



CLIMA

CLIMA E PRODUTIVIDADE DA SOJA

EFEITOS NAS PRODUTIVIDADES POTENCIAL, ATINGÍVEL E REAL



Paulo C. Sentelhas¹ • Rafael Battisti²

Introdução

A soja (*Glycine max (L) Merril*) é uma das principais culturas do Brasil, sendo plantada em quase todo o território nacional, sob diferentes condições climáticas, desde o Rio Grande do Sul até o Maranhão. Dentre os riscos associados ao cultivo da soja nas diferentes regiões produtoras do Brasil, a ocorrência de déficit hídrico é tida como a principal, levando à variabilidade interanual e regional da produtividade.

O manejo da cultura em função das condições climáticas é uma das principais estratégias para se minimizar os riscos associados ao déficit hídrico e se alcançar produtividades elevadas. Nesse contexto, estudos agrometeorológicos são de extrema importância, pois auxiliam na definição dos locais

e das épocas preferenciais de semeadura (zoneamento agrícola de risco climático), assim como na identificação da tolerância dos diferentes genótipos ao déficit hídrico.

Assim, analisando-se o complexo produtivo da soja, todo o sucesso deste está diretamente relacionado às condições climáticas ocorridas durante o ciclo de desenvolvimento da cultura. Por isso, torna-se importante o entendimento das relações da oleaginosa com o ambiente, especialmente o clima e sua variabilidade interanual e regional, de modo que ações estratégicas (planejamento) e táticas (tomadas de decisão) possam ser adotadas de modo a se minimizar os riscos climáticos para essa cultura.

¹ Professor Associado 3 – Área de Agrometeorologia, Departamento de Engenharia de Biosistemas – ESALQ/USP. Avenida Pádua Dias, 11, Bairro São Dimas, Piracicaba (SP). E-mail: pcsentelesalq@usp.br

² Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Sistemas Agrícolas – ESALQ/USP. Avenida Pádua Dias, 11, Bairro São Dimas, Piracicaba (SP). E-mail: r.battisti@hotmail.com

Clima e produtividade da soja

Nas condições climáticas brasileiras, as variáveis climáticas que mais influenciam a produtividade da cultura da soja são o fotoperíodo, a temperatura do ar e a chuva. O fotoperíodo e a temperatura do ar, por condicionarem a duração do ciclo e, assim, definirem os melhores genótipos a serem empregados nas diferentes regiões do país; a temperatura, por afetar o metabolismo das plantas; e a chuva, por condicionar a ocorrência de déficits hídricos em diferentes fases do ciclo, fatores esses que acabam afetando a produtividade da cultura da soja em diferentes níveis.

Radiação solar

Entre os fatores que regulam a produtividade da soja, a radiação solar é uma das mais importantes, já que é a principal fonte de energia para o meio terrestre, a qual está diretamente relacionada com a latitude local e a época do ano. Pereira *et al.* (2002) comentam que, além de fonte de energia para o processo de fotossíntese, a radiação solar fornece sinais ambientais para processos fisiológicos da soja, determinantes em características morfológicas e fenotípicas (estatura da planta, indução ao florescimento e ontogenia), além de afetar a transpiração das plantas.

No contexto do uso da radiação solar na fotossíntese (eficiência do uso da radiação), é importante salientar que as plantas apresentam diferentes mecanismos para armazenar a energia solar, convertendo-a em ATP, que será utilizada posteriormente para formação de açúcares e cadeias de carbono. Esses mecanismos são denominados, nas principais culturas agrícolas, de C3 e C4, sendo que as plantas C4 são mais eficientes no uso da radiação solar do que as plantas C3. A soja, planta C3, apresenta uma menor eficiência no uso da radiação solar devido ao fato de a enzima responsável pela carboxilação apresentar atividade carboxilase e oxigenase. A oxigenase é responsável pela diminuição da eficiência fotossintética, devido ao processo de fotorrespiração, o qual ocorre de forma insignificante em plantas C4, como, por exemplo, no milho (TAIZ e ZAIGER, 2004).

Casaroli *et al.* (2007) comentam que a eficiência do uso da radiação pela soja aumenta gradativamente com o aumento das folhas até as fases R1 e

R2, chegando a cerca de 1,2 g de matéria seca por MJ de radiação fotossinteticamente ativa interceptada pelo dossel, e quando a temperatura do ar é extrema pode haver perdas no processo de eficiência do uso da radiação solar, reduzindo a assimilação de CO₂. Nas fases R1 e R2, a área foliar chega próximo ao máximo e inicia-se o processo de auto-sombreamento das folhas inferiores, o que pode ser benéfico ou maléfico, dependendo da intensidade do sombreamento. Quando o sombreamento ocorre em toda a planta pela ação de fatores externos, como pelo crescimento de plantas daninhas, tem-se redução no número de folhas e legumes, menor acúmulo de fitomassa seca, maior estatura das plantas pelo aumento dos entrenós e retardamento da maturação fisiológica (MELGES *et al.*, 1989).

Por outro lado, quando há aumento da radiação solar em níveis máximos para a cultura da soja, Casaroli *et al.* (2007) comentam que uma das alternativas da planta para evitar danos é realizar a inclinação da folha, diminuindo, assim, a interceptação de radiação, efeito que é de maior intensidade quando a alta irradiância solar coincide com condições de baixa disponibilidade hídrica.

A expressão da eficiência ótima no uso da radiação solar pela cultura da soja depende de cada cultivar, assim como do seu manejo, ou seja, da definição da população de plantas, do espaçamento entre linhas, da arquitetura do dossel e da competição com plantas daninhas, principalmente de metabolismo C4, que apresentam maior eficiência no uso da radiação quando comparada à da soja.

Fotoperíodo

A soja cultivada no Brasil é uma planta de característica herbácea, que tem seu crescimento e seu desenvolvimento influenciados pelas condições climáticas locais e pelo tipo de cultivar utilizada. Para o crescimento, Farias *et al.* (2009) descrevem o efeito do clima na estatura das plantas, que afeta diretamente a produtividade, a colheita mecanizada e a ocorrência de acamamento, enquanto para o desenvolvimento da cultura da soja, especialmente para o início da floração, é importante se destacar o efeito do fotoperíodo, ou seja, a influência da duração do dia no florescimento, uma vez que a soja é sensível a isto e só floresce quando o fotoperíodo fica abaixo do valor crítico.

