

## LIMITAÇÕES CLIMÁTICAS À OBTENÇÃO DE RENDIMENTOS MÁXIMOS DE SOJA

José Renato Bouças Farias<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>Embrapa Soja, Londrina, PR, Brasil.  
jrenato@cnpsa.embrapa.br

**Palavras chaves:** Clima; água; produtividade; manejo da cultura; ecofisiologia.

Com a globalização dos mercados agrícolas, incrementos nos rendimentos e redução dos custos e dos riscos de insucesso passaram a ser exigências básicas à competitividade. 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 moderna agricultura. Tem-se hoje como grande desafio a necessidade de produzir com qualidade para abastecer os mercados internos e gerar excedentes para exportação, a um custo competitivo, sem perder de vista o compromisso de preservar os recursos naturais. Diante desse contexto, a busca por rendimentos máximos aparece como uma das principais demandas do setor produtivo.

Rendimento máximo de uma cultura nada mais é do que aquele obtido por uma variedade altamente produtiva e bem adaptada ao ambiente de crescimento, sem a ocorrência de fatores limitantes durante todo o seu ciclo. A expressão do rendimento máximo de grãos de uma cultura é determinado, principalmente, por suas características genéticas e pelas respostas ao ambiente predominante, podendo ser afetada pelo manejo do cultivo. A bagagem genética varia de uma cultivar para outra, devendo-se, portanto, dar preferência aos materiais mais adaptados às características edafoclimáticas da região de cultivo. Os fatores de ordem ambiental que afetam o rendimento podem ser divididos em bióticos e abióticos. Os bióticos consistem do conjunto de seres vivos (fungos, bactérias, insetos, etc.) que podem atuar sobre a cultura, tanto de forma benéfica como maléfica. Todos os fatores ambientais não atribuíveis à atividade biológica podem ser incluídos como de ordem abiótica. Dentre os principais destacam-se a disponibilidade de nutrientes, as características físicas e químicas do solo e o clima. Para vários desses fatores, já foram desenvolvidas alternativas tecnológicas ou se está trabalhando para amenizar seus efeitos.

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

A ocorrência de déficit hídrico talvez seja hoje, e mais ainda num futuro próximo, o principal desafio das culturas produtoras de grãos. A frequência da ocorrência de eventos de seca tem aumentado nos últimos anos, provavelmente associadas às mudanças climáticas decorrentes do aquecimento do planeta (Schiermeier, 2006). Quando comparado com perdas causadas por estresses bióticos, as perdas causadas por estresses abióticos, como seca, causam em média mais de 50% das perdas mundiais, enquanto que prejuízos causados por estresses bióticos reduzem em média de 10 a 20% da produtividade das culturas (Bray, 2004).

Para agravar, evidências científicas contemporâneas têm advertido para anomalias na temperatura e nos padrões de precipitação, com conseqüências diretas nas atividades humanas e, especialmente, naquelas relacionadas à produção agrícola. Pesquisas baseadas nos cenários de mudanças climáticas globais (MCG) mostram que estas afetam diretamente a agricultura e as áreas florestais brasileiras. Estimativas pertinentes indicam que a temperatura média do planeta poderá aumentar entre 1,8 °C e 4,0 °C nos próximos 100 anos (Solomon et al., 2007), com implicações diretas em mudanças nos índices de risco que governam o desempenho das culturas de grãos, entre os quais se destacam a disponibilidade hídrica e a

duração dos períodos de estiagem.

Estresses abióticos como seca, excesso de chuvas, temperaturas muito altas ou baixas, baixa luminosidade, etc., podem reduzir significativamente os rendimentos das lavouras e restringir os locais e os solos onde espécies comercialmente importantes podem ser cultivadas. Os principais fatores climáticos que determinam o rendimento máximo são temperatura, radiação solar e água, embora outros como ventos, fotoperíodo e umidade do ar possam também estar relacionados.

