase II: a célula apresenta danos oxidativos, causando peroxidação lipídica, levando à lixiviação de solutos e à formação de malondialdeído, o que aumenta os danos ao material genético; d) Fase III: colapso celular, com desconstrução das membranas mitocondriais, elevados danos ao material genético e elevado acúmulo de EROs (espécies reativas de oxigênio), açúcares redutores e malondialdeído.

Fonte: Ebone et al. (2019).

É importante ressaltar, contudo, que as células são dotadas de mecanismos de defesa antioxidante capazes de neutralizar a ação das EROs e atenuar os efeitos deletérios da peroxidação de lipídios, conforme ilustra a Figura 9. Sistemas enzimáticos, representados pelas enzimas superóxido dismutase, catalase e peroxidases, e não enzimáticos, como o tocoferol (vitamina E),

ácido ascórbico (vitamina C), flavonoides e glutathione, desempenham papel crucial na neutralização das EROs. O estresse oxidativo ocorre quando há um desequilíbrio entre a produção de antioxidantes e de EROs, gerando um acúmulo destes (Marcos-Filho, 2015; Ebone et al., 2019).

Ilustração Marcelo Augusto Limão



Figura 9. Representação gráfica do equilíbrio (estado estável) (A) e do desequilíbrio (estresse oxidativo) (B) entre a produção de antioxidantes e de oxigênio reativo (EROs).

Fonte: Dias (2020).

Pode-se concluir, portanto, que o processo de deterioração que resulta na redução do potencial fisiológico das sementes é devido, principalmente, ao acúmulo progressivo de EROs, de modo que para a manutenção da viabilidade e do vigor é importante que os sistemas antioxidantes mencionados acima estejam atuando em nível satisfatório (Kumar et al., 2015; Ebone et al., 2019). Por exemplo, em sementes armazenadas sob condições inadequadas, submetidas a elevadas temperaturas e umidade relativa, o acúmulo progressivo de danos oxidativos às células refletirá em redução na germinação e no vigor, podendo até causar a morte do embrião (Dias, 2017).

Uma sequência de eventos que caracterizam a evolução do processo de deterioração na semente (Figura 10) foi formulada por Delouche e Baskin (1973), com base no desempenho fisiológico da semente durante a sua vida ativa, ou seja, a partir da maturidade fisiológica até a sua completa deterioração (morte).

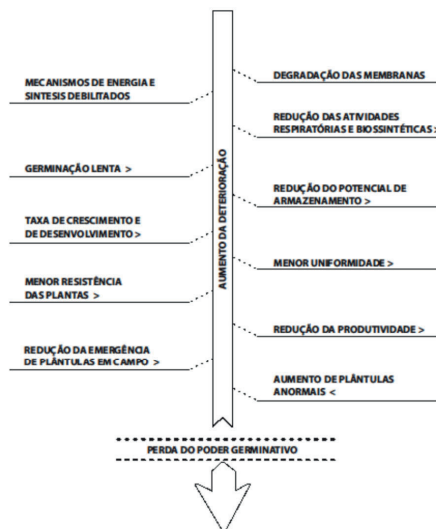


Figura 10. Sequência de eventos que caracterizam a evolução do processo de deterioração na semente.

Fonte: Delouche e Baskin (1973).

Uma das primeiras manifestações da deterioração está relacionada à desestruturação das membranas celulares, que é decorrente da peroxidação dos fosfolipídios presentes em sua constituição. Em seguida, as atividades de biossíntese de moléculas essenciais ao metabolismo celular ficam comprometidas, ocorrendo redução na velocidade de germinação; as sementes se tornam mais sensíveis às condições de armazenamento, aos estresses, comprometendo também o desempenho das plântulas em campo. Nos estádios finais da deterioração, já ocorrem mutações, gerando anormalidades nas plântulas, geralmente atribuídas à morte de tecidos meristemáticos, culminando finalmente com a morte das sementes. Em resumo, a partir da maturidade fisiológica, passa a atuar um conjunto de **reações degenerativas**, que aumentam a vulnerabilidade das sementes às condições do ambiente e diminuem a capacidade de sobreviverem. Tais reações são extremamente indesejáveis para a agricultura, pois comprometem o vigor e o desempenho das sementes no armazenamento e em campo (Delouche; Baskin, 1973).