O ciclo das cultivares de soja é determinado pelo fotoperíodo, incluindo a temperatura do ar como fator moderador, em que cada cultivar apresenta um fotoperíodo crítico para a ocorrência do florescimento, sendo que quando o fotoperíodo está acima do crítico o florescimento não ocorre. O fotoperíodo crítico para a maioria das cultivares brasileiras está entre 13 e 14 horas; ou seja, a planta floresce quando a duração do dia é menor que estes va-

lores. O estímulo ao fotoperíodo é iniciado a partir da emissão da segunda folha verdadeira, e a partir deste ponto ocorrem estímulos que induzem à diferenciação dos meristemas vegetativos em reprodutivos, sendo que a velocidade deste processo é função do grau de sensibilidade termo-fotoperiódica do cultivar (RODRIGUES *et al.*, 2001).

Fietz e Rangel (2008) avaliaram o efeito do fotoperíodo para a cultura da soja em diferentes épocas de semeadura em Dourados (MS). Esses autores verificaram que quando a semeadura é realizada em outubro o florescimento ainda ocorre em ascensão de fotoperíodo, ou seja, antes do solstício de verão, já que o desenvolvimento vegetativo ocorre com fotoperíodo inferior ao crítico, estimado em 13 horas, o que resulta em menor crescimento vegetativo. Para a semeadura de novembro, o desenvolvimento vegetativo ocorre em condições de fotoperíodo superior ao crítico, possibilitando, assim, o máximo crescimento da cultura, com o aumento do período entre a emergência e o início de floração em comparação à semeadura de outubro. Câmara *et al.* (1997) verificaram, em casa de vegetação,

que quando o fotoperíodo é superior ao considerado crítico para a cultivar a mesma apresenta maior altura devido à maior duração do subperíodo entre a emergência e o início da floração, tendo, consequentemente, maior acúmulo de fotoassimilados e maiores chances de se alcançar maiores produtividades.

Ao se considerar o efeito do fotoperíodo, descrito anteriormente, no desenvolvimento da soja, seria impossível cultivá-la em condições de baixas latitudes, com produtividades satisfatórias, devido ao baixo crescimento no período vegetativo, mas não é o que ocorre atualmente no Brasil, que recebeu o título de país que tropicalizou a soja (FARIAS *et al.*, 2009). Melhoristas utilizaram alelos da linhagem PI240664, das Filipinas, para introduzir período juvenil longo em cultivares de soja no Brasil, possibilitando a expansão do cultivo para a região norte (DESTRO *et al.*, 2001). Esses autores descrevem que entre a emergência e o início do florescimento há três fases. Primeiro, a pré-indução, em que a planta não é afetada pelo fotoperíodo (insensível), denominado de período juvenil.

A segunda fase é a de indução, em que a planta é sensível ao fotoperíodo e a taxa de desenvolvimento é influenciada pelo fotoperíodo. Na terceira fase, de pós-indução, a planta é novamente insensível ao fotoperíodo.

A teoria para o período juvenil longo é de que o alelo introduzido nas cultivares reduza a atividade fotorreceptora ou produza um inibidor que atrasa a quantidade de fotorreceptores, aumentando o tempo para o início da floração. Mas ainda há dúvidas se realmente há a existência do período de pré-indução ou se simplesmente a taxa de desenvolvimento do cultivar é que passa a ser menor, fazendo com que haja a necessidade de um período fototérmico maior para induzir a floração (DESTRO *et al.*, 2001; FARIAS *et al.*, 2007).

Ao contrário do que ocorre na região centro-norte do Brasil, na região sul as cultivares podem apresentar maior sensibilidade ao fotoperíodo, já que nos locais de maior latitude os dias têm um maior fotoperíodo, atendendo às exigências da cultura quanto ao nível de fotoperíodo crítico para a indução da floração (HAMAWAKI *et al.*, 2007).



Temperatura

A temperatura do ar, além de fator moderador na duração do ciclo, afeta também o crescimento das plantas de soja, apresentando algumas restrições em fases específicas do desenvolvimento. Farias *et al.* (2009) destacam que para a semeadura a temperatura do solo não deve ser inferior a 20°C, pois compromete a germinação e a emergência das plântulas. Neumaier *et al.* (2000) destacam que, se a temperatura do solo estiver muito elevada (> 55°C), plantas em fase cotiledonar podem sofrer desestruturação das membranas celulares e desidratação, resultando em tombamento. Este dano foi observado em vários estados do Brasil (MT, GO, MS, SP, PR, SC, RS), problema que é amenizado com plantio direto, uma vez que a adição de palhada sobre o solo tem efeito de isolante térmico, reduzindo os valores extremos de temperatura do solo.

Outra condição limitante para a cultura da soja é de que regiões com temperatura do ar menor do que 10°C ou maior do que 40°C são impróprias ao cultivo, pois sob baixa temperatura do ar o crescimento vegetativo é restringido, e sob alta temperatura do ar ocorrem danos à floração, reduzindo a capacidade de retenção de legumes. O baixo desenvolvimento e crescimento da cultura à temperatura do ar menor que 10°C está associada à temperatura basal da cultura, que se encontra entre 13°C (FARIAS *et al.*, 2009) e 14°C (CAMARGO *et al.*, 1987), havendo a necessidade de que a temperatura do ar esteja acima da temperatura basal para que a floração seja induzida.

A condição ótima de temperatura para crescimento e desenvolvimento da soja encontra-se entre 20°C e 30°C (FARIAS *et al.*, 2009). A faixa ideal de temperatura do ar para a cultura da soja está associada ao máximo acúmulo de CO₂, obtida pela relação entre a fotossíntese bruta realizada pela planta e a taxa de manutenção respiratória, função da temperatura do ar. Esse balanço resulta na fotossíntese líquida, a qual efetivamente afeta o crescimento das plantas (PEREIRA *et al.*, 2002).

Em campos de produção de sementes, é importante que se tenha cuidados quanto à temperatura

do ar para obter máxima qualidade fisiológica e sanitária das sementes. Segundo França Neto *et al.* (2007), deve-se optar por locais e datas de semeadura que não coincidam com elevadas temperaturas e umidade do ar, principalmente durante a maturação, pois tais condições reduzem a qualidade fisiológica das sementes, devido à maior taxa respiratória do grão.

