

DÉFICIT HÍDRICO: EFEITO SOBRE A CULTURA DA SOJA

Rafaela Morando¹, Aleksandro O. da Silva¹, Leidiane C. Carvalho¹, Mírian P. M. A. Pinheiro¹

¹ Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” - FCA/UNESP, Rua José Barbosa de Barros, nº1780, CEP: 18.610-307 - Botucatu, SP. E-mail: rafaela_morando@hotmail.com, alexsandro_oliveira01@hotmail.com, leidy_santana@hotmail.com, medeirosmirian@yahoo.com.br

RESUMO: Dos fatores de produção agrícola, o clima representado pelas baixas pluviosidades, figura como o de maior impacto na produção de soja. A imprevisibilidade climática provocando longos períodos de secas, confere o principal fator de risco nas lavouras de sojas e conseqüente prejuízos a produtores rurais no Brasil e no mundo. Para amenizar os prejuízos causados pelo clima são necessárias novas cultivares de soja adaptadas à seca e ao clima diversificado do país, além de avanços tecnológicos na produção de soja que deve avançar com o aumento da área cultivada. No presente texto são revisados trabalhos conduzidos no Brasil e em outros países que observam e estudam alternativas para a diminuição do risco de produção da cultura da soja.

PALAVRAS-CHAVE: Tolerância à seca, ajustamento osmótico, fisiologia vegetal.

WATER DEFICIT: EFFECT ON SOYBEAN CROP

ABSTRACT: In agricultural production factors, climate represented by low rainfall, is presented as one of the greatest impact on soybean production. The unpredictability of the weather causing long periods of drought, confers the main risk factor in soybean crops and consequent losses to rural producers in Brazil and worldwide. To reduce the damage caused by the climate It requires new soybean cultivars adapted to drought and varied climate of the country, as well as technological advances in soybean production should proceed with the increase of acreage. In this paper is reviewed studies conducted in Brazil and other countries that observe and study alternatives to reduce the risk of soybean production.

KEYWORDS: Drought tolerance, osmotic adjustment, vegetable physiology.

INTRODUÇÃO

A soja é originária da China e pertence à família Fabaceae (Leguminosae) (Sediyama et al., 2009). Participa do desenvolvimento de um amplo complexo agroindustrial, além de ser uma *commodity*, padronizada e uniforme, podendo ser produzida e negociada por produtores de diversos países (Hirakuri e Lazzarotto, 2011). Destaca-se como uma importante fonte de divisas para o Brasil, contribuindo com parcela significativa nas exportações brasileiras. Inúmeras famílias brasileiras, das mais diversas classes econômicas, dependem direta ou indiretamente dos empregos gerados pelo complexo de produção, transporte e industrialização da soja. Entretanto, o sucesso de todo esse complexo é, ainda hoje, extremamente dependente das condições climáticas (Farias et al., 2009). A disponibilidade hídrica tem sido considerada

o fator climático de maior efeito sobre a produtividade agrícola, sendo o fator que rege a distribuição das espécies nas diferentes zonas climáticas.

A produção agrícola em ambientes com pouca disponibilidade hídrica é afetada de maneira direta, sendo os prejuízos minimizados por características das plantas que permitem uma manutenção do status hídrico durante a redução da umidade do solo, onde esta é caracterizada como a resistência que a cultura tende a resistir à seca. Deve-se levar em consideração que a água constitui aproximadamente 90% do peso da planta de soja, atuando em, praticamente, todos os processos fisiológicos e bioquímicos além de desempenhar a função de solvente, transportando gases, minerais e outros solutos na planta (Farias et al., 2009). Dentre as medidas para se determinar o déficit hídrico nas plantas destaca-se o potencial da água que é uma medida importante e sensível do estado hídrico da planta em que varia de valores próximos de zero nas plantas sem estresse, até valores bem abaixo de zero ou igual ao potencial osmótico, em plantas com estresse severo. Devido a variações ao longo do dia, existem déficits de curto prazo até mesmo em plantas irrigadas, ocasionadas pelas altas temperaturas em alguns horários do dia, devido a isto o potencial de água na folha tem sido utilizado como ferramenta em estudos das relações hídricas dos vegetais (Hsiao, 1973), e é considerado padrão do estado hídrico da planta.

Por água representar cerca de 90% do peso da planta da soja, atuando em todos os processos fisiológicos e bioquímicos existentes nesta cultura, a disponibilidade de água no solo é um fator determinante para o seu correto desenvolvimento, principalmente nas fases de germinação-emergência e floração -enchimento de grãos (Farias et al., 2009). De acordo com a CONAB (2012), o longo período de estiagem causou perdas significativas no cultivo da soja nos estados produtores, sobretudo no Rio Grande do Sul, com perdas de 43,8% (5,09 milhões de toneladas), seguido do Paraná com redução de 30,0% (4,63 milhões de toneladas) e de Mato Grosso do Sul. Também houve impactos com menores efeitos nos estados da região Centro-Oeste, com perda de 10,4% (539,9 mil toneladas). Tal queda na produção de soja no Brasil deve-se a sensibilidade da cultura a déficits hídricos, quando comparada a outras importantes culturas no mundo, além de seu requerimento hídrico ser relativamente alto, em torno de 800 mm dia⁻¹ para obtenção de altas produtividades (Isoda, 2005; EMBRAPA, 2008) por isso qualquer distribuição de chuvas no ano abaixo das expectativas geram prejuízos financeiros aos produtores que investiram em grandes áreas de plantio.