A definição formal do termo “vigor de sementes” é fruto da dedicação de centenas de pesquisadores, professores e demais profissionais envolvidos com o controle de qualidade de sementes de diversas instituições nacionais

e internacionais, durante os últimos 70 anos. A conceituação pioneira de vigor é atribuída ao Dr. Johann Friedrich Nobbe em 1876, em seu livro “Manual de Estudos de Sementes” (AOSA, 1983), que, ao descrever a germinação de sementes, destacou a diferença de comprimento de raízes, longas e curtas entre as plântulas oriundas de sementes de um mesmo lote. Referindo-se a essa diferença como uma “força motriz”, o que configura a energia de crescimento dessas plântulas.

A ideia dessa força motriz evoluiu ao longo do tempo, mas o termo vigor foi pela primeira vez estabelecido com a formação, em 1950, do Comitê de Bioquímica e Vigor de Plântulas da ISTA (International Seed Testing Association). Isso ocorreu durante o IX Congresso Internacional de Análise de Sementes, ocorrido na cidade de Washington, EUA. Na oportunidade, o Dr. W. J. Franck postulou que os testes conduzidos em solo ou sob condições destinadas a estimar a porcentagem de emergência das plântulas em substrato de terra ou areia deveriam ser chamados de “testes de vigor” (Franck, 1950).

A melhor relação entre a deterioração e o vigor está representada no clássico gráfico de Delouche e Caldwell (1960), onde eles relacionam os declínios da viabilidade e do vigor com o progresso do processo de deterioração (Figura 11). A área hachurada entre a viabilidade e o vigor indica a área onde os testes de vigor são valiosos para indicar a qualidade fisiológica da semente. Observa-se que a queda do vigor é muito mais acentuada do que a da viabilidade com o progresso da deterioração.

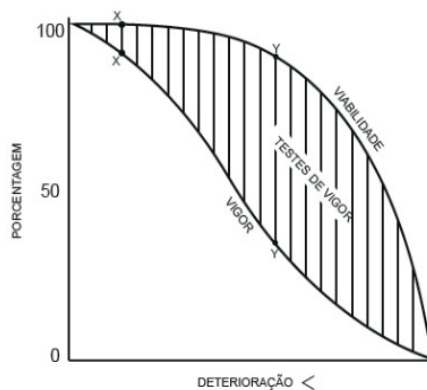


Figura 11. Ilustração dos declínios da viabilidade e do vigor de sementes, com o processo de deterioração.

Fonte: Delouche e Caldwell (1960).

Numa visão ampla de desempenho fisiológico, a ISTA considera que o vigor da semente não é uma propriedade mensurável única, mas um conceito, descrevendo várias características associadas aos seguintes aspectos do desempenho do lote de sementes como: a velocidade e a uniformidade de germinação e de desenvolvimento inicial das plântulas; a capacidade de emergência sob condições ambientais desfavoráveis; e a retenção da capacidade de germinação após o armazenamento. Um lote vigoroso é aquele que é potencialmente capaz de ter um bom desempenho fisiológico sob condições ambientais que não são ideais para a espécie. Portanto, o vigor da semente é a soma das propriedades que determinam a atividade e o desempenho dos lotes de sementes com germinação aceitável, isto é, igual ou superior ao padrão de germinação estabelecido legalmente para a comercialização da espécie, em uma ampla gama de condições ambientais (SEED...,2020).

O vigor é conceituado pela AOSA como “aquelas propriedades das sementes que determinam o seu potencial para uma emergência rápida e uniforme e o desenvolvimento de plântulas normais sob ampla diversidade de condições de ambiente” (Baalbaki et al., 2009). Essa definição contempla diversos parâmetros importantes que merecem destaque:

- Potencial para uma emergência rápida e uniforme das plântulas, o que é fundamental para o bom estabelecimento da lavoura.
- Desenvolvimento de plântulas normais.
- Desempenho das sementes sob condições ideais e sob ampla diversidade de condições de ambiente, incluindo condições ótimas e sob estresses.

Como estresses, podem ser exemplificadas algumas situações como: profundidade excessiva de semeadura; compactação superficial ou assoreamento em consequência da ocorrência de chuvas intensas após a semeadura; semeadura em condições de solo com baixas temperaturas, comuns no Sul do país; ataque de fungos de solo à semente; e seca após a semeadura. Sementes de alto vigor sempre apresentam vantagens nessas situações em relação a uma semente de vigor médio ou baixo. Assim, é possível afirmar que o uso de sementes vigorosas é uma poderosa técnica que favorece o estabelecimento de uma população adequada de plantas, mesmo sob condi-

ções estressantes. Essa vantagem, por si só, já seria suficiente para justificar a utilização de lotes de sementes mais vigorosas.