Como mencionado anteriormente, a temperatura do ar também tem efeito sob a duração do ciclo da cultura da soja, principalmente em cultivares menos sensíveis ao fotoperíodo, adaptadas às baixas latitudes. Elevadas temperaturas induzem as plantas a uma diminuição do período entre a emergência e o início da floração, o que pode acarretar em redução da estatura da planta, efeito mais pronunciado quando as maiores temperaturas ocorrem sob condição de déficit hídrico e insuficiência fotoperiódica durante a fase de crescimento, resultando em diferentes ciclos para uma mesma época de semeadura (FARIAS *et al.*, 2009).

Rodrigues *et al.* (2001) afirmam que o estudo do tempo para o início da floração da soja, sob diferentes condições de fotoperíodo e temperatura do ar, são de suma importância para o manejo da cultura. Atualmente, vem sendo adotada a classificação da duração total do ciclo das cultivares de soja no Brasil em função do grupo de maturação. Esta classificação é utilizada nos Estados Unidos e engloba a interação dos fatores fotoperíodo, temperatura do ar e a adaptação da cultivar ao local de cultivo (ALLIPRANDINI *et al.*, 2009). As cultivares são divididas em 13 grupos, iniciando com o grupo “0”, tido como o mais precoce, e englobando cultivares adaptadas às condições de dias longos, comuns nas áreas de cultivo do sul do Canadá e do norte dos Estados Unidos. O grupo “10” inclui cultivares tardias adaptadas a dias curtos e utilizadas em regiões de cultivo tropicais, como o norte do Brasil, próximo à linha do Equador. Como pode ser observado na **Figura 1**, nas regiões produtoras de soja do Brasil são utilizadas cultivares que variam dos grupos de maturação “5” a “9”.

Grupo Maturação

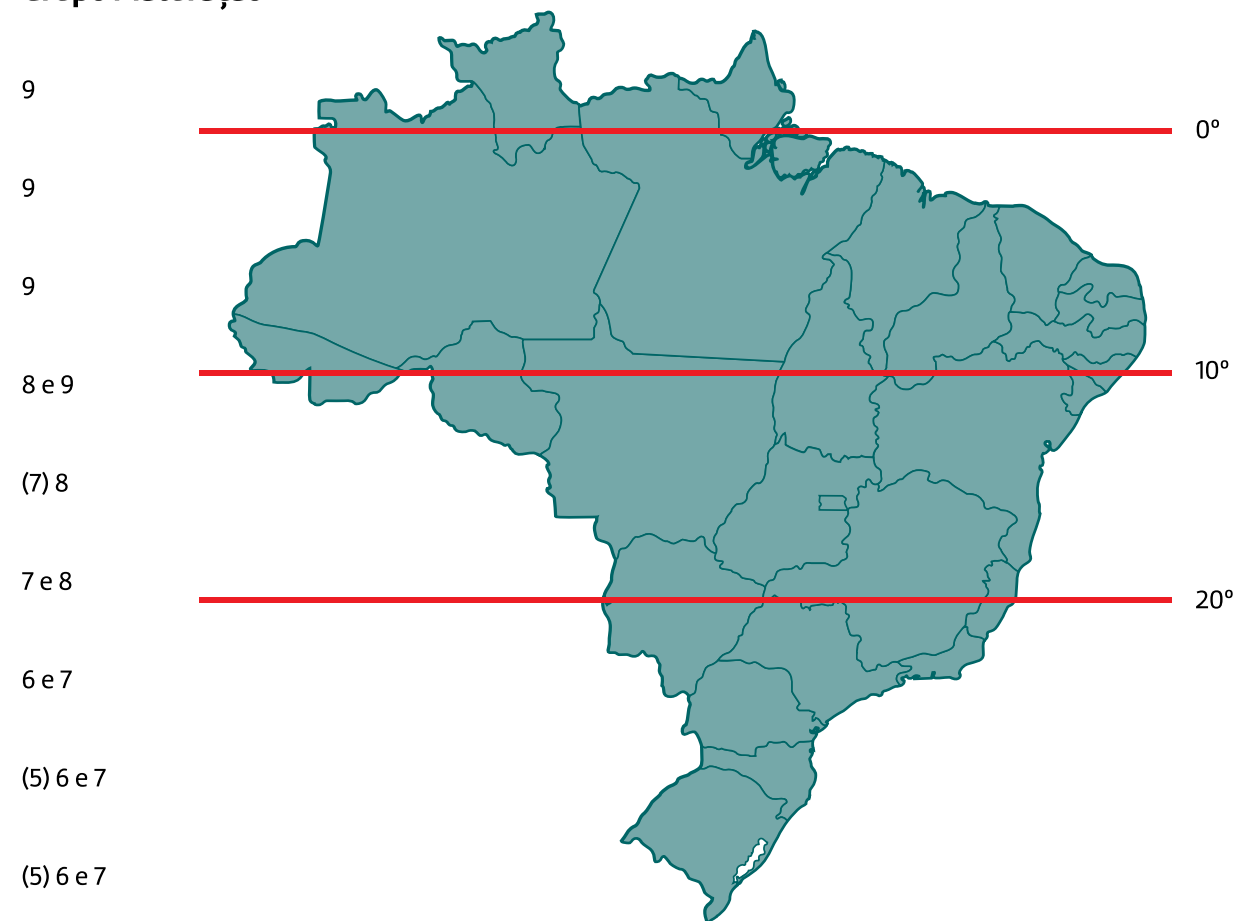


FIGURA 1: Grupos de maturação das cultivares de soja utilizadas no Brasil, em função da latitude da região de cultivo. Adaptado de EMBRAPA (2011).

A vantagem do uso dos grupos de maturação da soja é a relativização da duração do ciclo. Como exemplo, uma cultivar 7 apresenta um ciclo maior que uma cultivar 6.5 em um mesmo local de cultivo, sendo atribuído para cada décimo de diferença entre grupos cerca de 1,5 a 2 dias de diferença na duração total do ciclo, o que para o referido exemplo resultaria em uma diferença de 7 a 10 dias a mais no ciclo total da cultivar do grupo 7. Com base na região de cultivo e nos grupos de maturação utilizados no Brasil, Kaster e Farias (2011) apresentaram a dura-

ção total do ciclo em dias, como mostra a **Tabela 1**. Observa-se que uma cultivar classificada como do grupo de maturação 7.5 apresenta um ciclo maior que 146 dias na região sul, enquanto que este mesmo grupo apresenta duração total de ciclo de 120 dias quando cultivada no sudeste. Desta forma, a classificação das cultivares em função do grupo de maturação auxilia no planejamento do cultivo no que diz respeito à escolha da cultivar mais adaptada à região em função da duração de seu ciclo e à alocação de cultivares para o escalonamento de plantio.