Na presença de déficit hídrico, existem estratégias das plantas para diminuir os efeitos da seca, utilizando mecanismos de tolerância, como o ajuste osmótico, para que a célula

absorva água e mantenha o potencial de pressão em níveis adequados. Uma destas estratégias é a diminuição do potencial osmótico, em resposta ao déficit, resultando em uma concentração passiva de solutos, consequência da desidratação da célula, ou da acumulação ativa de solutos, sendo esta considerada como ajuste osmótico. Existe considerável variação, entre diferentes culturas, na capacidade de ajuste osmótico e isso deve ser considerado ao medir a habilidade da cultura em suportar a seca. Atualmente, tem sido observada alta capacidade de ajuste osmótico em espécies como o sorgo e o algodão; ajustes mais moderados são observados em girassol, enquanto o trigo e a soja normalmente apresentam baixa capacidade de ajuste (Oosterhuis e Wullschleger, 1988).

Dentro do exposto observa-se que devem ser realizadas pesquisas, unindo estudos sobre várias áreas da agricultura desde o manejo da irrigação até o melhoramento genético de plantas para disponibilizar cultivares mais resistentes a falta de água. Com isto, pode-se amenizar as perdas de produtores rurais que investiram em grandes áreas agrícolas que estão sempre sujeitas as instabilidades do clima. No presente texto, procurou-se revisar os trabalhos que, direta e indiretamente, abordaram o efeito do déficit hídrico na cultura da soja, objetivando-se contribuir para a organização das informações até então geradas.

DÉFICIT HÍDRICO E PRODUÇÃO DA SOJA

Produção da soja

A produtividade das culturas agrícolas é limitada pela água e depende da quantidade disponível deste recurso e da eficiência do seu uso pelo organismo. Normalmente o déficit hídrico nas plantas é causado pela falta de chuvas em áreas que não utilizam a irrigação como recurso para suprir as necessidades hídricas das plantas em períodos de estiagem. A produção da soja esta intimamente ligada às condições climáticas anuais variando a produtividade em função da disponibilidade de chuvas no ano (Figura 1) além do desenvolvimento de novas cultivares resistentes a seca. Segundo EMBRAPA (2009) a água constitui aproximadamente 90% do peso da cultura da soja, atuando em praticamente todos os processos fisiológicos e bioquímicos, desempenhando o papel de solvente, por meio do qual, gases, minerais e outros solutos entram nas células e movem-se na planta. A disponibilidade da água é importante, principalmente, em dois períodos de desenvolvimento da soja: germinação-emergência e floração-enchimento de grãos. A semente de soja necessita absorver, no mínimo, 50% de seu peso em água para assegurar uma boa germinação. Nesta fase, o conteúdo de água no solo não deve exceder a 85% do total de água disponível nem ser inferior a 50% (EMBRAPA, 2009).

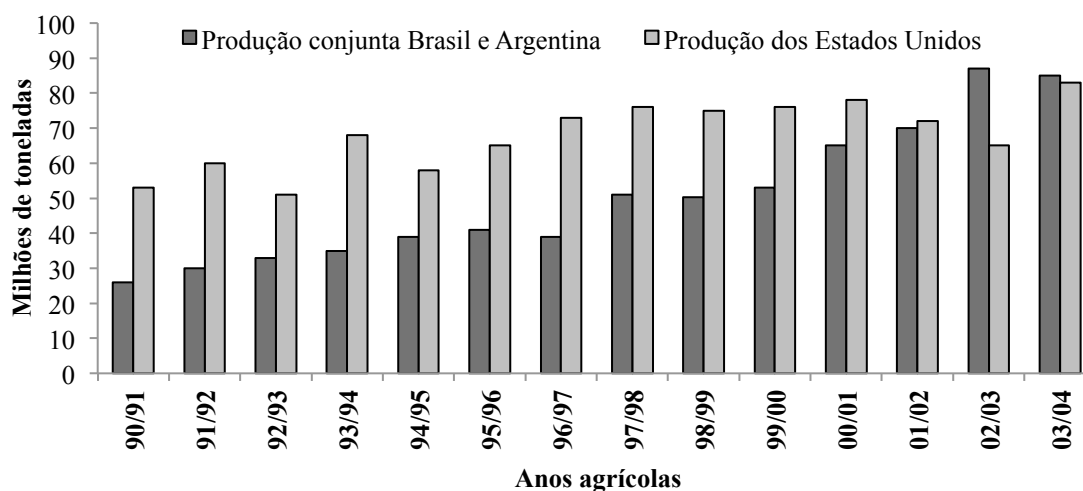


Figura 1 - Soja: Produção conjunta entre Brasil e Argentina e produção dos Estados Unidos
Fonte: Taiz e Zeiger (2006)

Segundo Carlesso (1995), o suprimento de água às plantas é determinado pela habilidade da cultura em utilizar a água armazenada no solo, enquanto a demanda da atmosfera, por outro lado, está relacionada à combinação dos fatores meteorológicos interagindo com o dossel vegetativo da cultura. Na literatura diversos trabalhos vêm sendo estudados para avaliar a condição de produção adequada para a cultura da soja sendo o déficit hídrico um dos principais temas abordados. Segundo Casagrande et al. (2001), a falta de água na cultura soja pode afetar o processo fotossintético, tanto de forma direta, com a desidratação do citoplasma como indiretamente devido ao fechamento dos estômatos. Borrmann (2009), em estudos sobre as respostas fisiológicas da cultura da soja sob déficit hídrico, afirma que na fase de enchimento dos grãos na soja o estresse hídrico pode causar redução no tamanho e peso dos grãos além da retenção da cor verde, pois a falta de água prejudica a atividade das enzimas responsáveis pela degradação da clorofila, o que resulta em alto teor de grãos verdes.