Entretanto, além dessa vantagem, sabe-se que sementes de alto vigor resultam na produção de plantas de alto desempenho agrônômico, que são vigorosas, com melhor estrutura de parte aérea e com um sistema radicular mais profundo e agressivo, que, conseqüentemente, apresentam um potencial produtivo maior. Plantas de alto desempenho agrônômico aproveitam de maneira mais eficiente os recursos disponíveis para o seu desenvolvimento, como água, luz (fotossíntese) e nutrientes. Essa informação é válida para todas as espécies que se propagam por sementes, incluindo grandes culturas, hortícolas, espécies forrageiras, florestais e florais.

Para se obter elevados índices de produtividade, a operação de semeadura tem papel fundamental no processo. Ao se implantar uma lavoura comercial, é de fundamental importância que a população de plantas seja a ideal, conforme as recomendações técnicas da cultura, e composta por plantas de alto desempenho agrônômico, originadas de sementes de alto vigor. Muitos produtores ainda não têm a perfeita consciência da importância dessa informação e de suas vantagens, e ainda creem que basta obter a população ideal de plantas, sem levar em consideração o nível de vigor das sementes utilizadas. Pode-se citar o exemplo daquele produtor que utiliza sementes de vigor médio ou baixo e ainda acredita que, com o aumento da densidade de semeadura, poderá obter o estande ideal de plantas para aquela cultivar. Isso pode até ser verdadeiro, porém será que as plantas que compõem essa população são de alto desempenho?

A resposta a essa questão depende de diversos fatores, considerando: a espécie cultivada; população de plantas; órgão da planta explorado comercialmente; capacidade de compensação das plantas ou adaptação ao espaço disponível; distribuição espacial das plantas, ou seja, se a avaliação da produção terá como base populações de plantas ou plantas individuais; hábito de crescimento da planta; capacidade de perfilhamento da planta; se haverá o transplante de mudas ou se o estabelecimento das plantas será via semeadura direta; se haverá desbaste, etc.

Porém, na semeadura, para se obter a população ideal de plantas, deve-se também utilizar de semeadoras de alta precisão, bem ajustadas e operadas

em velocidade adequada, que resultarão em alta precisão de plantabilidade, propiciando o estabelecimento de um estande adequado, composto por plantas de alto desempenho, bem espaçadas entre si, sem falhas e sem aglomerados de plantas.

Existem diversos procedimentos para a avaliação do vigor. Para grandes culturas, os mais utilizados são os testes de tetrazólio, de envelhecimento acelerado e o de frio.

Outras metodologias utilizam a condutividade elétrica da solução de lixiviados, índices de deterioração controlada, de crescimento de plântulas e da velocidade de germinação e de emergência de plântulas.

Mais recentemente, os testes de protrusão da raiz primária e a avaliação computadorizada de imagens de plântulas têm proporcionado informações consistentes e merecem atenção.

O desenvolvimento dos testes de vigor foi fundamentado na sequência de eventos que caracterizam o processo de deterioração descrito anteriormente. Como por exemplo, o teste de condutividade elétrica da solução de embebição da semente, que está relacionado ao estágio de degradação da membrana celular; quanto mais degradada, maior a quantidade de lixiviados, tais como compostos orgânicos (açúcares, aminoácidos, ácidos orgânicos e proteínas) e inorgânicos (fosfatos, potássio, cálcio, magnésio, sódio) (Vieira; Marcos-Filho, 2020); os testes de desempenho de plântulas (velocidade de germinação, comprimento de plântulas, emergência de plântulas) (Krzyzanowski et al., 2020); os testes de estresse como o de envelhecimento acelerado (Marcos-Filho, 2020), a deterioração controlada (Krzyzanowski; Marcos-Filho, 2020); os testes de frio (Cicero; Vieira, 2020) e de germinação a baixa temperatura (Dias; Marcos-Filho, 2020), ao imporem uma condição adversa de alta temperatura e alta umidade na semente por um período de tempo antes de colocá-las para germinar, ou submetê-las para germinarem a baixa temperatura, deslocam os lotes de distintos níveis de vigor na curva de sobrevivência da semente (Powell, 1995) (Figura 12).