TABELA 1: Duração total do ciclo, em dias, em função do grupo de maturação e da macrorregião de cultivo da soja, associada aos grupos de ciclo utilizados no zoneamento agrícola. Adaptado de Kaster e Farias (2011).

Macrorregião	Ciclo Curto		Ciclo Médio		Ciclo Longo	
	GMR ¹	NDM ²	GMR ¹	NDM ²	GMR ¹	NDM ²
Sul	≤6.3	≤130	6.4 a 7.4	131 a 145	≥7.5	≥146
Centro-Sul	≤6.7	≤125	6.8 a 7.6	126 a 135	≥7.7	≥136
Sudeste	≤7.5	≤120	7.6 a 8.2	121 a 130	≥8.3	≥131
Centro-Oeste	≤7.8	≤115	7.9 a 8.5	116 a 125	≥8.6	≥126
Norte/Nordeste	≤8.6	≤112	8.7 a 9.3	113 a 125	≥9.4	≥126

¹ Grupo de Maturação Relativa (Proposta por ALLIPRANDINI *et al.*, 2009); ² Número de dias para a maturação.

Além da duração total do ciclo da cultura, outro fator importante quando se pretende avaliar os efeitos do clima na produtividade da soja é conhecer a duração das diferentes fases de desenvolvimento. Isso se torna fundamental para estudar a relação entre as condições meteorológicas e as respostas fisiológicas da cultura, pois, dependendo da fase de desenvolvimento, as condições climáticas podem afetar a cultura e a produtividade de forma diferenciada. Para se avaliar as fases de desenvolvimento da cultura da soja, Fehr e Caviness (1977) propuseram uma escala, a qual é utilizada atualmente em todo o mundo, com ajustes de maior detalhamento na fase R5 propostos por Ritchie *et al.* (1997). As fases fenológicas dividem-se em dois períodos: o primeiro é o vegetativo,

compreendendo desde a semeadura até o início da floração, a partir do qual se inicia o período reprodutivo da cultura. Dentro destes períodos existem subdivisões, as quais são denominadas de fases ou subperíodos de desenvolvimento, que são afetadas de maneira diferente pelas condições climáticas ocorridas no período (**Tabela 2**).

Um exemplo da importância da fase fenológica e sua resposta ao déficit hídrico é apresentado por Dogan *et al.* (2007). Eles verificaram que quando a restrição hídrica ocorre no início da formação do legume (R3), no início do enchimento de grãos (R5) e na fase de grãos cheios (R6) as perdas de produtividade são maiores do que quando a mesma intensidade de déficit hídrico ocorre nas demais fases reprodutivas da soja ou durante o período vegetativo.

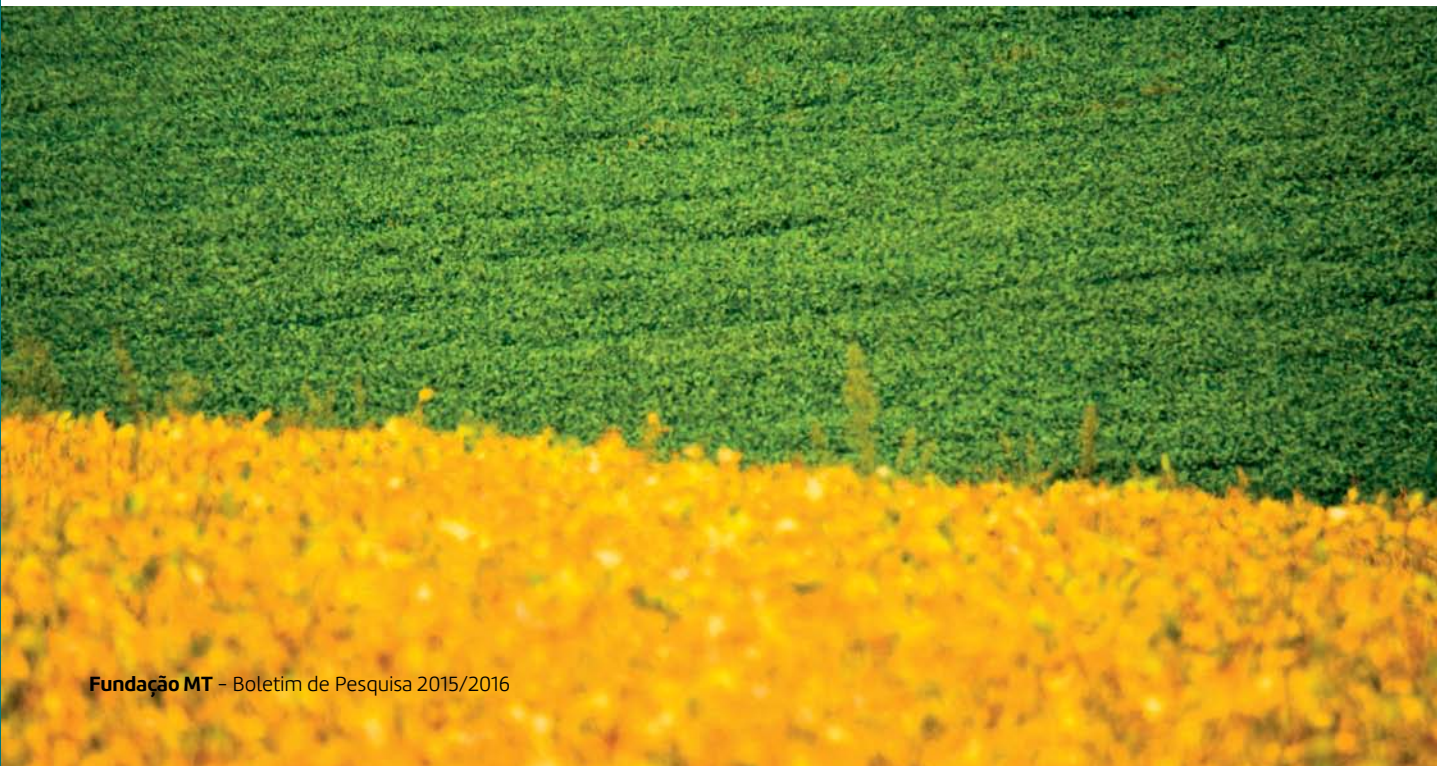


TABELA 2: Fases de desenvolvimento da soja proposta por Fehr e Caviness (1977), com detalhamento proposto por Ritchie *et al.* (1997) descrito em Farias *et al.* (2009) e suas respectivas características relacionadas à produtividade para cada fase.

