

Capítulo 2

Ecofisiologia da soja

*Norman Neumaier, José Renato Bouças Farias,
Alexandre Lima Nepomuceno, Liliane Marcia
Mertz-Henning, José Salvador Simonetto Foloni,
Larissa Alexandra Cardoso Moraes, Sérgio Luiz
Gonçalves*

Estádios fenológicos da soja

Pela descrição dos estádios fenológicos da soja é possível relacionar o seu desenvolvimento com as necessidades da cultura. Fehr e Caviness (1977) propuseram uma divisão do ciclo da soja em estádios vegetativos (V) e estádios reprodutivos (R) (ver Anexo 1, ao final publicação). Estádios específicos são identificados por números, após o V ou o R. VE (emergência) e VC (cotilédone) são identificados apenas por letras.

Estádios vegetativos

Os estádios vegetativos (V) descrevem e caracterizam o desenvolvimento vegetativo. O primeiro deles é o VE (emergência) e acontece quando os cotilédones estão acima da superfície do solo em um ângulo $\geq 90^\circ$ em relação ao hipocótilo (Figura 1A).

O segundo estágio vegetativo é o VC, que acontece quando os cotilédones se encontram completamente abertos e expandidos, ou seja, quando as bordas das folhas unifolioladas não mais se tocam.

A partir do VC, Fehr e Caviness (1977) caracterizam os estádios vegetativos, usando o desenvolvimento da folha imediatamente acima. O folíolo jovem se assemelha a um cilindro e, à medida que se desenvolve, se desenrola, separando suas bordas até a completa abertura. É considerada completamente desenvolvida uma folha aberta e cujas bordas dos folíolos da folha do nó imediatamente superior não mais se tocam (Figura 1B). A folha apical é considerada completamente desenvolvida quando está aberta e de aspecto semelhante às folhas abaixo dela.



Figura 1. (a): Soja em estágio VE (emergência); (b): V1 - Folíolos com bordas que não mais se tocam.

Exceto para VE e VC, as subdivisões dos estádios vegetativos são numeradas na sequência: V1, V2, V3, V4, V5, V6,... Vn, a partir do primeiro nó com folhas verdadeiras completamente desenvolvidas (Tabela 1).

Tabela 1. Estádios vegetativos da soja.

Estádio	Denominação	Descrição
VE	Emergência	Cotilédones acima da superfície do solo
VC	Cotilédone	Cotilédones completamente abertos
V1	Primeiro nó	Folhas unifolioladas completamente desenvolvidas
V2	Segundo nó	Primeira folha trifoliolada completamente desenvolvida
V3	Terceiro nó	Segunda folha trifoliolada completamente desenvolvida
V4	Quarto nó	Terceira folha trifoliolada completamente desenvolvida
V5	Quinto nó	Quarta folha trifoliolada completamente desenvolvida
V6	Sexto nó	Quinta folha trifoliolada completamente desenvolvida
V...
Vn	Enésimo nó	Ante-enésima folha trifoliolada completamente desenvolvida

Obs.: Uma folha é considerada completamente desenvolvida quando as bordas dos trifólios da folha seguinte (acima) não mais se tocam.

Fonte: adaptado de Fehr e Caviness (1977).

Portanto, uma plântula em V1 apresenta as folhas unifolioladas (opostas, no primeiro nó foliar) (Figura 1B) completamente desenvolvidas, ou seja, as bordas dos folíolos da primeira folha trifoliolada não mais se tocam. De forma semelhante, uma planta em V2 apresenta a primeira folha trifoliolada completamente desenvolvida, isto é, quando as bordas dos folíolos da segunda folha trifoliolada não mais se tocam (Figura 2). E assim, sucessivamente, para V3, V4, V5, V6, ... Vn (Tabela 1).

Foto: Norman Neumaier



Figura 2. Soja em estágio V2.

Estádios reprodutivos

Os estádios reprodutivos (R) descrevem o período florescimento-maturação, com a letra R seguida dos números 1 até 8. O período reprodutivo apresenta quatro fases: florescimento (R1 e R2), desenvolvimento de vagens (R3 e R4), desenvolvimento de grãos (R5 e R6) e maturação da planta (R7 e R8) (Tabela 2).

Tabela 2. Estádios reprodutivos da soja.

Estádio	Denominação	Descrição
R1	Início do Florescimento	Uma flor aberta em qualquer nó do caule
R2	Florescimento pleno	Uma flor aberta em um dos dois últimos nós do caule com folha completamente desenvolvida
R3	Início da formação das vagens	Vagem com 5 mm de comprimento em um dos quatro últimos nós do caule com folha completamente desenvolvida
R4	Vagens completamente desenvolvidas	Vagens com 2 cm de comprimento num dos quatro últimos nós do caule com folha completamente desenvolvida
R5	Início do enchimento de grãos	Grãos com 3 mm de comprimento em vagens num dos quatro últimos nós do caule, com folha completamente desenvolvida
R6	Grãos cheios ou completos	Vagem contendo grãos verdes preenchendo as cavidades da vagem de um dos quatro últimos nós do caule, com folha completamente desenvolvida
R7	Início da maturação	Uma vagem normal no caule com coloração de madura
R8	Maturação plena	95% das vagens com coloração de madura

Obs: Caule = haste principal; Últimos nós = nós superiores; Folha completamente desenvolvida = bordas dos trifólios da folha seguinte (acima) não mais se tocam.

Fonte: adaptado de Fehr e Caviness (1977).