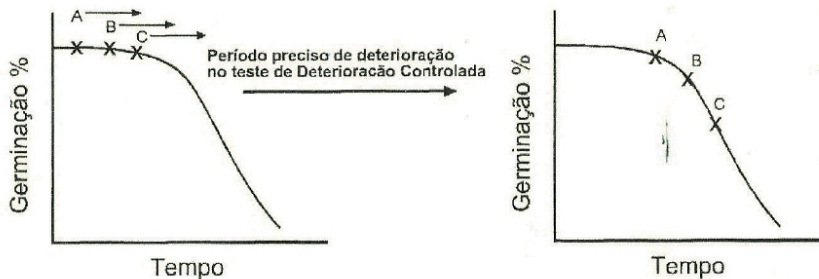


Figura 12. Efeito da deterioração controlada sobre três lotes de sementes com diferentes níveis de vigor.

Fonte: Powell (1995).

Além de favorecer a obtenção da população de plantas ideal, composta por plantas de alto desempenho agrônomico, a utilização de sementes de alto vigor pode proporcionar a obtenção de maiores produtividades em lavouras comerciais. Um vasto acervo de informações está disponível na literatura, comprovando esse fato para diversas culturas, como, por exemplo, para o milho, soja, algodão, arroz e feijão (Kolchinski et al., 2005; Marcos-Filho, 2015). Para a soja, a Embrapa Soja demonstrou aumentos de até 10% na produtividade, apenas com o uso de sementes de alto vigor (França-Neto et al., 1983).

No caso da produção de hortaliças (Nascimento et al., 2011; Marcos-Filho, 2015), o alto vigor das sementes influencia positivamente a produção por planta ou na produtividade por área, tanto para culturas com a semeadura direta (beterraba, cebola, cenoura, ervilha, milho doce, feijão vagem, algumas cucurbitáceas), como nas mudas produzidas em viveiro e transplantadas, (alface, beterraba, brássicas, cebola e outras). Também resulta em benefícios quanto ao tamanho, qualidade e uniformidade dos produtos comerciais, sejam frutos (tomate, abóbora, feijão-vagem, milho doce, pimentão, pepino, melão, melancia, quiabo), inflorescências (couve flor, brócolis), parte vegetativa aérea (alface, repolho, couve, acelga, espinafre), ou subterrânea (cenoura, rabanete, beterraba, nabo, cebola).

Apesar dos grandes avanços recentes obtidos com a utilização das informações providas pelos diversos testes de vigor em sementes, muito ainda deve ser realizado no sentido de melhor conscientizar os agricultores sobre o significado dos resultados dos diversos testes de vigor e como essa informação

pode ser utilizada em seu benefício, visando o constante aprimoramento da produção agrícola nacional. Enfim, não existe a menor sombra de dúvidas de que todo o empreendimento agrícola deve estar embasado na utilização de sementes da mais alta qualidade.

O vigor está relacionado a uma série de eventos bioquímicos e fisiológicos, que determinam respostas diferenciadas da semente durante a germinação e desenvolvimento inicial das plântulas. Assim, na avaliação do vigor busca-se mais do que identificar um processo fisiológico específico, mas sim identificar na semente manifestações do seu comportamento em campo ou durante o armazenamento. Deve-se salientar, contudo, que o vigor expressa um potencial e sua manifestação depende muito das condições de ambiente.

Referências

AOSA - ASSOCIATION OF OFFICIAL SEED ANALYSTS. **Seed vigor testing handbook**. Ithaca, NY: AOSA, 1983. 89 p. (Contribution, 32).

BAALBAKI, R.; ELIAS, S.; MARCOS-FILHO, J.; McDONALD, M. B. **Seed vigor testing handbook**. Ithaca, NY: AOSA, 2009. 345 p.

BELLAIRS, S. M.; RYSAVY, H. **Plant anatomy and restoration ecology**. Darwin: Charles Darwin University, College of Engineering and Restoration Ecology, 2018. 83 p.

CICERO, S. M.; VIEIRA, R. D. **Teste de frio**. In: KRZYZANOWSKI, F. C.; VIEIRA, R. D.; FRANÇA-NETO, J. de B.; MARCOS-FILHO, J. (ed.) **Vigor de sementes: conceitos e testes**. 2. ed. Londrina: Abrates, 2020. p. 278-316.