Período	Fase	¹ Descrição; ² Característica relacionada à produtividade
Vegetativo	VE	Cotilédones acima da superfície do solo.
	VC	Cotilédones completamente abertos. A perda precoce dos dois cotilédones pode resultar em perdas de até 9% na produtividade final de grãos.
	V1	Folhas unifolioladas completamente desenvolvidas. A fotossíntese das folhas e a absorção de água e nutrientes pelas raízes já são capazes de sustentá-la.
	V2	Primeira folha trifoliolada completamente aberta. Início da fixação biológica de nitrogênio e intenso crescimento radicular lateral até a fase V5.
	V3	Segunda folha trifoliolada completamente aberta.
	Vn	Ante-enésima folha trifoliolada completamente aberta.
Reprodutivo	R1	Início do florescimento: Uma flor aberta em qualquer nó do caule. Elevada taxa de crescimento vertical das raízes até a fase R5.
	R2	Florescimento pleno: Uma flor aberta em um dos dois últimos nós do caule, com folha completamente desenvolvida. Máximo acúmulo de nutrientes nos órgãos vegetativos e com início do acúmulo nos órgãos reprodutivos, associado com o aumento da taxa de fixação biológica de nitrogênio.
	R3	Início da formação do legume: Legume com 5 mm de comprimento em um dos quatro últimos nós do caule, com folha completamente desenvolvida. Crucial no estabelecimento do número de legumes por plantas (principal componente da produtividade).
	R4	Legume completamente desenvolvido: Legume com 2 cm de comprimento em um dos quatro últimos nós do caule, com folha completamente desenvolvida. Intenso crescimento dos legumes e início do desenvolvimento dos grãos.
	R5	Início do enchimento dos grãos: Grãos com 3 mm de comprimento no legume em um dos quatro últimos nós do caule, com folha completamente desenvolvida. Intenso crescimento de grãos, com redistribuição de nutrientes e matéria seca. Quando sob déficit hídrico, ocorre redução drástica de produtividade.
	R5 1 ³	Grãos perceptíveis ao tato a 10% da granação.
	R5 2 ³	Granação de 11% a 25%.
	R5 3 ³	Granação de 26% a 50%.
	R5 4 ³	Granação de 51% a 75%.
	R5 5 ³	Granação de 76% a 100%.
	R6	Grãos cheios: Legume contendo grãos verdes, preenchendo a cavidade do legume de um dos últimos nós do caule, com folha completamente desenvolvida. Legume com máximo peso total e máximo acúmulo de nutrientes em toda a planta.
	R7	Início da maturação: Um legume normal no caule com coloração madura. Grãos prontos como semente e com 60% de umidade, sendo que o ataque de percevejos e o excesso hídrico afetam a produtividade.
R8	Maturação plena: 95% das vagens com coloração madura. Necessário haver redução de umidade do grão para a realização da colheita.	

Fonte: ¹ Farias *et al.* (2009); ² Neumaier *et al.* (2000); ³ Adaptação de Ritchie *et al.* (1997)

Déficit hídrico

Dentre as condições climáticas que afetam significativamente a produtividade da cultura da soja, destaca-se no Brasil a ocorrência de déficit hídrico como uma das principais causas, a qual varia com as épocas de semeadura e com a localização geográfica. Neste contexto, é importante definir déficit hídrico, o qual é a limitação da evapotranspiração da cultura em função da redução da disponibilidade de água no solo. Esta limitação ocorre em razão

de a extração de água do solo pelas raízes não ser linear e sim exponencial negativa. Ou seja, começa a aumentar a resistência com que a água é retida nos poros do solo com a redução do conteúdo de água no solo, levando, conseqüentemente, à redução da extração de água, causando fechamento estomático e redução da taxa fotossintética, acarretando em redução de produtividade (PEREIRA *et al.*, 2002).



No sistema de sequeiro, a ocorrência de déficit hídrico é mais uma regra do que uma exceção. Por isso, estratégias de manejo que visem diminuir os riscos climáticos são fundamentais para manter a produtividade em níveis satisfatórios (NOGUEIRA e NAGAI, 1988). Para a região de Dourados (MS), Fietz e Urchei (2002) avaliaram a deficiência hídrica para a cultura da soja, com base em uma série climática de 20 anos, em que as semeaduras da soja foram realizadas entre novembro e dezembro. Verificaram que em todas as safras e fases de desenvolvimento da soja ocorreu deficiência hídrica para este local de cultivo.

Melo *et al.* (2004) verificaram que a disponibilidade hídrica é o principal fator limitante para a obtenção de altas produtividades para a cultura da soja no Rio Grande do Sul, um dos principais estados produtores de soja no Brasil. Estima-se que 93% das perdas na safra de soja nesse Estado ocorram em razão do déficit hídrico (BERLA-

TO e FONTANA, 2003), pois esta região está sob a influência do fenômeno *El Niño* Oscilação Sul (ENOS), que altera os padrões de precipitação na maioria dos anos, fazendo com que a produtividade da soja apresente alta variabilidade interanual (BERLATO *et al.*, 2005).

A **Figura 2** apresenta a produtividade da soja nos estados do Maranhão, do Mato Grosso e do Rio Grande do Sul para as safras de 1990/91 a 2014/15 (previsão). Esses resultados evidenciam a maior variabilidade da produtividade da soja no Rio Grande do Sul, assim como mencionado por Melo *et al.* (2004) e Berlato *et al.* (2005). Nos estados do Maranhão e do Mato Grosso a variabilidade interanual é menor, porém há maior produtividade da soja no Mato Grosso em decorrência de melhores condições de solo e clima para o cultivo. Independentemente da magnitude da variabilidade, no entanto, observa-se que esta ocorre em todos os estados avaliados.