Fehr e Caviness (1977) não subdividem os estádios de desenvolvimento da soja. Ritchie et al. (1977) dividiram o estágio R5 em cinco subestádios:

- R5.1 - grãos perceptíveis ao tato (o equivalente a 10% da granação);
- R5.2 – granação de 11% a 25%;

- R5.3 – granação de 26% a 50%;
- R5.4 – granação de 51% a 75%;
- R5.5 – granação de 76% a 100%.

Tipos de crescimento

As cultivares de soja são classificadas conforme seu tipo de crescimento: determinado, semideterminado e indeterminado (Neumaier et al., 2000).

O tipo determinado se caracteriza pelos seguintes atributos:

- A soja, após o início do florescimento, cresce pouco e não ramifica;
- O florescimento é praticamente simultâneo, em toda a extensão da planta;
- As vagens e os grãos do topo e da base da planta se desenvolvem praticamente ao mesmo tempo;
- O tamanho das folhas do topo da planta é semelhante ao tamanho das demais;
- As plantas apresentam um longo racemo terminal no ápice do caule (Figura 3A).

O tipo indeterminado é caracterizado pelos seguintes atributos:

- A produção de nós no caule principal e o crescimento continuam após o início do florescimento, podendo dobrar a estatura da planta até a maturação;
- O florescimento ocorre de baixo para cima na planta, podendo existir, ao mesmo tempo, vagens bem desenvolvidas na base e flores no topo da planta;
- O desenvolvimento das vagens e dos grãos ocorre de baixo para cima. As vagens e os grãos da metade inferior das plantas são mais adiantados do que os de cima;
- As plantas crescem e ramificam, mesmo durante o florescimento, formação das vagens e enchimento dos grãos;
- As folhas do topo são menores do que as folhas das demais partes da planta;
- As plantas não apresentam racemo terminal no ápice do caule, mas sim pequenos racemos axilares (Figura 3B).



Figura 3. Ápicos de plantas de soja, de tipo de crescimento determinado (a) e de tipo de crescimento indeterminado (b), mostrando a presença do racemo terminal (a) e racemos axilares (b).

A diferença de tempo entre o surgimento das vagens basais e o das vagens apicais é compensada pela maior taxa de crescimento dos grãos das vagens apicais, permitindo que todas as vagens da planta cheguem à maturação aproximadamente ao mesmo tempo.

O tipo semideterminado apresenta atributos tanto do tipo determinado quanto do indeterminado.

Exigências climáticas

De todos os fatores inerentes à produção agrícola, o clima é o de mais difícil controle e maior ação sobre a limitação às máximas produtividades. Aliado a isto, a imprevisibilidade das variabilidades do clima confere à ocorrência de adversidades climáticas o principal fator de risco e de insucesso na exploração das principais culturas. Estresses abióticos como seca, excesso de chuvas, temperaturas muito altas ou baixas, baixa luminosidade, etc., podem reduzir significativamente rendimentos em lavouras e restringir os locais, as épocas e os solos onde espécies comercialmente

importantes podem ser cultivadas. Um melhor entendimento das exigências climáticas da cultura e das relações da água no sistema solo-planta-atmosfera pode contribuir para a redução dos riscos de insucesso da produção agrícola. Por exemplo, após um longo período de deficit hídrico deve-se proceder a semeadura da lavoura somente depois da ocorrência de chuvas nas quantidades suficientes para recarregar o perfil do solo com a umidade necessária para garantir a completa germinação das sementes e o estabelecimento da lavoura.

Certas adversidades climáticas, como a falta de água, podem em alguns casos, ser total ou parcialmente amenizadas. O aumento de eficiência no uso de recursos e de insumos, a melhora qualitativa dos produtos agrícolas e a preservação dos recursos naturais, são desafios da agricultura contemporânea. As pesquisas que visam identificar e quantificar as respostas da cultura às condições ambientais (Figura 4) aparecem como parte importante nesse universo, uma vez que contribuem, sensivelmente, para o desenvolvimento de meios para minimizar os efeitos adversos do ambiente na produção agrícola.

Fotos: José Renato
Bouças Fariás



Figura 4. Monitoramento climático e controle de precipitação pluviométrica em experimentos da equipe de Ecofisiologia da Soja, na Embrapa Soja, Londrina-PR. a) Vista geral dos experimentos; b) Parcelas sujeitas à aplicação do estresse de seca por meio de abrigos móveis contra a chuva (rain shelters); c) Vista da estação agrometeorológica dentro da área experimental e adjacente aos ensaios.

Exigências térmicas e fotoperiódicas

As temperaturas do ar, nas quais a soja apresenta melhor crescimento e desenvolvimento, estão compreendidas entre 20 °C e 30 °C. Da mesma forma, a faixa ótima de temperaturas do solo é, também, de 20 °C a 30 °C. Para que ocorra germinação rápida e emergência uniforme, a tempe-

ratura média ótima do solo, a 5 cm de profundidade, deve estar ao redor de 25 °C. Semeaduras com temperaturas de solo menores do que 20 °C podem prejudicar a germinação e a emergência das plântulas (Farias et al., 2007; França-Neto et al., 2016).

Com temperaturas baixas (< 10 °C) o desenvolvimento vegetativo da soja é nulo ou pequeno. Por outro lado, de acordo com Board e Kahlon (2011), breves exposições às altas temperaturas (> 40 °C) reduzem a taxa de crescimento, provocam distúrbios na floração, no desenvolvimento de vagens, e no desenvolvimento de grãos, ou seja, acentuam o abortamento de flores e provocam a queda de vagens, além, do abortamento de grãos (Farias et al., 2007). Todos esses problemas são intensificados quando, além de altas temperaturas, ocorrem deficit hídricos.