COLEGIOWEB. **As mitocôndrias**. 2012. Disponível em: <https://www.colegioweb.com.br/citoplasma/as-mitocondrias.html>. Acesso em: 27 out. 2022.

DELOUCHE, J. C. Seed germination. In: **Proceedings of the Short Course for Seedsmen**, 360. Mississippi State: Mississippi State University, Seed Technology Laboratory, 1979. p. 59-76. Disponível em: <https://scholarsjunction.msstate.edu/seedsmen-short-course/360>. Acesso em: 30 nov. 2022.

DELOUCHE, J. C.; BASKIN, C. Accelerated aging techniques for predicting the relative storability of seed lots. **Seed Science and Technology**, v. 1, p. 427-552, 1973.

DELOUCHE, J. C.; CALDWELL, W. P. Seed vigor and vigor tests. **Proceedings of Association of Official Seed Analysts**, v. 50, n. 1, p. 124-129, 1960.

DIAS, D. C. F. dos S. **Handouts**: Curso de Fisiologia de Sementes. Londrina: Abrates, 2017.

DIAS, D. C. F. dos S. **Handouts da aula sobre Deterioração, Vigor e Desempenho de Sementes**. Viçosa: Nesem / Abrates, 2020.

- DIAS, D. C. F. dos S.; MARCOS-FILHO, J. Teste de germinação a baixa temperatura. In: KRZYZANOWSKI, F. C.; VIEIRA, R. D.; FRANÇA-NETO, J. de B.; MARCOS-FILHO, J. (ed.). **Vigor de sementes: conceitos e testes**. 2. ed. Londrina: Abrates, 2020. p. 317-332.
- EBONE, L. A.; CAVERZAN, A.; CHAVARRIA, G. Physiological alterations in orthodox seeds due to deterioration processes. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 145, p. 34-42, 2019.
- FRANÇA-NETO, J. de B.; KRZYZANOWSKI, F. C. **Metodologia do teste de tetrazólio em sementes de soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2022. 111 p. (Embrapa Soja. Documentos, 449).
- FRANÇA-NETO, J. de B.; KRZYZANOWSKI, F. C.; COSTA, N. P. da; BARRETO, J. N. Efeito de níveis de vigor das sementes sobre diversas características agrônômicas da soja. In: Embrapa. Centro Nacional de Pesquisa de Soja, Londrina, PR. **Resultados de Pesquisa de Soja 1982/83**. Londrina: EMBRAPA-CNPSo, 1983. p. 70-73.
- FRANÇA-NETO, J. de B.; KRZYZANOWSKI, F. C.; HENNING, A. A.; PÁDUA, G. P.; LORINI, I.; HENNING, F. A. **Tecnologia da produção de semente de soja de alta qualidade**. Londrina: Embrapa Soja, 2016. 82 p. (Embrapa Soja. Documentos, 380).
- FRANCK, W. J. Address to the Association of Official Seed Analysts. **Proceedings of the International Seed Testing Association**, v. 40, p. 36-39, 1950.
- GUTTERIDGE, J. M. C.; HALLIWELL, B. The measurement and mechanism of lipid peroxidation in biological systems. **Trends in Biochemical Sciences**, v. 15, p. 129-135, 1990.
- KOLCHINSKI, E. M.; SCHUCH, L. O. B.; PESKE, S. T. Vigor de semente e competição intra-específica em soja. **Ciência Rural**, v. 35, n. 6, p. 1248-1256, 2005.
- KRZYZANOWSKI, F. C.; FRANÇA-NETO, J. de B.; GOMES-JUNIOR, F. G.; NAKAGAWA, J. Testes de vigor baseados em desempenho de plântulas. In: KRZYZANOWSKI, F. C.; VIEIRA, R. D.; FRANÇA-NETO, J. de B.; MARCOS-FILHO, J. (ed.) **Vigor de sementes: conceitos e testes**. 2. ed. Londrina: Abrates, 2020. p. 79-140.
- KRZYZANOWSKI, F. C.; MARCOS-FILHO, J. Deterioração controlada. In: KRZYZANOWSKI, F. C.; VIEIRA, R. D.; FRANÇA-NETO, J. de B.; MARCOS-FILHO, J. (ed.) **Vigor de sementes: conceitos e testes**. 2. ed. Londrina: Abrates, 2020. p. 247-276.
- KUMAR, J. S. P.; PRASAD, S. R.; BANERJEE, R.; THAMMINENI, C. Seed birth to death: dual functions of reactive oxygen species in seed physiology. **Annals of Botany**, v. 116, n. 4, p. 663-668, 2015.
- MARCOS-FILHO, J. Envelhecimento acelerado. In: KRZYZANOWSKI, F. C.; VIEIRA, R. D.; FRANÇA-NETO, J. de B.; MARCOS-FILHO, J. (ed.) **Vigor de sementes: conceitos e testes**. 2. ed. Londrina: Abrates, 2020. p. 185-246.
- MARCOS-FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. Londrina: ABRATES, 2015. 660 p.
- McDONALD, M. B. **Seed deterioration**. Santiago: Pontificia Universidad Católica de Chile, Facultad de Agronomía y Ingeniería Forestal, 2010. 26 p. (UC Virtual. Curso Fundamentos y practicas de producción de semillas).
- McDONALD, M. B. Seed deterioration: physiology. **Seed Science and Technology**, v. 27, n. 1, p. 177-237, 1999.