Eficiência do uso da água

A eficiência do uso da água (EUA) segundo Fageria, et al., (1984) é definida como o montante de biomassa acumulado pela unidade de água usada, tal definição foi primeiramente aplicada para a pesquisa envolvendo a irrigação, onde os custos de aplicação de água nas plantas são levados em consideração. Fisiologicamente tal termo é definido como a taxa de carbono assimilada pela água transpirada. A EUA normalmente está associada a mecanismos de tolerância das plantas à seca contribuindo para produção e crescimento de culturas submetidas a déficit hídrico. O uso total da água pelas plantas está relacionado com a

transpiração e evaporação da água no solo. Segundo Fageria (1989) a EUA pode ser expressa pela equação abaixo:

$$EUA = \frac{HI}{ETc} \quad (1)$$

Onde:

EUA- é a eficiência do uso da água;

HI - é a taxa de produção da cultura.

ETc - é a evapotranspiração da cultura;

Segundo Câmara (2009) a expansão do sistema radicular é influenciada pelas propriedades físicas do solo relacionadas à disponibilidade hídrica. Como planta do tipo C3, a soja requer grandes quantidades de águas para a produção sendo que para cada quilograma de matéria seca produzida através da fotossíntese, a soja necessita transpirar cerca de 580 kg de água. A Tabela 1, elaborada por Scott e Aldrich (1970) apresenta os valores de EUA da soja comparadas a de outras culturas.

Tabela 1 - Eficiência no uso de água para soja e outras espécies cultivadas

Espécies	Kg água / kg matéria seca
Alfafa	383
Aveia	264
Batata	261
Beterraba doce	171
Milho	158
Soja	293
Soja	580 a 650
Soja	527
Sorgo	138
Trigo	247

Fonte: Scott e Aldrich (1970)

A evapotranspiração é um dos principais fatores da relação solo, planta água e atmosfera, pois o padrão de água utilizado pela cultura é diretamente relacionado ao desenvolvimento de estresse nas plantas. A ETc da cultura da soja vem sendo estudada nos mais diversos climas do país sendo de extrema importância seu estudo para amenizar o efeito de déficit hídrico nas regiões produtoras, na Tabela 2 pode-se verificar a evapotranspiração média da cultura da soja na região do Sul do País, em pesquisa realizada por Berlato e Bergamashi (1978) no período de três anos de estudo. Fietz e Rangel (2008) estudando a época mais adequada de semeadura da soja para a região de Dourados - MS, com base na deficiência hídrica e no fotoperíodo, observaram a menor deficiência hídrica nas semeaduras de novembro e, principalmente, dezembro deve-se aos estádios da fase reprodutiva da soja,

com maior exigência hídrica, ocorrerem em fevereiro e março, meses de menor demanda de água para o processo de transpiração que dezembro e janeiro.

Tabela 2 - Evapotranspiração média nos diversos subperíodos fenológicos da soja cultivar Bragg, durante o período 1974/1977, em Taquari -RS

Subperíodos	Evapotranspiração diária (mm)
Semeadura-Emergência	2,2
Emergência-R1	5,1
R1-R3	7,4
R3-R7	6,6
R7-R8	3,7
Média do ciclo	5,8

Fonte: Berlato e Bergamashi (1978)

Produtividade em relação ao déficit hídrico

A resistência à seca é expressa nas plantas através de genes que promovem maior adaptação a condições climáticas adversas como a falta de água. Algumas das primeiras respostas ao estresse podem ser medidas predominantemente por acontecimentos biofísicos ou por alterações de reações químicas causadas pela desidratação (Taiz e Zeiger, 2006). Um dos processos biofísicos visíveis devido ao estresse das plantas é a redução no crescimento. A medida que o conteúdo de água diminui, a célula encolhe cada vez mais e as paredes relaxam, os solutos ficam cada vez mais concentrados e a membrana plasmática torna-se mais espessa, uma vez que cobre uma área menor. Como a perda de turgidez é o primeiro efeito biofísico da carência hídrica, as atividades relacionadas com a turgidez são as mais sensíveis ao déficit hídrico (Taiz e Zeiger, 2006; Fageria et al., 1984). O crescimento celular é um processo dependente da turgidez e conseqüentemente é extremamente sensível à deficiência hídrica. O crescimento celular pode ser descrito pela equação de Lockhart:

$$RGR = m(\Psi_p - Y) \quad (2)$$

Em que RGR é a taxa de crescimento relativo, Ψ_p é o potencial de pressão (turgidez); Y é o ponto limite, isto é, a pressão abaixo da qual a parede celular resiste a deformação plástica (irreversível); e m é a extensibilidade da parede, ou seja a sensibilidade da parede à pressão.

A maioria dos estudos relacionados à resistência a seca na cultura da soja tem sido feito através da comparação de genótipos das plantas submetidas a déficit hídrico em condições igualitárias. Fioreze et al. (2011), estudando o comportamento de genótipos de soja submetidos a déficit hídrico intenso em casa de vegetação observaram diferenciação no comportamento de genótipos de soja sendo os valores produtivos dos diferentes genótipos

afetados de maneira variável tendo respostas diferentes entre si. Outra característica apresentada por plantas submetidas a déficit hídrico é a redução na área foliar total onde as mesmas não permanecem constantes depois da maturação das folhas. Se as plantas sofrerem estresse por carência hídrica após um grande desenvolvimento das folhas, então estas entram em senescência e finalmente caem. Este ajustamento da área foliar é uma mudança de longo termo que melhora muito a aptidão das plantas para sobreviverem num ambiente com uma limitação hídrica.