De maneira geral, a floração da soja é induzida por estímulos termo-foto-periódicos. Assim, temperaturas abaixo de 13 °C inibem ou retardam a indução da soja ao florescimento. Diferenças na data de floração, entre anos ou safras, de uma mesma cultivar semeada na mesma data e na mesma latitude, devem-se às variações de temperatura (Farias et al., 2007), sendo que altas temperaturas na fase de crescimento vegetativo normalmente causam florescimento precoce e diminuição da estatura da planta. Quando, ao mesmo tempo, ocorre insuficiência hídrica ou fotoperiódica, esses problemas são potencializados (Farias et al., 2007).

De forma semelhante, porém distinta ao exposto acima, as diferenças nas datas de floração, entre cultivares, semeadas na mesma data e na mesma latitude, devem-se principalmente à resposta diferencial das cultivares à duração do dia (fotoperíodo) (Farias et al., 2007) (Figura 5). Altas temperaturas na fase reprodutiva podem apressar a maturação da lavoura. A ocorrência concomitante de altas temperaturas e de elevada umidade do ar contribui para a diminuição da qualidade das sementes. Também, quando as altas temperaturas coincidem com períodos de baixa umidade do ar, pode haver o aparecimento de sementes verdes e as demais sementes podem ficar predispostas ao dano mecânico na colheita (França-Neto et al., 2012). Por outro lado, a ocorrência de baixas temperaturas no final da fase reprodutiva, associadas a períodos chu-

vosos ou de alta umidade, pode provocar atraso de colheita, bem como haste verde e/ou retenção foliar (Schapaugh; Roozeboom, 2012).

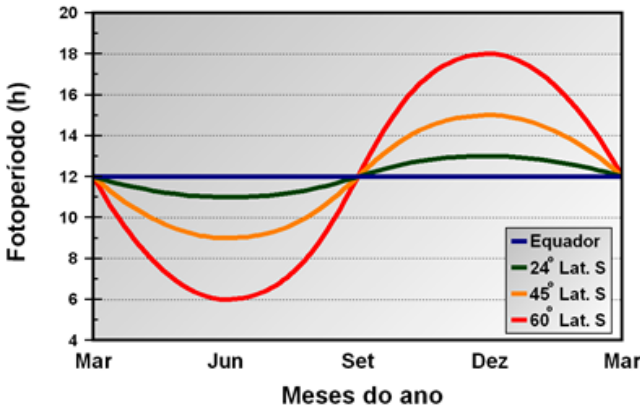


Figura 5. Fotoperíodo (horas) ao longo do ano em função da latitude do local.

Além das exigências térmicas e hídricas, a soja tem exigências fotoperiódicas. Tanto aquelas quanto essas, determinam a adaptação das cultivares à determinada região. As cultivares apresentam distintas sensibilidades ao fotoperíodo, ou seja, cada cultivar apresenta fotoperíodo crítico próprio, acima do qual o florescimento é atrasado. Por essa razão, a soja é considerada uma planta de dias curtos (Purcell et al., 2014). Por isso, a faixa de adaptação de cada cultivar é variável à medida que há o seu deslocamento geográfico e/ou temporal (semeadura mais ao norte ou mais ao sul e mais no cedo ou mais no tarde). No entanto, cultivares com “período juvenil longo” ou cultivares de tipo de crescimento indeterminado possuem maior amplitude de adaptabilidade, possibilitando seu uso em faixas latitudinais mais abrangentes e em épocas de semeadura menos restritas (Tecnologias..., 2013).

Exigências hídricas

A água é o principal constituinte do tecido vegetal, representando aproximadamente 90% do seu peso total nas plantas herbáceas como a soja. Participa em todos os processos bioquímicos e fisiológicos, age como solvente no transporte de minerais, gases e solutos, e atua como regulador térmico, mantendo e distribuindo o calor na planta (Costa, 2001).

Na soja, a água é importante durante todo o ciclo da cultura, exceto após a maturidade fisiológica dos grãos, quando a ocorrência de chuvas prolongadas retarda o processo de secagem natural e compromete a qualidade dos grãos e sementes. Dois períodos são considerados críticos em relação ao suprimento de água, sendo o primeiro a germinação-emergência e o segundo, a floração-enchimento de grãos. Na germinação, tanto o excesso quanto a falta de água são prejudiciais ao estabelecimento da cultura e à obtenção de um estande adequado de plantas. Dessa forma, nessa fase o conteúdo de água no solo deve ser entre 50% e 85%, suficiente para que a semente absorva o mínimo de água necessário para a germinação adequada, ou seja, 50% do seu peso em água (Farias et al., 2007).

A cultura da soja necessita um volume total de água que varia entre 450 mm a 800 mm/ciclo. A necessidade de água é maior na medida em que ocorre o desenvolvimento da planta, atingindo o máximo durante a floração-enchimento de grãos, decrescendo após esse período (Figura 6). Além do estágio de desenvolvimento, o consumo de água pela cultura depende das características da cultivar, do manejo e da demanda evaporativa da atmosfera, podendo assim, variar tanto em função das condições climáticas de cada região, quanto em função do ano e da época de semeadura na mesma região climática (Berlato et al., 1986; Bergamaschi et al., 1999).

O conhecimento da evapotranspiração máxima (perda de água do solo por evaporação mais a perda de água da planta por transpiração) nos diversos períodos de desenvolvimento e ao longo do ciclo da cultura auxilia na tomada de decisões, sendo importante tanto na agricultura irrigada quanto na não irrigada. Na agricultura irrigada, essa informação possibilita definir o manejo da água de irrigação. Em cultivos não irrigados, é útil na definição de práticas culturais que permitam melhor aproveitamento das disponibilidades hídricas naturais de cada região, por exemplo, ajuste da época de semeadura evitando que os períodos críticos, em relação à água, coincidam com períodos de menor disponibilidade de água (Farias et al., 2009).