MILLS, J. T. Postharvest insect-fungus associations affecting seed deterioration. In: WEST, S. H. (ed.). **Physiological-pathological interactions affecting seed deterioration**. Madison: Crop Science Society of America, 1986. p. 39-51.

MITTLER, R. ROS are good. **Trends in Plant Science**, v. 22, n. 1, p. 11-19, 2017.

NASCIMENTO, W. M.; DIAS, D. C. F. dos S.; SILVA, P. P. Qualidade fisiológica da semente e estabelecimento de plantas de hortaliças no campo. In: CURSO SOBRE TECNOLOGIA DE PRODUÇÃO DE SEMENTES DE HORTALIÇAS, 11., 2011, Porto Alegre, RS. **Palestras...** Brasília, DF: Embrapa Hortaliças, 2011. 16 p.

PESKE, S. T.; ROSENTHAL, M. D.; ROTA, G. R. M. **Sementes: fundamentos científicos e tecnológicos**. 3. ed. Pelotas: Editora Rua Pelotas, 2012. 573 p.

POWELL, A. A. The controlled deterioration test. In: VAN DER VENTER, H. A. (ed.). **Seed vigour testing seminar**. Copenhagen: ISTA, 1995. p. 73-87.

SEED vigour testing. In: ISTA. **International rules for seed testing**. Zurich, 2020. p. 1-19.

SCUSSEL, V. M. Fungos e micotoxinas em grãos armazenados. In: LORINI, I.; MIKE, L. H.; SCUSSEL, V. M. (ed.). **Armazenagem de grãos**. Campinas: Instituto Bio Geneziz, 2002. 983 p.

VIEIRA, R. D.; MARCOS-FILHO, J. Teste de condutividade elétrica. In: KRZYZANOWSKI, F. C.; VIEIRA, R. D.; FRANÇA-NETO, J. de B.; MARCOS-FILHO, J. (ed.) **Vigor de sementes: conceitos e testes**. 2. ed. Londrina: Abrates, 2020. p. 333-388.

Exemplares desta edição
podem ser adquiridos na:

Embrapa Soja
Rod. Carlos João Strass, s/n,
acesso Orlando Amaral
Caixa Postal 4006 CEP: 86085-981
Distrito de Warta
Londrina, PR
www.embrapa.br
www.embrapa.br
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

1ª edição
PDF digitalizado (2022)



MINISTÉRIO DA
AGRICULTURA, PECUÁRIA
E ABASTECIMENTO



Comitê Local de Publicações

Presidente
Adeney de Freitas Bueno

Secretária-Executiva
Regina Maria Villas Bôas de Campos Leite

Membros
*Claudine Dinali Santos Seixas, Edson Hirose,
Ivani de Oliveira Negrão Lopes, José de Barros
França Neto, Liliane Márcia Mertz-Henning,
Marco Antonio Nogueira, Mônica Juliãni
Zavaglia Pereira, Norman Neumaier*

Supervisão editorial
Vanessa Fuzinato Dall' Agnol

Normalização
Valéria de Fátima Cardoso

Projeto gráfico
Carlos Eduardo Felice Barbeiro

Editoração eletrônica
Marisa Yuri Horikawa

Fotos da capa
*Jovenil José da Silva e
José de Barros França Neto*