Alteração na abertura dos estômatos é um dos mecanismos de adaptação a falta de água nas plantas. Após o desenvolvimento da área foliar antes do início do estresse as plantas fecham os estômatos de maneira a reduzir a perda de água para o ambiente. Na literatura estudos sobre as condições fisiológicas da cultura da soja submetidas a déficit hídrico mostram que há aumento da condutância estomática e diminuição da transpiração (Figura 2) das plantas de acordo com o nível de restrição hídrica. Firmano et al., (2009) em estudos sobre a relação hídrica e a adubação fosfatada na cultura da soja observaram os efeitos fisiológicos provocados pela falta de água nas plantas e decréscimo na produção da soja além da diminuição da eficiência do uso da água. Salinet (2009) em estudos sobre a cultura da soja em Londrina Paraná observou que o déficit hídrico diminui a condutância estomática da cultura, apresentando o fechamento dos estômatos nos tratamentos mais críticos.

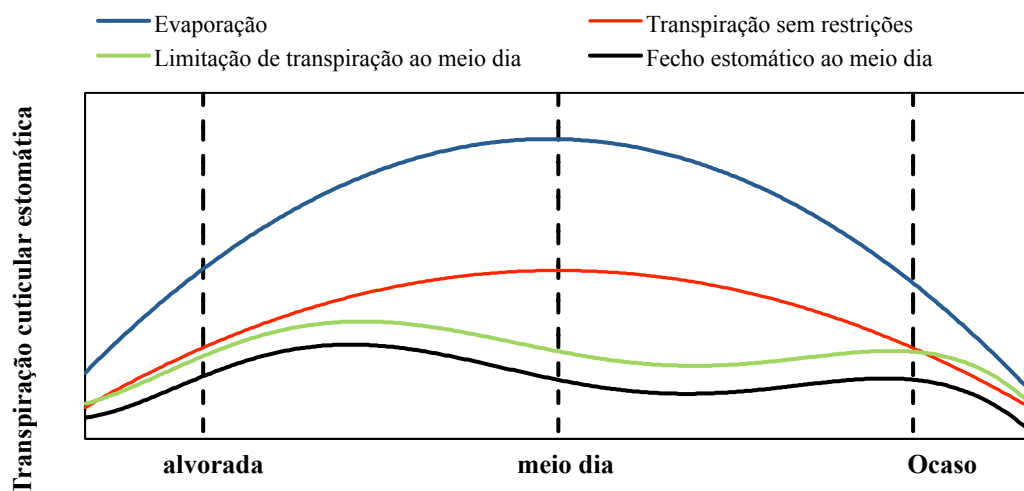


Figura 2 - Transpiração das plantas em condições normais e sobre déficit hídrico.
Fonte: Adaptado por Taiz e Zeiger (2006).

COMPORTAMENTO BIOQUÍMICO DA SOJA SOB CONDIÇÕES DE DEFICIT HÍDRICO

O déficit hídrico é caracterizado pela perda de água que excede a taxa de absorção e deste modo atua diretamente nas relações de água de plantas, em que os danos à planta dependem da intensidade e do período de exposição, posteriormente, promovendo mudanças na célula e as vias moleculares, assim como é relatada acumulação de solutos orgânicos, como os carboidratos e prolina (Costa et al., 2008).

A sensibilidade de soja sob déficit hídrico pode expor as plantas a estresse ambiental no campo, em uma fase específica do ciclo, ou até mesmo durante vários estádios vegetativos e ou reprodutivos, modificando sua composição química (Albrecht et al., 2008). Lobato et al. (2008), avaliaram o comportamento bioquímico da soja submetida a seis dias de estresse hídrico, no início da fase reprodutiva, observando carboidratos solúveis totais (CST), sacarose (S), redução de carboidratos (RC), prolina (P), aminoácidos livres (AL) e total de proteínas solúveis (TPS) os mesmos observaram que houve aumento nos níveis de CST para 40%, 205% para S, 19,2% para RC, 67% para P e de 388,1% para AL além de uma redução de 20% no nível de TPS.

Atualmente os estudos sobre déficit hídrico nas plantas apontam um aumento progressivo no valor total dos carboidratos solúveis como o sorbitol, sacarose e amido, que são extremamente solúveis e permeáveis sendo acumulados em células e desta forma melhoram a resistência das plantas, tal efeito é caracterizado como adaptação da cultura ao déficit hídrico e estudado em diversas culturas (Fageria, 1989; Carlesso et al., 1995; Fioreze et al., 2011). O nível de sacarose é aumentado progressivamente nas plantas sob estresse hídrico, devido a biossíntese de sacarose, em que este aumento provavelmente é promovido pelo consequente aumento da atividade da enzima sacarose fosfato sintase que atua na célula fotossintética citosol, com a função de proteger a integridade de membranas e proteínas (Hoekstra et al., 2001), em condições de deficiência hídrica. Vieira et al., (2013) afirmam que a cultivar UFUS Riqueza apresentou a maior quantidade de sacarose presente nas raízes primárias na condição controle (1213,75 µg/g) e estressada (1387,917 µg/g). Em seguida destacou-se a cultivar MG/BR 46 Conquista na condição controle (693,75 µg/g) e estressada (1014,583 µg/g), e por último a cultivar UFUS Xavante na condição controle (664,583 µg/g) e estressada (782,917 µg/g).