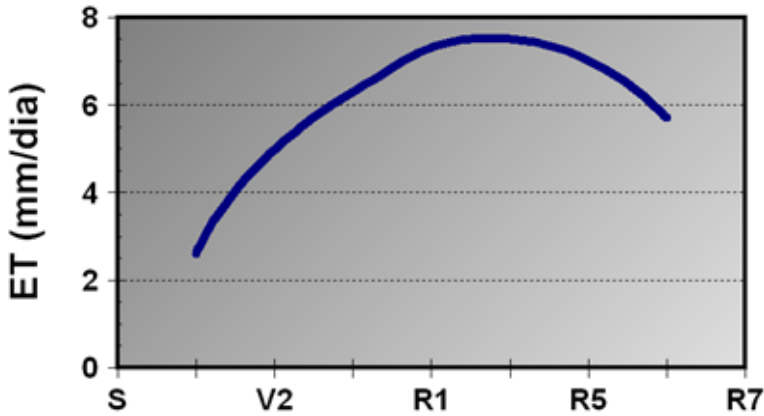


Figura 6. Exemplo de evapotranspiração (ET) diária, nos diferentes estádios de desenvolvimento de cultivares de soja de tipo de crescimento determinado.

Fonte: adaptado de Berlato et al. (1986).

Apesar do elevado grau de tecnificação da maioria das lavouras de soja brasileiras, a baixa disponibilidade hídrica durante o ciclo da cultura ainda representa a principal limitação à obtenção do máximo potencial produtivo, prejudicando a estabilidade no rendimento de grãos de um ano para outro, principalmente, no Sul do Brasil, no Nordeste e em algumas regiões do Centro-Oeste. Observando-se as séries históricas de produtividade disponibilizadas pela CONAB, constata-se que, somente na safra 2004/2005, as perdas de rendimento de grãos nos estados do RS e do PR atingiram mais de 78% e 23%, respectivamente, quando comparadas à safra 2002/2003, quando não ocorreram problemas de seca. Na safra 2013/2014, o estado do Paraná apresentou reduções recordes na produtividade em função do longo período de estiagem durante o cultivo da soja (CONAB, 2013). Esse mesmo problema tem sido observado em outras regiões produtoras do País. Em Goiás, estimativas apontam perdas aproximadas de 15% da produção total de soja, concentradas, principalmente, na porção sul do estado.

Na safra 2018/2019, o estado do Paraná também apresentou importante deficiência hídrica juntamente com as altas temperaturas, que causaram a principal queda de produtividade da safra brasileira ocorrida nessa

safrá. As condições edafoclimáticas ocorridas nos diferentes ambientes de produção trouxeram impactos negativos sobre a produtividade da cultura. Nas regiões de menor altitude (na faixa de 400 m), localizadas no oeste, no noroeste e em parte da região norte, foram registradas reduções de distribuição hídrica, com elevação de temperaturas, tanto diurnas quanto noturnas e que causaram impactos negativos na produtividade da soja, com reduções de até 37% em relação à safra anterior (2017/2018) (Paraná, 2019). Tais impactos foram mais significativos nas áreas cujos solos são de textura média/arenosa. No sul do estado, onde a altitude é maior (acima de 800 m) e as temperaturas são mais amenas (incluindo temperaturas diurnas e noturnas), a redução de chuvas foi menor, o que causou um impacto menor na produtividade das lavouras, cuja redução foi de apenas 3% em relação à safra anterior. Ficou evidenciada a importância dos ambientes de produção, destacando que a altitude e a temperatura, além da disponibilidade hídrica, foram os componentes mais diretamente relacionados à produtividade (Gonçalves, 2019). É importante enfatizar, ainda, que o conhecimento das condições edafoclimáticas de cada região e a definição da época de semeadura que propicia a maior probabilidade da distribuição hídrica ideal durante o ciclo da cultura são fundamentais para o sucesso do cultivo da soja.

Comparativamente a outras culturas produtoras de grãos, como o milho, por exemplo, a soja é relativamente tolerante ao déficit hídrico na sua fase vegetativa, mas é muito sensível ao estresse durante a formação dos componentes do rendimento, ou seja, florescimento e enchimento de grãos (Sentelhas et al., 2015). Para apresentar bom desempenho produtivo, a soja necessita, além de um volume de água adequado, a adequada distribuição das chuvas ao longo do ciclo, principalmente, durante as fases mais críticas. Em trabalhos realizados em Londrina-PR, ao longo de 15 safras, avaliando-se diversas cultivares sob diferentes condições de disponibilidade hídrica, verificou-se que os maiores rendimentos de grãos de soja foram obtidos com 650 mm a 700 mm de água, desde que bem distribuídos em todo o ciclo (Figura 7). Nos tratamentos em que houve a indução de déficit hídrico durante as fases vegetativa

e reprodutiva (Figura 7), apesar do volume total de água durante todo o ciclo ter atingido valores próximos a 700 mm, os rendimentos alcançados não foram tão altos em função da má distribuição da precipitação, principalmente quando o estresse ocorre durante a fase mais crítica (período reprodutivo).