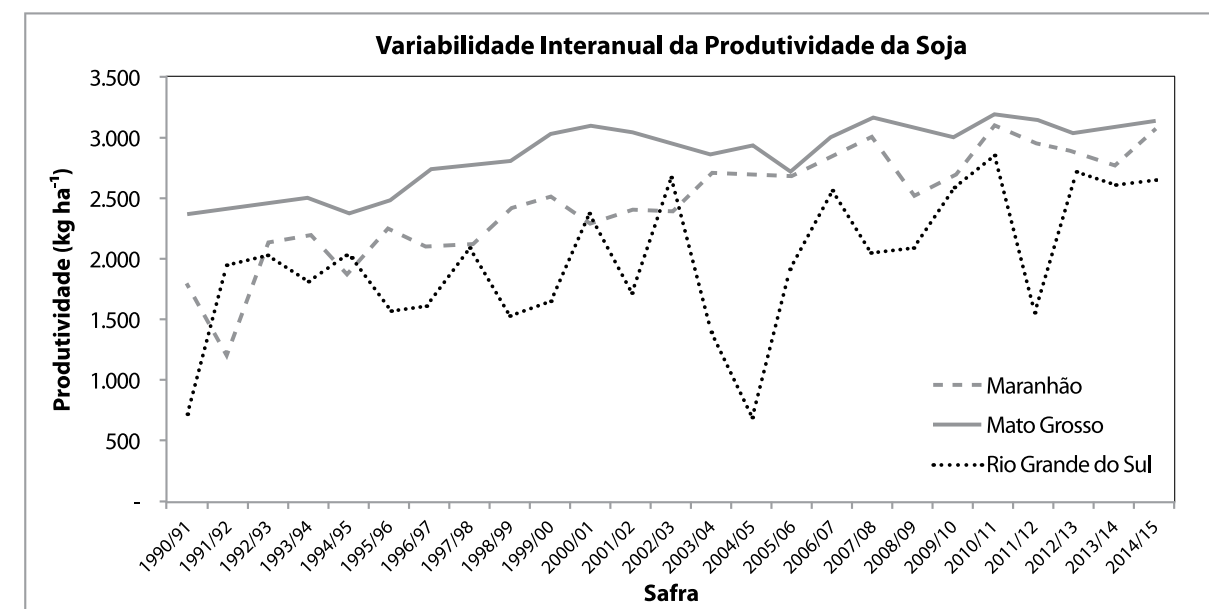


FIGURA 2: Variabilidade interanual da produtividade da soja nos estados do Maranhão, do Mato Grosso e do Rio Grande do Sul. Fonte dos dados: Conab (2015).

Ainda com relação ao efeito da ocorrência de deficiência hídrica na cultura da soja, Nogueira e Nagai (1988) verificaram que em qualquer fase de desenvolvimento da cultura a ocorrência de déficit hídrico resulta em perda de produtividade, decorrente do menor crescimento, da redução da taxa

fotossintética e, assim, da redução no número de legumes por planta e no número e no peso de grãos. A **Figura 3** ilustra, por meio do uso de modelos de simulação, o efeito do déficit hídrico acumulado ao longo do ciclo na produtividade da soja para a região de Rondonópolis (MT).

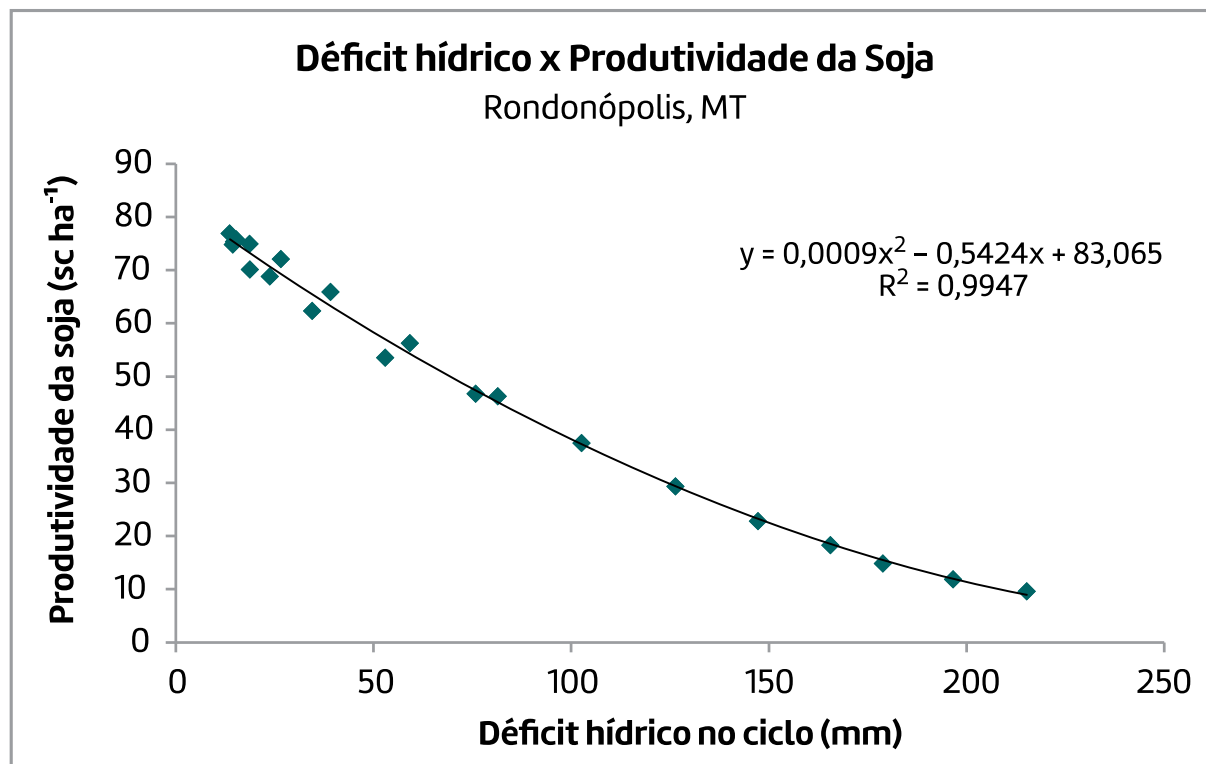


FIGURA 3: Relação entre o déficit hídrico ao longo do ciclo da cultura da soja e a produtividade em sacas por hectare.