O aumento dos níveis de redução de carboidratos em plantas sob restrição de água ocorre devido aos dois acontecimentos bioquímicos que acontecem simultaneamente em

plantas sob estas condições. A via de amido é o principal acontecimento bioquímico, pois o amido é degradado e esta degradação é promovida pela ação da enzima *amilase* (Chaves Filho e Stacciarini-Seraphin, 2001). Além disso, existe a via de sacarose que é considerada secundária, devido à sacarose sofrer ações de enzimas *invertase* e deste modo liberar *hexoses* que podem ser utilizadas em processos anabólicos ou catabólicos e se não for utilizado podem contribuir para o acúmulo de redutores de carboidratos (Chaves Filho e Stacciarini-Seraphin, 2001).

O processo de aumento do nível de aminoácidos livres é causado devido à elevada síntese de aminoácidos de proteínas hidrólise, em que os aminoácidos livres são utilizados pela planta para reduzir os efeitos do déficit hídrico através do acúmulo de soluto orgânico e desta forma aumentar a capacidade de retenção de água. Sob estresse hídrico, aminoácidos livres como prolina e glicinabetaina são fortemente influenciados e, conseqüentemente, mais rapidamente acumulados, bem como na forma secundária ocorre um aumento de aspartato, glutamato e alanina (Ramos et al., 2005).

A redução das proteínas solúveis apresentadas nas plantas sob estresse hídrico é causada devido ao provável aumento da atividade enzimática das proteases, já que esta enzima promove a quebra das proteínas e, conseqüentemente, diminui a proteína montante apresentada na planta sob condições de estresse abiótico (Taiz e Zeiger, 2006). Borrmann (2009) estudando o efeito do déficit hídrico nas características químicas da cultura da soja observou que houveram diferenças entre as cultivares estudadas para os teores de proteínas em plantas recém-colhidas, mostrando que algumas cultivares de soja apresentam maior tolerância à seca do que outras.

A prolina é um aminoácido que desempenha um importante papel adaptativo na tolerância das plantas ao estresse, principalmente devido à sua propriedade osmoprotetora. Durante situações de seca e alta salinidade, o seu acúmulo resulta em aumento na osmolaridade da célula, que leva ao influxo de água ou redução no efluxo e promove a manutenção do turgor necessária para a expansão celular. Ainda sob condições de estresse osmótico, a integridade de membranas deve ser mantida a fim de evitar a desnaturação protéica. A prolina interage com enzimas e outras proteínas preservando suas estruturas e atividades (Silva, 2012).

MECANISMOS DE RESITÊNCIA A SECA

Mecanismos de defesa da planta

Ao longo dos anos as plantas desenvolveram em seu sistema evolutivo, estratégias de adaptação às adversidades climáticas como a falta de água causada por eventos ocorridos em uma estação do ano. A resposta ao estresse por meio do desenvolvimento de mecanismos de defesa é a mais crucial função da célula vegetal (Nepomuceno et al., 2001). Segundo EMBRAPA (2009), a disponibilidade da água é importante, principalmente, em dois períodos de desenvolvimento da soja: germinação-emergência e floração-enchimento de grãos. Sendo que para obtenção do rendimento máximo, a necessidade de água na cultura da soja, durante todo seu ciclo, varia entre 450 a 800 mm, dependendo das condições climáticas, do manejo da cultura e da duração de seu ciclo. Portanto, a identificação e a compreensão dos mecanismos de tolerância à seca são essenciais no desenvolvimento de novas cultivares de soja mais tolerantes (Tavares, 2012).

Existem duas estratégias básicas pelas quais as plantas resistem à seca: o “evitamento” e a tolerância à desidratação. A cultura da soja apresenta tanto características de “evitamento” como de “tolerância” à desidratação (Fageria, 1989). Sendo assim, pesquisas devem ser realizadas com enfoque em ambas as estratégias, para que se possa potencializar a tolerância das plantas e aumentar a produtividade das mesmas.

Mecanismos de ações gênicas

De acordo com Fageria (1989), entender como o déficit hídrico afeta o desenvolvimento das culturas seria de grande ajuda para a criação de mais cultivares tolerantes à seca, por meio da identificação de características específicas, que determinam a atuação de culturas em condições de déficit hídrico e que são passíveis de alterações, seja por transformação genética, seja por melhoramento genético convencional. Uma resposta fisiológica específica ao déficit hídrico representa na verdade combinações de eventos moleculares que são ativados ou desativados pela percepção do estresse. Esta defesa ocorre através da alteração no modelo de expressão gênica (Nepomuceno et al., 2001).

Mudanças no volume celular em plantas submetidas ao déficit hídrico podem ativar canais na membrana celular, causar alterações na conformação e justaposição de proteínas responsáveis pela percepção do estresse ou causar alterações na continuidade do sistema “parede celular – plasmalema”, conseqüentemente, acionando outras sinalizações moleculares que, então, ativam outros genes, em resposta ao déficit hídrico (Yamaguchi-Shinozaki et al., 2002). Quando água é perdida pela célula, processos regulatórios são iniciados e o metabolismo celular é ajustado às novas condições celulares. Simultaneamente, inibição no

crescimento e alterações no desenvolvimento começam a ocorrer, resultando em mudanças adicionais na expressão gênica (Taiz e Zeiger, 2006).