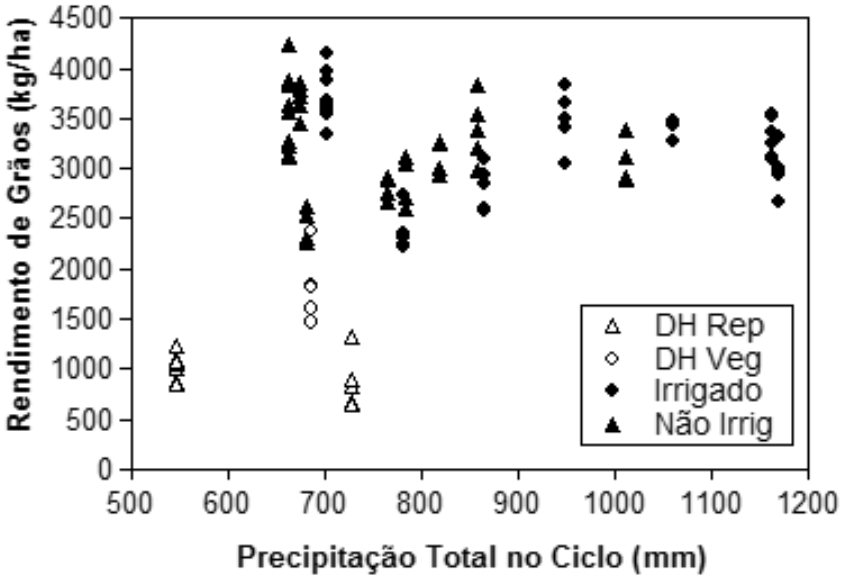


Figura 7. Rendimento de grãos de soja em função do aporte de água durante todo o ciclo, em diversas safras, sob condições irrigada, não irrigada e com deficit hídrico (DH) durante as fases reprodutiva (Rep) e vegetativa (Veg).

Fonte: Farias et al. (2009).

No período reprodutivo (R1-R6), o volume de água ideal para atender as necessidades da cultura da soja situou-se entre 120 mm a 300 mm (Figura 8), adequadamente distribuídos ao longo desse período. Da mesma forma que na Figura 7, observou-se que volumes de água de igual magnitude, porém mal distribuídos, limitaram o rendimento de grãos. Esses dados comprovam que para obtenção de elevadas produtividades, o volume de água necessário deve ser disponibilizado ao longo de todo o ciclo, a fim de atender as exigências da cultura.

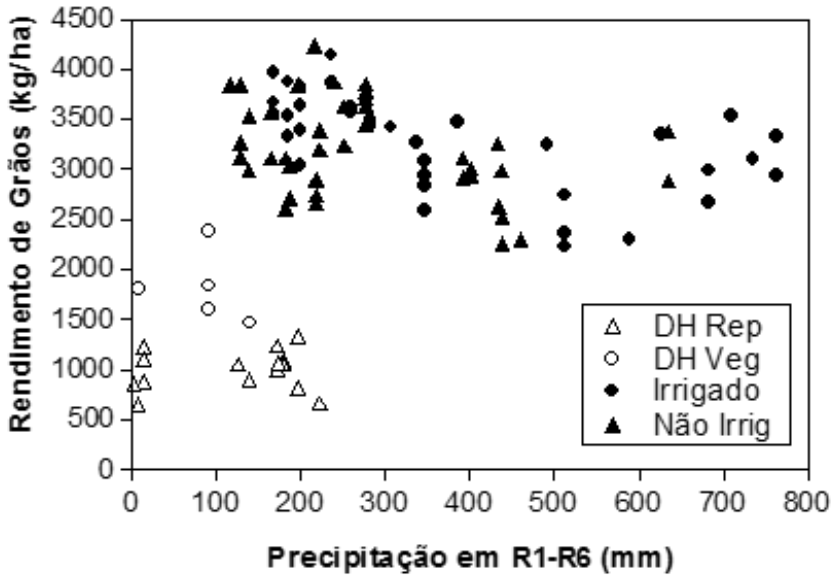


Figura 8. Rendimento de grãos de soja em função do aporte de água durante a fase mais crítica à falta de água (R1-R6), em diversas safras, sob condições: irrigada, não irrigada e com déficit hídrico (DH) durante as fases reprodutiva (Rep) e vegetativa (Veg).
Fonte: Farias et al. (2009).

O impacto do déficit hídrico sobre o rendimento na cultura da soja depende da intensidade, duração e época de ocorrência do estresse, além da sensibilidade da cultivar. No período reprodutivo, as reduções do rendimento, são mais drásticas que no período vegetativo. Na fase vegetativa, as plantas são pouco desenvolvidas, com folhas pequenas, entrenós curtos e baixa estatura de planta. Os tecidos apresentam-se murchos e os folíolos tendem a “fechar” para diminuir a área foliar exposta. Nos estádios reprodutivos, ocorre a queda prematura de flores, o abortamento de vagens e “chochamento” de grãos, com a consequente diminuição do número de vagens e o aparecimento de vagens vazias. Como esses componentes do rendimento possuem limites máximos geneticamente determinados, o abortamento de vagens não é plenamente compensado pelo número de grãos/vagem e pelo peso do grão, embora ocorra alguma compensação no peso do grão, caso as condições hídricas se normalizem. Durante os estádios reprodutivos, a ocorrência

de deficit hídrico durante o enchimento dos grãos é mais prejudicial do que durante a floração. A seca, além de diminuir a taxa de acúmulo de matéria seca nos grãos, antecipa a maturação e diminui o tamanho dos grãos.