Em geral, a temperatura determina a taxa de desenvolvimento da cultura, afetando a duração do período de crescimento necessário à formação da colheita. A radiação solar é o fator desencadeador da fotossíntese, na qual o CO<sub>2</sub> atmosférico, com a participação da água, é transformado em carboidratos. Esses carboidratos serão usados para o crescimento (aumento de tamanho) e para a manutenção (recomposição dos tecidos devido à respiração).

A sensibilidade da soja ao fotoperíodo é uma das principais restrições à adaptação de uma cultivar a um determinado local. O desenvolvimento das plantas de algumas cultivares de soja é muito dependente do fotoperíodo, pois o desenvolvimento reprodutivo é normalmente iniciado quando as plantas estão submetidas a dias curtos. Dessa forma, o cultivo de tais cultivares de soja em áreas de baixa latitude, onde o fotoperíodo é sempre relativamente curto, resultaria em florescimento precoce e, conseqüentemente, plantas pequenas e com baixos rendimentos de grãos. A introdução do período juvenil longo possibilitou ampliar a adaptação de uma cultivar, permitindo-lhe maior estabilidade de produção no tempo (épocas de semeadura) e no espaço (regiões). Segundo Kiihl & Garcia (1989), período juvenil é o nome dado à fase inicial de crescimento durante a qual a planta não é induzida a florescer, mesmo sob condições indutivas. O período juvenil longo parece impedir o florescimento, independentemente do fotoperíodo, até que transcorra um período de tempo mínimo, fortemente determinado pelo genótipo e pela temperatura. Uma vez transcorrido este período, a soja torna-se "apta a florescer" e o florescimento destes materiais tende a ser menos sensível ao fotoperíodo. Uma cultivar de soja com período juvenil longo permanece vegetativa por mais tempo do que cultivares convencionais, quando expostas a dias curtos, mas poderá florescer mais cedo do que algumas cultivares convencionais sob dias longos. Assim, as cultivares com período juvenil longo parecem ser menos sensíveis ao fotoperíodo do que a maioria das cultivares tradicionais. A identificação desta característica e a sua incorporação em novos genótipos pelo melhoramento genético estão entre os principais fatores responsáveis pela adaptação da soja às regiões de baixa latitude, permitindo a exploração da cultura em latitudes de até zero grau.

Dos elementos do clima, o que se apresenta como mais limitante é a água. A variabilidade na disponibilidade hídrica durante o período de desenvolvimento da cultura é a principal limitação à expressão do potencial de rendimento da soja, independentemente do ciclo da cultivar, da época de semeadura e do local. Clima e solo são as variáveis que explicam as diferenças regionais dos impactos da deficiência hídrica na cultura da soja, principalmente, em função da capacidade de armazenamento de água disponível no solo e do regime pluviométrico (Cunha et al, 1998).

A deficiência hídrica provoca reações fisiológicas e morfológicas na planta, como fechamento dos estômatos, murchamento de folhas, redução da área foliar, menor estatura da planta, queda de flores e frutos, redução na fixação do nitrogênio, ajustamento osmótico etc., que reduzem a fotossíntese, afetando negativamente o crescimento e o rendimento de grãos. A ausência de chuvas, isoladamente, não significa ocorrência de déficit hídrico. Ocorre déficit hídrico quando a evapotranspiração real for menor do que a evapotranspiração máxima da cultura. A soja possui duas fases mais críticas à disponibilidade hídrica: a primeira vai da semeadura à emergência, quando a falta de água afeta o estabelecimento das lavouras e a população de plantas; e a segunda, da floração ao enchimento de grãos, mais relacionada à formação do rendimento de grãos. A ocorrência de seca severa durante a fase vegetativa também pode afetar o rendimento de grãos, devido ao menor desenvolvimento das plantas e menor população. A floração é a fase

de maior consumo de água, porém a falta de água é mais crítica durante o enchimento de grãos. O efeito da deficiência hídrica sobre o rendimento de grãos depende da sua intensidade, da duração, da época de ocorrência, da cultivar, do estágio de desenvolvimento da planta e da interação com outros fatores determinantes do rendimento.