A caracterização de genótipos tolerantes à seca é um pré requisito para a seleção de novas cultivares resistentes ao déficit hídrico, por isso a expressão de genes ainda não identificados em cultivares que apresentam tal resistência podem auxiliar nos programas de melhoramento genético da soja, pois segundo Casagrande et al. (2001) uma resposta fisiológica específica ao déficit hídrico representa uma combinação de eventos moleculares que são ativados e desativados durante o estresse. No entanto considerando-se tolerância à seca como uma característica poligênica existem dificuldades para trabalhar esta expressão gênica no melhoramento genético clássico (Fageria et al., 1984).

A manutenção do Conteúdo Relativo de Água tem sido eficiente na diferenciação de genótipos de soja, em grande parte dos trabalhos de pesquisa relacionados com déficit hídrico, apontando elevada correlação com a manutenção da área foliar e com o ajuste osmótico (James et al., 2008). O teor relativo de água tem apresentado também, relação linear com os valores de potencial hídrico foliar, em condições de déficit hídrico suave, moderado e severo. Na área de tolerância à seca, uma infinidade de estudos tem relatado a identificação de QTLs e de genes controlando diferentes respostas ao déficit hídrico em plantas (Bhatnagar-Mathur et al., 2008), indicando que plataformas genômicas, de sequenciamento e de bioinformática têm contribuído para o conhecimento das bases genéticas e fisiológicas desta característica.

Stolf-Moreira et al. (2011) em estudos sobre a identificação de genes de referência para análise de expressão por PCR em soja sob estresse hídrico, observaram que o gene *GmGAPDH* foi o menos estável enquanto os genes *Gm β -actin* e *GMRNAr18S* foram os mais estáveis tanto nas raízes quanto nas folhas das plantas. Stolf-Moreira et al. (2010) em estudos sobre a expressão gênica na fisiologia da soja sob déficit hídrico, observaram que o genótipo MG/BR46 (Conquista) mostrou uma tolerância à seca maior do que o genótipo BR16, principalmente devido a expressão rápida dos genes *Gmdreb1a* e *Gmpip 1b* mRNA no genótipo MG/BR46 (Conquista). Segundo Polizel (2007), a introdução da construção gênica *rd29A: AtDREB1A*, na soja resultou em sucesso, utilizando embriões de cultivares sensíveis à seca. Segundo este autor o promotor *rd29A* após estresse hídrico induziu a expressão do FT *AtDREB1A* ativando este em níveis mais elevados, em relação as plantas sem estresses. Nesta base, a aplicação de tecnologia transgênica também pode ser um ponto de partida importante para elevar a capacidade de tolerância das plantas.

Ajustamento osmótico

O ajuste osmótico, ou acúmulo de solutos pela célula, é o processo pelo qual se reduz o potencial da célula, a fim de se manter o equilíbrio hídrico dentro da célula, ou seja, seu volume e turgor (Taiz e Zeiger, 2006). Em condições de seca, vários metabólitos são acumulados e atuam como osmólitos não apenas na manutenção do turgor celular, mas também na destoxicação de espécies reativas de oxigênio e estabilização de proteínas e estruturas da célula. Entre eles estão os açúcares (oligossacarídeos da família da rafinose, sacarose, trehalose e sorbitol), açúcares-álcool (manitol), aminoácidos (prolina), proteínas (chaperonas, LEA, do inglês *late embryogenesis abundant*) e aminas (glicina betaína e poliaminas) (Seki et al., 2007).

As plantas podem acumular os solutos, como carboidratos, ácidos orgânicos e íons. Estes solutos podem ser estocados tanto em organelas como no citossol celular. Os íons que penetram na célula, como o potássio e o sódio, são estocados em vacúolos ou exportados para o exterior celular, para que não interfiram no metabolismo do citoplasma (Fageria, 1989; Taiz e Zeiger, 2006). Os compostos orgânicos, que não interferem no metabolismo, tais como a prolina, alguns carboidratos (manitol, sacarose rafinose) e glicina betaína, são chamados de solutos compatíveis e podem ser acumulados no citoplasma de forma a manter o equilíbrio hídrico entre o vacúolo e o citoplasma (Taiz e Zeiger, 2006). Estes solutos são osmoprotetores e protegem a célula pela manutenção da turgidez celular (Yamaguchi-Shinozaki et al., 2002). Osmoprotetores podem ser acumulados normalmente em altos níveis e reduzir os efeitos inibitórios da atividade enzimática e iônica, uma vez que aumentam a estabilidade térmica de enzimas que se encontram em solução salina sem perturbar a bioquímica celular (Bohnert e Jensen, 1996; Zhu, 2001).

Com isto, o ajustamento osmótico tem sido considerado um dos processos cruciais na adaptação das plantas à seca, por sustentar a atividade metabólica no tecido e permitir a retomada do crescimento após a nova irrigação, embora esta capacidade varie entre genótipos. Mas, em termos de produtividade em espécies cultivadas, não há muitos estudos de campo mostrando um benefício consistente do ajuste osmótico. Este parece ser crítico mais na sobrevivência do que no aumento do crescimento da planta e de produtividade sob condições de seca (Fageria et al., 1984).

CONCLUSÕES

O novo cenário que o mundo está passando com aquecimento global, tende a intensificar-se nas próximas décadas, em que algumas regiões já estão passando por essas

mudanças, tornando-se cada vez mais secas e quentes, faz-se necessário a utilização de tecnologias que possam atenuar esse efeito sobre a cultura da soja, cultura essa de grande importância econômico-social para o país.

As respostas da planta há esta situação em geral é através de expressão gênica, que permite a sobrevivência em condições adversas.