A ausência de chuvas isoladamente não significa obrigatoriamente ocorrência de deficit hídrico. A planta busca um ajuste entre a absorção de água e a transpiração, sendo que o limite a esse ajustamento marca o início do deficit hídrico. A transpiração pela planta é regulada em função da demanda evaporativa da atmosfera (DEA), que conseqüentemente, determina a necessidade de absorção de água pelas raízes. Dessa forma a DEA regula a dinâmica da água no sistema solo-planta-atmosfera (Bergamaschi et al., 1999). O deficit hídrico tem início quando a transpiração da planta começa a ser limitada pela disponibilidade de água no solo. Dessa forma, práticas que favoreçam à melhor estruturação do solo e o aprofundamento do sistema radicular, como o sistema de plantio direto (SPD) e a rotação de culturas, contribuem para o aumento do armazenamento de água no solo. A disponibilidade hídrica no solo passa a ser fundamental para assegurar sucesso à exploração agrícola, principalmente, em regiões com distribuição irregular das chuvas e elevada demanda evaporativa da atmosfera, caracterizadas pela ocorrência de elevada radiação solar, ventos fortes, altas temperaturas e baixa umidade relativa do ar e na ausência de irrigação.

No Brasil, a maior parte da produção de soja é dependente das chuvas. Embora eficaz, o elevado custo da irrigação faz com que poucos produtores adotem essa tecnologia. Apesar dos grandes prejuízos advindos da ocorrência de secas, pouco ou quase nada se tem para apresentar como solução ao produtor sem aumentar consideravelmente o custo de produção. Para minimizar os efeitos do deficit hídrico, indicam-se a adoção de práticas culturais como a semeadura em época recomendada, que coincida com período de menor risco climático, seguindo indicações do zoneamento agroclimático. Além disso, deve-se adotar práticas que favoreçam o armazenamento de água pelo solo, como o controle de invasoras e a adoção de sistemas de cultivo que resultem na manutenção

ou aumento da matéria orgânica e elevada cobertura do solo com palha (ver capítulo 3, “Manejo do solo”). Deve-se priorizar a escolha de cultivares que apresentem menor sensibilidade ao déficit hídrico.

Radiação Solar

A radiação solar é um importante componente ambiental que, além de fornecer energia luminosa para a fotossíntese, também fornece sinais ambientais para uma gama de processos fisiológicos da soja. Nesse contexto, além da intensidade da radiação, a duração e a qualidade do espectro luminoso são determinantes de respostas morfológicas e fenotípicas marcantes em soja, tais como estatura da planta, indução ao florescimento e ontogenia (Thomas, 1994).

Na Figura 8 é possível verificar o efeito de níveis de sombreamento no decréscimo do rendimento da soja (Wahua; Miller, 1978).

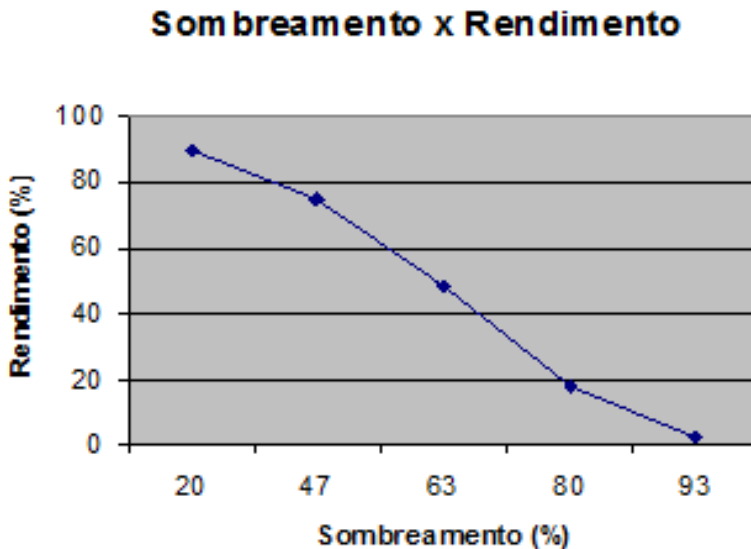


Figura 8. Decréscimos de rendimento da soja sob a ação de níveis de sombreamento, relativos à ausência de sombreamento (0% sombreamento = 100% rendimento de grãos). Fonte: adaptado de Wahua e Miller (1978).

Por outro lado, dados experimentais de “enriquecimento” da radiação solar no início do florescimento da soja propiciaram aumentos de rendimento da ordem de até 250% (Mathew et al., 2000). Tanto os resultados de sombreamento quanto os de enriquecimento ilustram muito bem a importância da radiação solar para o rendimento da soja.

Sob radiação solar máxima, a soja produz rendimentos máximos desde que bem suprida de água (Liu et al., 2006). Entretanto, no caso de haver déficit hídrico, o rendimento poderá ser maior em ambiente com menor radiação solar.

Retenção foliar e haste verde

A retenção foliar e/ou haste verde da soja (Figura 9) é, quase sempre, consequência de distúrbios fisiológicos que interferem na formação ou no enchimento dos grãos. Entre esses, podem estar os danos por percevejos (Sosa-Gomez; Moscardi, 1995), o estresse hídrico (falta ou excesso) (Schapaugh; Roozeboom, 2012), o uso de certos fungicidas (Hill et al., 2013), o desequilíbrio nutricional das plantas (Mascarenhas et al., 1987) e a presença de poucas vagens na planta (Zhang et al., 2016).

Sob estresse hídrico, pode haver abortamento de flores e de vagens. Seca acentuada durante a fase final de floração e na formação das vagens pode causar abortamento de quase todas as flores restantes e vagens recém-formadas. A falta de “carga” nas plantas pode provocar uma segunda florada, normalmente infértil, resultando em retenção foliar pela ausência de demanda pelos produtos da fotossíntese (Schapaugh; Roozeboom, 2012). A situação pode se agravar se houver excesso de chuvas durante a maturação. O excesso de umidade, nesse período, propicia a manutenção do verde das hastes e vagens e favorece a retenção foliar, mesmo em plantas com carga satisfatória e sem danos de percevejos. Há cultivares mais sensíveis a esse fenômeno (Hill et al., 2013; Tecnologias..., 2013).