A água passa a ser limitante aos altos rendimentos em várias regiões produtoras, dependendo da produtividade esperada. Se a produtividade almejada for ao redor de 3000 kg/ha, pode-se afirmar que a água não será limitante, numa determinada região. No entanto, se a produtividade esperada for de 6000 kg/ha, a água poderá ser o fator limitante da produtividade nessa mesma região (Cooper, 2003). A partir do momento em que a água for removida como fator limitante da produtividade, a resposta aos outros fatores de produção, incluindo cultivares, aumenta significativamente. Porém, a remoção exclusivamente da água como um fator limitante da produtividade, não necessariamente resultará em produtividade recorde da soja.

Apesar dos grandes prejuízos advindos da ocorrência de adversidades climáticas, pouco ou quase nada se tem para apresentar como solução ao produtor, sem que haja um aumento do custo de produção, o que justifica a busca de novas informações no sentido de otimizar o seu cultivo, possibilitando a obtenção de maiores rendimentos e menores riscos.

A adoção de algumas práticas de manejo da cultura e de fatores envolvidos na produção ajudam a minimizar os efeitos negativos sobre o rendimento de grãos. Essas práticas devem permitir que a planta expresse o máximo possível do seu rendimento potencial. Porém, qualquer intervenção no sistema de produção tem por objetivo obter uma situação econômica ótima, fundamentada numa situação técnica ideal. A rigor, na prática, é o critério econômico que, em última instância, norteia a ação de manejo. O manejo integrado das informações e das tecnologias disponíveis, fundamentado no conhecimento das variabilidades espacial e temporal, é fundamental para a obtenção de maiores rendimentos. O manejo integrado de pragas e doenças permite maior conservação e permanência da área foliar fotossinteticamente ativa, favorecendo o processo da fotossíntese e, desta forma, contribuindo para a obtenção de maiores rendimentos. O perfeito controle de ervas daninhas reduz a competição por água, deixando maior quantidade disponível à cultura, o que pode ser de grande valia em épocas e períodos de menor disponibilidade hídrica. Embora possa ser facilmente resolvido com as recomendações de adubação indicadas pela pesquisa, deve-se ter em mente que, na correção do solo ou no suprimento das necessidades da cultura, devem-se considerar os níveis desejados de rendimento de grãos.

Conhecendo-se o rendimento máximo de uma cultura, pode-se, através do uso de tecnologias e/ou práticas de manejo, procurar alcançá-lo. O manejo adequado da cultura consiste num conjunto de práticas, considerando-se todas as interações possíveis do meio biológico, que propiciem a expressão do máximo rendimento de grãos. Não existe uma receita pronta para a obtenção de altos rendimentos. É necessário bom conhecimento e muita sensibilidade para tomar decisões certas, no sentido de ajustar os diversos níveis dos fatores envolvidos na produção de grãos.

Grande progresso tem sido conseguido na adaptação da cultura da soja para a obtenção de altos rendimentos. Em áreas de baixa latitude, a limitação do fotoperíodo foi superada através do desenvolvimento de germoplasma menos sensível ao fotoperíodo. O baixo pH e a alta disponibilidade de alumínio nesses solos foram eliminados com calagem. A pesquisa em desenvolvimento para tolerância ao alumínio em soja continua. Atualmente, é provável que o principal fator que limita os rendimentos de grãos de soja seja a disponibilidade de água às plantas. Os rendimentos de grãos são extremamente dependentes da água disponível no solo e, desta forma, provavelmente, será necessário aumentar a disponibilidade de água para atender a transpiração da cultura e, conseqüentemente, obter-se incrementos na produtividade de grãos. Maior profundidade do sistema radicular parece ser crítico à obtenção de rendimentos crescentes sob condições limitantes de água. Por conseguinte, aumento na profundidade das raízes para camadas do solo com baixo pH e alto alumínio disponível, é um