Portanto estudos sobre tecnologias de adaptação e a aclimatização ao estresse ambiental que resultem de eventos integrados que ocorrem em todos os níveis de organização, desde o anatômico e morfológico até o celular, bioquímico e molecular, são cruciais para elevar a capacidade de tolerância ao estresse hídrico.

REFERÊNCIAS

ALBRECHT, L. P.; BRACCINI, A. L. E.; ÁVILA, M. R.; SUZUKI, L. S.; SCAPIM, C. A.; BARBOSA, M. C. Teores de óleo, proteínas e produtividade de soja em função da antecipação da semeadura na região oeste do Paraná. **Bragantia**, Campinas, v.67, n.4, p.865-873, 2008.

BERLATO, M. A.; BERGAMASCHI, H. Consumo da soja: I. Evapotranspiração estacional e ótimas condições de disponibilidade de água no solo. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE PESQUISA DE SOJA, 1., 1978, Londrina. **Anais**. Londrina, PR: EMBRAPA-CNPSO, p. 53-58.

BHATNAGAR-MATHUR, P.; VADEZ, V.; SHARMA, K.K. Transgenic approaches for abiotic stress tolerance in plants: retrospect and prospects. **Plant Cell Reports**, New York, v.27, p.411-424, 2008.

BOHNERT, H.J. JENSEN, R. G. Strategies for engineering water-stress tolerance in plants. **Trends in Biotechnology**, Oxford, v.14, p.89-97, 1996.

BORRMANN, D. **Efeito do déficit hídrico em características químicas e bioquímicas da soja e na degradação da clorofila, com ênfase na formação de metabolitos incolores**. 2009. 107p. Tese (Doutorado em Ciência dos Alimentos) - Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

CÂMARA, G. M. S. Fisiologia da produção de soja. In: _____. **Soja & Cia**. Piracicaba: EdUSP, 2009, p.150-177.

CARLESSO, R. Absorção de água pelas plantas: água disponível versus extraível e a produtividade das culturas. **Revista Ciência Rural**, Santa Maria, v.25, n.1, p.183-188, 1995.

CASAGRANDE, E. C.; FARIAS, J. R. B.; NEUMAIER, N.; OYA, T.; PEDROSO, J.; MARTINS, P. K.; BRETON, M.; NEPOMUCANO, A. L. Expressão gênica durante déficit hídrico em soja. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Londrina, v.13, n.2, p.168-184, 2001.

CHAVES FILHO, J. T.; STACCIARINI-SERAPHIN, E. Alteração no potencial osmótico e teor de carboidratos solúveis em plantas jovens de lobeira (*Solanum lycocarpum* St.-Hil.) em resposta ao estresse hídrico. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 24, n. 2, p.199-204, 2001.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **Oitavo levantamento da safra de grãos 2011/2012**. Disponível em: http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/12_05_10_08_49_52_boletim_mai_2012.pdf. Acesso em: 10 agos. 2012.

COSTA, R. C. L.; LOBATO, A. K. S.; OLIVEIRA NETO, C. F.; MAIA, P. S. P.; ALVES, G. A. R.; LAUGHIGHOUSE IV, H. D. Biochemical and physiological responses in two *Vigna unguiculata* (L.) Walp. cultivars under water stress. **Agronomy Journal**, Madison, v.7, p.98-101, 2008.

EMBRAPA. **Cultivo de Soja no Cerrado de Roraima – Exigências climáticas**. Embrapa Roraima, 2009. (Sistemas de Produção, 1ª edição).

EMBRAPA. **Tecnologias de Produções de Soja – Região Central do Brasil 2008**. Londrina: Embrapa Soja: Embrapa Cerrados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2008. 208p. (Embrapa Soja, Sistema de Produções, 12).

FAGERIA, N. K.; BALIGAR, V. C.; CLARK, R. B. **Physiology of crop production**. New York: The Haworth Press Inc, 1984. 345p.

FAGERIA, N.K. **Solos tropicais e aspectos fisiológicos das culturas**. Brasília: EMBRAPA-CNPAF, 1989. 425p.

FARIAS, J. R. B.; NEUMAIER, N.; NEPOMUCENO, A. L. Soja. In: MONTEIRO, J. E. B. A. **Agrometeorologia dos Cultivos: O fator meteorológico na produção agrícola**. 1. ed. Brasília: INMET, 2009, p.263-277.

FIETZ, C. R.; RANGEL, M. A. S. Época de semeadura da soja para a região de Dourados - MS, com base na deficiência hídrica e no fotoperíodo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.28, n.4, p.666-672, 2008.

FIGUEIREDO, S. L.; PIVETTA, L. G.; FANO, A.; MACHADO, F. R.; GUIMARÃES, V. F. Comportamento de genótipos de soja submetidos a déficit hídrico intenso em casa de vegetação. **Revista Ceres**, Viçosa, v.58, n.3, p.342-349, 2011.

FIRMANO, R. S.; KUWARA, F. A.; SOUZA, G. M. Relação entre adubação fosfatada e deficiência hídrica em soja. **Ciência Rural**, Santa Maria v.39, n.7, p.1967-1973, 2009.

HIRAKURI, M. H.; LAZZAROTTO, J. J. **Evolução e perspectivas de desempenho econômico associadas com a produção de soja nos contextos mundial e brasileiro**. 3. ed. - versão eletrônica. Londrina: Embrapa SOJA, 2011. (Documentos, Embrapa Soja, n. 319).