Figura 9. Lavoura de soja com haste verde.

As causas mais comuns têm sido os danos por percevejos *Piezodorus guildini* e *Edessa meditabunda* e o desequilíbrio nutricional relacionado ao potássio. A não aplicação, com rigor necessário, dos princípios do Manejo Integrado de Pragas, tem levado, muitas vezes, a um controle ineficiente dos percevejos. Isso é mais comum em lavouras semeadas após a época recomendada e/ou quando se usam cultivares tardias. Nesses casos, pode haver migração das populações de percevejos de lavouras em estágio final de maturação, ou recém colhidas, para as lavouras com vagens ainda verdes (Sosa-Gomez; Moscardi, 1995). Quanto às causas de ordem nutricional, foi observado, em lavouras e em experimentos, que a ocorrência de retenção foliar e/ou senescência anormal da planta de soja está associada com baixos níveis de potássio no solo e/ou altos valores da relação $(Ca + Mg)/K$. Nessas condições, pode ocorrer baixo “pegamento” de vagens, vagens vazias e formação de frutos partenocárpicos. A relação $(Ca + Mg)/K$ ótima para altas produtividades de soja é entre 23 a 31 (Mascarenhas et al., 1987).

Recentemente, descobriu-se que o nematoide aéreo *Aphelenchoides besseyi* é o agente causal da Soja Louca II em soja (Meyer et al., 2017). A Soja Louca II é um distúrbio que, além de causar haste verde e retenção foliar, apresenta afilamento das folhas do topo das plantas, enrugamento das folhas, coloração verde escura, pouca pilosidade e engrossamento das nervuras. As hastes apresentam deformações e engrossamento dos nós e abortamento de vagens. As vagens que sobram podem estar vazias ou com um grão apenas, engrossadas e com lesões

ou apodrecidas. A planta atacada pode apresentar superbrotamento e nova floração, que normalmente não resulta em vagens normais. Flores de plantas com sintomas de haste verde e retenção foliar apresentam grãos de pólen com número, tamanho, forma, viabilidade e germinação reduzidos. São murchos, transparentes, com menor volume citoplasmático e paredes externas mais grossas do que de grãos de pólen de plantas assintomáticas (Kale et al., 2016)

Não há solução para os problemas já estabelecidos. Porém, uma série de práticas podem evitá-los ou amenizá-los. A primeira prática é manejar o solo e a sua fertilidade, de acordo com as recomendações técnicas, para permitir que as raízes tenham desenvolvimento normal, alcançando maiores profundidades (ver capítulo 3 “Manejo do solo”). Assim, a absorção da água do solo, durante os períodos de seca, é favorecida, evitando distúrbios fisiológicos e desequilíbrios nutricionais. Outros cuidados são: melhorar as condições físicas do solo para aumentar sua capacidade de armazenamento de água e facilitar o desenvolvimento das raízes, evitar cultivares propensas à haste verde, não semear em épocas que exponham a soja a fatores climáticos adversos coincidentes com os períodos críticos da cultura e fazer o controle de pragas conforme preconizado no Manejo Integrado de Pragas (ver capítulo 9 “Manejo integrado de pragas”).

Referências

BERGAMASCHI, H.; BERLATO, M. A.; MATZENAUER, R.; FONTANA, D. C.; CUNHA, G. R.; SANTOS, M. L. V.; FARIAS, J. R. B.; BARNI, N. A. **Agrometeorologia aplicada à irrigação**. 2. ed. Porto Alegre: Ed. UFRGS, 1999. 125 p.

BERLATO, M. A.; MATZENAUER, R.; BERGAMASCHI, H. Evapotranspiração máxima da soja e relações com a evapotranspiração calculada pela equação de Penman, evaporação do tanque “classe A” e radiação solar global. **Agronomia Sulriogradense**, v. 22, n. 2, p. 251-260, 1986.

BOARD, J. E.; KAHLON, C. S. Soybean yield formation: what controls it and how it can be improved. In: EL-SHEMY, H. A. (Ed.). **Soybean physiology and biochemistry**. Rijeka: InTech Open Access Publisher, 2011. p. 1-36.

CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira:** grãos: v. 1, safra 2013/14, n. 6, sexto levantamento, março/2014. 2013. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safra/safra-graos/boletim-da-safra-de-graos/item/download/1275_ef2c28b327a073e9a84b16d5514080a1>. Acesso em: 23 ago. 2019.

COSTA, A. R. **As relações hídricas das plantas vasculares.** Portugal: Ed. Universidade de Évora, 2001. 75 p. (Texto acadêmico).

FARIAS, J. R. B.; NEPOMUCENO, A. L.; NEUMAIER, N. **Ecofisiologia da soja.** Londrina: Embrapa Soja, 2007. 8 p. (Embrapa Soja. Circular técnica, 48).

FARIAS, J. R. B.; NEUMAIER, N.; NEPOMUCENO, A. L. Soja. In: MONTEIRO, J. E. B. A. (Org.). **Agrometeorologia dos cultivos:** o fator meteorológico na produção agrícola. Brasília, DF: INMET, 2009. p. 263-277.

FEHR, W. R.; CAVINESS, C. E. **Stages of soybean development.** Ames: Iowa State University of Science and Technology, 1977. 11 p. (Special report, 80).

FRANÇA-NETO, J. de B.; KRZYZANOWSKI, F. C.; HENNING, A. A.; PADUA, G. P. de; 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).