grande desafio. A busca de melhor uso eficiente da água pela cultura merece também atenção, assim como todos os esforços visando melhor arquitetura de plantas bem como disposição espacial das mesmas na área de cultivo. Além disto, a fixação de N<sub>2</sub> pela soja é muito sensível à disponibilidade de água no solo. Pesquisas recentes têm procurado identificar germoplasma que expresse tolerância considerável da fixação de N<sub>2</sub> à menor disponibilidade de água no solo (Sinclair e Purcell, 2002). Em muitas importantes regiões produtoras, o maior entrave à expressão de altos rendimentos da soja tem sido a variabilidade na distribuição de chuvas durante o período de primavera-verão.

Apesar de toda tecnologia hoje existente e disponível, a obtenção de máximos rendimentos continua extremamente dependente do clima. Provavelmente, no futuro, muito do potencial para obtenção de altos rendimentos de soja estará relacionado à tolerância dos materiais a curtos períodos de baixa disponibilidade hídrica. Práticas de manejo, que visam maior armazenamento ou incremento da camada de extração da água do solo, em muito, também, poderão contribuir para o alcance de elevadas produtividades.

## Bibliografia

- BRAY, E.A. Genes commonly regulated by water-deficit stress in *Arabidopsis thaliana*. *Journal of Experimental Botany*, 55: 2331-2341, 2004.
- COOPER, R.L. Pesquisa sobre produtividade máxima da soja nos EUA. Piracicaba: POTAFOS – Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato. 6 p. 2003. (Informações Agronômicas, n. 101).
- CUNHA, G.R.; HASS, J.C.; DALMAGO, G.A.; PASINATO, A. Perda de rendimento potencial em soja no Rio Grande do Sul por deficiência hídrica. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, v. 6, n. 1, p. 111-119, 1998.
- KIIHL, R.A.S.; GARCIA, A. The use of the long-juvenile trait in breeding soybean cultivars. In: *WORLD SOYBEAN RESEARCH*, 4., Buenos Aires, 1989. *Proceedings...* Buenos Aires, A.J. Pascale, 1989. p. 994-1000.
- SCHIERMEIER, Q. The costs of global warming. *Nature*, 439:374-375. 2006.
- SINCLAIR, T.R.; PURCELL, L.C. Limitations resulting from abiotic factors, especially inadequate water, on soybean yield in low-latitude areas. In: *CONGRESSO BRASILEIRO DE SOJA*, 2.: 2002: Foz do Iguassu, PR. *Anais ... Londrina: Embrapa Soja*, 2002. p.280-91. (Embrapa Soja. Documentos, n. 180).
- SOLOMON, S.; QIN, D.; MANNING, M.; ALLEY, R.B.; BERNTSEN, T.; BINDOFF, N.L.; CHEN, Z.; CHIDTHAISONG, A.; GREGORY, J.M.; HEGERL, G.C.; HEIMANN, M.; HEWITSON, B.; HOSKINS, B.J.; JOOS, B.J.; JOUZEL, J.; KATTSOV, V.; LOHMANN, U.; MATSUNO, T.; MOLINA, M.; NICHOLLS, N.; OVERPECK, J.; RAGA, G.; RAMASWAMY, V.; REN, J.; RUSTICUCCI, M.; SOMERVILLE, R.; STOCKER, T.F.; WHETTON, P.; WOOD, R.A. and WRATT, D. Technical summary. In: SOLOMON, S.; QIN, D.; MANNING, M.; CHEN, Z.; MARQUIS, M.; AVERYT, K.B.; TIGNOR, M. and MILLER, H.L. (Ed.). *Climate change 2007: the physical science basis*. Cambridge, Cambridge University Press, 2007. p. 19-91. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.