HOEKSTRA, F.A.; GOLOVINA, E.A.; BUITINK, J. Mechanism of plant desiccation tolerance. **Trends in Plant Science**, Amsterdam, v. 6, p.431-438, 2001.

HSIAO, T. C. Plant responses to water stress. **Annual Reviews Plant Physiology**, Palo Alto, v.24, p.519-570, 1973.

ISODA, A. Adaptive responses of soybean and cotton to water stress I. Transpiration changes in relation to stomatal area and stomatal conductance. **Plant Production Science**, Tokyo, v.8, p.16-26, 2005.

JAMES, A. T.; LAWN, R. J.; COOPER, M. Genotypic variation for drought stress response traits in soybean. I. Variation in soybean and wild *Glycine* spp. for epidermal conductance, osmotic potential and relative water content. **Australian Journal of Agricultural Research**, Australian, v.59, p.656-669, 2008.

LOBATO, A.K.S.; OLIVEIRA NETO, C.F.; SANTOS FILHO, B.G.; COSTA,R.C.L.; CRUZ,F.J.R.; NEVES, H.K.B.; LOPES, M.J.S. Physiological and biochemical behavior in soybean (*Glycine max* cv. Sambaiba) plants under water deficit. **Australian Journal of Crop Science**, Amsterdam, v.2, n.1, p.25-32, 2008.

NEPOMUCENO, A. L.; NEUMAIER, N.; FARIAS, J. R. B.; OYA, TETSUJI. Tolerância à seca em plantas. **Biociência & Desenvolvimento**, Brasília, n.23, p.1-7, 2001.

OOSTERHUIS, D.; WULLSCHLEGER, S. D. Drought tolerance and osmotic adjustment of various crops in response to water stress. **Arkansas Farm Research**, Arkansas, p.12, 1988.

POLIZEL, A. M. **Avaliações moleculares, morfo-anatômicas e fisiológicas de soja geneticamente modificada com a construção rd29A: AtDREB1A de *Arabidopsis thaliana*, visando tolerância à seca.** 2007. 125p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2007.

RAMOS, M.L.G.; PARSONS, R., SPRENT, J.I. Differences in ureide and amino acid content of water stressed soybean inoculated with *Bradyrhizobium japonicum* and *B. elkanii*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Goiânia, v.40, p.453-458, 2005.

SALINET, L. **Avaliação fisiológica e agrônômica de soja geneticamente modificada para maior tolerância à seca.** 2009. 75f. Dissertação (Mestrado e, Ciências)-Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.

SCOTT, W.O.; ALDRICH, S.R. **Modern soybean production** Champaign-ILL, S. & A Publications, 1970. 192p.

SEDIYAMA, T.; TEIXEIRA, R. de C.; BARROS, H. B. Origem, evolução e importância econômica. In: SEDIYAMA, T. (Ed.). **Tecnologias de produção e usos da soja.** Londrina: Mecenas, 2009.

SEKI, M.; UMEZAWA, T.; URANO, K.; SHINOZAKI, K. Regulatory metabolic networks in drought stress responses. **Current Opinion in Plant Biology**, Washington, v.10, p.296-302, 2007.

SILVA, R. de C. B. da. **Germinação e desenvolvimento inicial de plântulas de melancia submetidas ao aumento do CO², temperatura e salinidade.** 2012. 88p. Dissertação (Mestrado em Horticultura Irrigada)-Universidade do Estado da Bahia, Juazeiro, 2012.

STOLF-MOREIRA, R.; LEMOS, E. G. M.; ABDELNOOR, R. V.; BENEVENTI, ROLLA, A. A. P.; PEREIRA, S. S.; OLIVEIRA, M. C. N.; NEPOMUCENO, A. L.; MARCELINO-GUIMARÃES, F. C. Identification of reference genes for expression analysis by real-time quantitative PCR in drought-stressed soybean. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n.1, p.58-65, 2011.

STOLF-MOREIRA, R.; MEDRI, M. E.; NEUMAIER, N.; LEMOS, N. G.; BROGIN, R. L.; OLIVEIRA, M. C. N.; FARIAS, J. R. B.; ABDELNOOR, R. V.; MARCELINO, F. C.; NEPOMUCENO, A. L. Cloning and quantitative expression analysis of drought-induced genes in soybean. **Genetics and Molecular Research**, Londres, v. 9, p. 858-867, 2010.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia do estresse**. In:_____.Fisiologia vegetal. Trad. SANTARÉM et al. São Paulo: Artmed, p.613-641, 2006.

TAVARES, L. A. F. **Avaliação da produtividade e demanda energética de duas cultivares de soja transgênica e uma não transgênica sob efeito dos preparos de solo**. 2012. 86p. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura)-Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2012.

VIEIRA, F. C. F.; SANTOS JUNIOR, C. D.; NOGUEIRA, A. P. O.; DIAS, A. C. C.; HAMAWAKI, O. T.; BONETTI, A. M. Aspectos fisiológicos e bioquímicos de cultivares de soja submetidos a déficit hídrico induzido por PEG 6000. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v.29, n. 2, p. 543-552, 2013.

YAMAGUCHI-SHINOZAKI, K.; KASUGA, M.; LIU, Q.; NAKASHIMA, K.; SAKUMA, Y.; ABE, H.; SHIWARI, Z. K.; SEKI, M.; SHINOSAKI, K. Biological mechanisms of drought stress response. **Jircas Working Report**, Japan, v.23, p.1-8, 2002.

ZHU, J. K. Plant salt tolerance. **Trends in Plant Science**, Amsterdam, v.6, p.66-71, 2001.