FRANÇA-NETO, J. de B.; PÁDUA, G. P. de; KRZYZANOWSKI, F. C.; CARVALHO, M. L. M. de; HENNING, A. A.; LORINI, I. **Semente esverdeada de soja:** causas e efeitos sobre o desempenho fisiológico - Série Sementes. Londrina: Embrapa Soja, 2012. 15 p. (Embrapa Soja. Circular técnica, 91).

GONÇALVES, S. L. **Impactos da deficiência hídrica e de altas temperaturas na produtividade da soja no estado do Paraná, safra 2018/2019.** Londrina: Embrapa Soja, 2019. 23 p. (Embrapa Soja. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 22).

HILL, C. B.; BOWEN, C. R.; HARTMANN, G. L. Effect of fungicide application and cultivar on soybean green stem disorder. **Plant Disease**, v. 97, p. 1212-1220, 2013.

KALE, P. B.; JADHAV, P. V.; WAKEKAR, R. S.; MOHARIL, M. P.; DESHMUKH, A. G.; DUDHARE, M. S.; NANDANWAR, R. S.; MANE, S. S.; MANJAYA, J. G.; DANI, R.G. Cytological behaviour of floral organs and in silico characterization of differentially expressed transcript-derived fragments associated with 'floral bud distortion' in soybean. **Journal of Genetics**, v. 95, n. 4, p. 787-799, 2016.

LIU, X. B.; HERBERT, S. J.; BAATH, K.; HASHEMI, A. M. Soybean (*Glycine max*) seed growth characteristics in response to light enrichment and shading. **Plant, Soil and Environment**, v. 52, p. 178-185, 2006.

MASCARENHAS, H. A. A.; MIRANDA, M. A. C.; LELIS, L. G. L.; BULISANI, E. A.; BRAGA, N. R.; PEREIRA, J. C. V. N. A. **Haste verde e retenção foliar em soja causada por deficiência de potássio**. Campinas: IAC, 1987. 15 p. (IAC. Boletim Técnico, 119).

MATHEW, J. P.; HERBERT S. J.; ZHANG S. H.; RAUTENKRANZ, A. A. F.; LITCHFIELD, G. V. Differential response of soybean yield components to the timing of light enrichment. **Agronomy Journal**, v. 92, p. 1156-1161, 2000.

MEYER, M. C.; FAVORETO, L.; KLEPKER, D.; MARCELINO-GUIMARÃES, F. C. Soybean green stem and foliar retention syndrome caused by *Aphelenchoides besseyi*. **Tropical Plant Pathology**, v. 42, p. 403-409, 2017.

NEUMAIER, N.; NEPOMUCENO, A. L.; FARIAS, J. R. B. Estádios de desenvolvimento da cultura de soja. In: BONATO, E. R. (Ed.). **Estresses em soja**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2000. p. 19-44.

PARANÁ. Secretaria de Agricultura e Abastecimento. Departamento de Economia Rural. **Estimativas de safra**. 2019. Disponível em: <<http://www.agricultura.pr.gov.br/arquivos/File/deral/pss.xls>>. Acesso em: 20 mai. 2019.

PURCELL, L. C.; SALMERON, M.; ASHLOCK, L. **Arkansas soybean production handbook: soybean growth and development**. Manhattan: Arkansas State University, 2014. cap. 2, p. 1-8. Disponível em: <<http://www.uaex.edu/publications/pdf/mp197/chapter2.pdf>>. Acesso em: 16 ago. 2019.

RITCHIE, S. W.; HANWAY, J. J.; THOMPSON, H. E.; BENSON, G. O. **How a soybean plant develops**. Ames: Iowa State University of Science and Technology, 1977. 20 p. (Special Report, 53).

SCHAPAUGH, B.; ROOZEBOOM, K. **K-State Agronomy Extension e-Updates**. Manhattan: Arkansas State University, 2012. 20 p. n. 371. Disponível em: <<http://www.agronomy.k-state.edu/documents/eupdates/eupdate100512.pdf>>. Acesso em: 16 ago. 2019.

SENTELHAS, P. C.; BATTISTI, R.; CÂMARA, G. M. S.; FARIAS, J. R. B.; HAMPF, A. C.; NENDEL, C. The soybean yield gap in Brazil - magnitude, causes and possible solutions for sustainable production. **Journal of Agricultural Science**, v. 1, p. 1-18, 2015.

SOSA-GOMEZ, D. R.; MOSCARDI, F. Retenção foliar diferencial em soja provocada por percevejos (Heteroptera: Pentatomidae). **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, v. 24, n. 2, p. 401-404, 1995.

TECNOLOGIAS de produção de soja - Região Central do Brasil 2014. Londrina: Embrapa Soja, 2013. 265 p. (Embrapa Soja. Sistema de Produção, 16).

THOMAS, J. F. Ontogenetic and morphological plasticity in crop plants. In: BOOTE, K. J.; BENNETT, J. M.; SINCLAIR, T. R.; PAULSEN, G. M. (Ed.). **Physiology and determinations of crop yield**. Madison: ASA/CSSA/SSSA, 1994. cap. 7B, p. 181-185.

WAHUA, T. A. T.; MILLER, D. A. Effects of shading on the N₂ Fixation, yield and plant composition of field grown soybeans. **Agronomy Journal**, v. 70, p. 387-392, 1978.

ZHANG, X.; WANG, M.; WU, T.; WU, C.; JIANG, B.; GUO, C.; HAN, T. Physiological and molecular studies of staygreen caused by pod removal and seed injury in soybean. **The Crop Journal**, v. 4, n. 6, p. 435-443, 2016.