Neumaier *et al.* (2000) destacam que a cultura da soja pode apresentar efeito compensatório quando há redução no número de legumes por planta, função do potencial genético da cultivar e de condições climáticas favoráveis nas fases posteriores à ocorrência do déficit hídrico. Quanto à disponibilidade hídrica para a soja, as fases mais críticas são entre a germinação e a emergência e entre a floração e o final do enchimento de grãos (CUNHA *et al.*, 2001). Para a emergência, o conteúdo de água no solo deve estar entre 50% e 85% da capacidade de campo do solo (FARIAS *et al.*, 2007). Esses autores comentam ainda que a água tem papel fundamental no desenvolvimento e no crescimento da planta, pois atua em todos os processos fisiológicos e bioquímicos. A partir da sua restrição, há diminuição da taxa de trocas gasosas com o meio, acarretando em menor acúmulo de CO₂, além de que a realocação de nutrientes na planta fica afetada.

A realocação de reservas na planta tem papel fundamental para a obtenção de altas produtividades. Assim, quando há a ocorrência de déficit hídrico na fase de enchimento de grãos na cultura

da soja, há redução da produtividade. Isso ocorre pois metade dos nutrientes que serão deslocados para o grão vêm do solo e da fixação do nitrogênio da atmosfera, que ocorre durante esta fase de desenvolvimento (NEUMAIER *et al.*, 2000). Com a ocorrência de restrição hídrica, há menor absorção de água do solo e de nutrientes, além de ficar comprometida a fixação biológica do nitrogênio.

Nas fases da floração ao enchimento dos grãos, outro aspecto que torna o déficit hídrico um fator crítico é o aumento da demanda evapotranspirativa da cultura, associada ao maior índice de área foliar, ou seja, maior superfície de troca gasosa com a atmosfera. Isso faz com que a planta possua uma maior necessidade de água para manter-se em plena atividade. Berlatto *et al.* (1986) propuseram um coeficiente de cultura (kc) para a soja de 1,5 nas fases de R1 a R6, enquanto que Martorano (2007) obteve valores máximos próximos a 1,15. Com essa informação, é possível verificar que a evapotranspiração da cultura (ETc) será de 15% a 50% maior do que a evapotranspiração de referência (ETo).

Visando aumentar a disponibilidade de água para as plantas e diminuir o déficit hídrico e os estresses térmicos, estratégias que aumentem o volume e a profundidade do sistema radicular são fundamentais, pois auxiliam a diminuir as perdas produtivas na ocorrência de veranicos. Queiroz-Voltan *et al.* (2000) destacam que o aprofundamento das raízes da soja é de extrema importância para as condições de cultivo em sequeiro.

Dentre as estratégias para tal pode-se citar a descompactação do solo, o manejo para redução das populações de nematoides e a atenuação de seu efeito, e, em menor escala, o recente uso de estimulantes aplicados via tratamento de sementes, apesar de este ainda não ter sua eficácia su-

ficientemente comprovada. Segundo Farias *et al.* (2009), o maior volume do sistema radicular para cultivares brasileiras de soja se concentra até os 50 cm de profundidade, enquanto que Mayaki *et al.* (1976) verificaram em um solo profundo sem restrição de crescimento e sem irrigação que 70% do volume das raízes da cultura da soja encontra-se entre 0 e 30 cm de profundidade.

Com as informações apresentadas, fica evidente que a disponibilidade hídrica para a cultura da soja deve ocorrer de forma quantitativa, representada pelo volume total, bem como qualitativamente, representada pela distribuição durante o ciclo da cultura, suficiente para atender à demanda atmosférica e resultar em bons níveis de produtividade.



Excesso hídrico

Apesar de a deficiência hídrica ser uma das principais causas para a redução da produtividade da cultura da soja em praticamente todas as regiões produtoras do Brasil, muitas vezes os problemas de perdas da cultura da soja podem estar associados ao excesso hídrico (Farias *et al.*, 2007). Este se caracteriza por chuvas abundantes, muito superiores à demanda hídrica da cultura, e contínuas, que causam: redução da radiação solar incidente na cultura, reduzindo as taxas de fotossíntese e o crescimento das plantas; encharcamento do solo, afetando a atividade metabólica das raízes, provocando a lixiviação de nutrientes e dificultando o manejo na área; umedecimento excessivo do dossel, favorecendo a

ocorrência de pragas e doenças fúngicas; redução da qualidade dos grãos, que, muitas vezes, brotam na vagem, além de afetar as características produtivas da cultura, dependendo da fase fenológica em que ocorrem (SCHOFFEL *et al.*, 2001).

Uma das possíveis formas de se evitar tais problemas é por meio da adoção das épocas de semeadura recomendadas pelo zoneamento de risco climático, que também levam em consideração a questão do excesso hídrico na colheita. No entanto, isso não livra a cultura de enfrentar tais problemas, especialmente no estado do Mato Grosso, onde, na grande maioria dos anos, há também problemas de excesso hídrico nas lavouras da soja.



Produtividade da soja e seus fatores determinantes, limitantes e redutores

TIPOS DE PRODUTIVIDADE E SEUS FATORES CONDICIONADORES

A relação entre os diferentes níveis de produtividade de uma cultura agrícola define o que denominamos de quebra de produtividade (conhecida em inglês como *Yield Gap*), assim como os fatores que a condicionam. Diferentes autores consideram diferentes tipos e níveis de produtividade. Lobell *et al.* (2009) definiu produtividade potencial como a máxima produtividade a ser obtida em um local, seguida por outros tipos de produtividade, como produtividade experimental, para aquelas obtidas em condições de experimentos de campo; produtividade máxima do produtor e produtividade média do produtor.

Bahtia (2008) e Battisti *et al.* (2012) classificaram as produtividades em potencial, atingível e real, assim como também é usado por Van Ittersum *et al.* (2013), que chamaram a produtividade atingível de explorável, mostrando que a diferença entre essa e a real é o máximo que os produtores poderão ganhar, em condições de sequeiro, por meio de melhores práticas de manejo. Abordagem similar foi dada por Hall *et al.* (2013), que avaliaram as quebras de produtividade por meio da comparação entre produtividade potencial, produtividade experimental e pro-

ductividade comercial, reportadas por levantamentos feitos em nível nacional.

De acordo com os trabalhos citados acima, pode-se concluir que as produtividades podem ser divididas em diferentes níveis, dependendo dos fatores que as controlam, sendo eles de ordem genética (genótipo empregado), climática e de manejo da cultura. Assim, a **Figura 4** ilustra os diferentes tipos de produtividade de uma cultura hipotética. A produtividade mais alta é a potencial, a qual pode ser considerada como uma produtividade teórica, já que ela é difícil de ser obtida no campo. A produtividade potencial (PP) varia constantemente, não só pela variação das condições climáticas que a influenciam mas também pela evolução genética das cultivares empregadas pelos produtores. A PP é aquela obtida sem nenhum tipo de limitação/redução de ordem hídrica, nutricional ou fitossanitária, sendo condicionada apenas pela interação do genótipo e de sua população com as condições ambientais, como radiação solar, temperatura e fotoperíodo (Van Ittersum e Rabbinge, 1997). A PP pode ser determinada de diferentes formas, desde experi-

mentos de campo até modelos de simulação – contanto que não haja restrição hídrica e que o manejo da cultura seja ótimo, de modo a não subestimar a PP (Lobell *et al.* 2009; Van Ittersum *et al.* 2013; Hoang 2013). A Figura 4, adaptada de Sentelhas *et al.* (2015), ilustra tal condição.

Em seguida, o próximo nível de produtividade, de menor magnitude, é aquele obtido por culturas irrigadas, em que o déficit hídrico é reduzido ao longo do ciclo. Neste caso, a produtividade é denominada de produtividade irrigada (PI), e seu nível dependerá do manejo de irrigação empregado, podendo ser um manejo ótimo (PIo) ou médio (PIm). Além da água, essas produtividades também consideram os fatores relativos ao manejo agrícola da cultura. Assim, as diferenças entre PIo e PIm são causadas pelo manejo agrícola e da água (Figura 4), o que irá depender do nível tecnológico empregado na produção.

O próximo nível de produtividade apresentado na Figura 4 é a produtividade atingível (PA), a qual sofre os efeitos dos fatores determinantes que condicionam PP e dos fatores limitantes relacionados à disponibilidade de água no solo. A PA reflete a penalização da PP pelo déficit hídrico e, conseqüentemente, pelo déficit nutricional que este causa, já que a absorção de água pelas raízes é o veículo para que as

plantas absorvam os nutrientes disponíveis no solo. Assim, pode-se considerar que a PA sofre influência da chuva, do tipo de solo e de sua capacidade de água disponível, da evapotranspiração, da declividade do solo e da sensibilidade do genótipo ao déficit hídrico (Gilbert *et al.* 2011; Battisti, 2013). A PA, assim como a PP, é um valor teórico que representa a máxima produtividade a ser atingida por uma cultura de sequeiro sob condições ótimas de manejo agrícola (Lobell *et al.* 2009; Van Ittersum *et al.*, 2013).

Finalmente, tem-se a produtividade real de sequeiro (PR) a qual sofre a influência dos fatores determinantes (genótipo x população x ambiente), limitantes (déficit hídrico e nutricional) e redutores (pragas, doenças, plantas daninhas e outras condições de manejo) (Figura 4). Neste caso, o nível tecnológico do produtor volta a ser decisivo na definição do nível de produtividade a ser obtido. Para os produtores que detêm melhores níveis tecnológicos, a PR é denominada de produtividade real ótima (Pro), enquanto para os produtores que adotam nível tecnológico médio, a produtividade real média (PRm) será obtida.

Com base no exposto, a produtividade agrícola a ser obtida no campo dependerá da interação dos fatores determinantes, limitantes e redutores, os quais podem ser claramente observados na Figura 4.

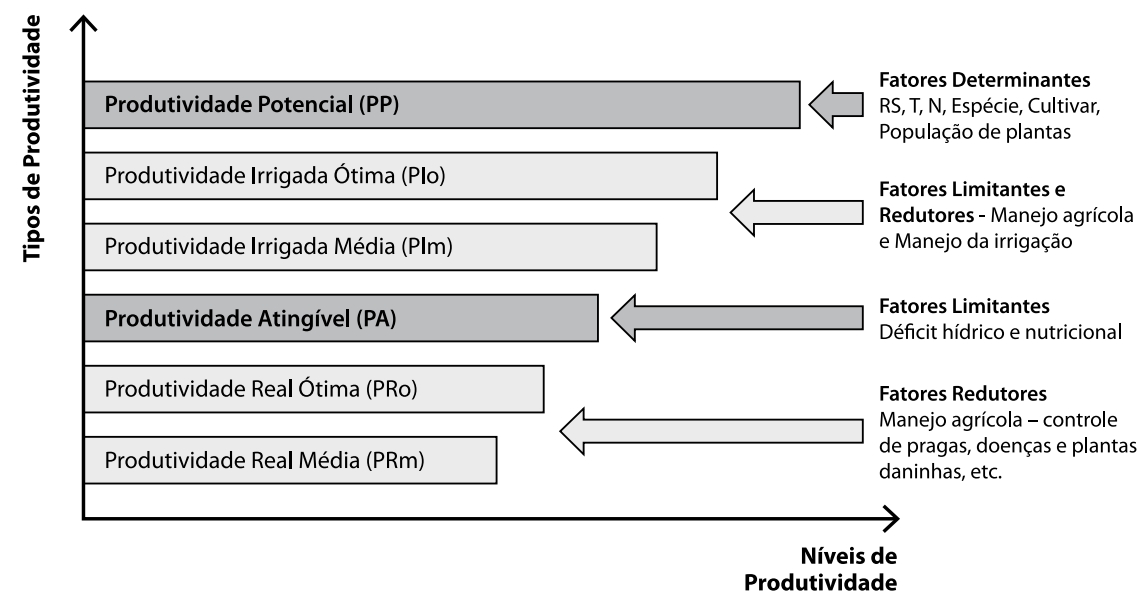


FIGURA 4: Níveis de tipos de produtividade agrícola de acordo com seus respectivos fatores determinantes, limitantes e redutores. RS – radiação solar, T – temperatura, N – fotoperíodo. Adaptado de Sentelhas *et al.* (2015).

Quebra de produtividade (*Yield Gap*) – Definições, conceitos e aplicações

A quebra de produtividade, ou *Yield Gap*, é a diferença entre distintos tipos de produtividade, para uma condição específica, e serve para identificar as possíveis causas da redução da produtividade. Assim, dependendo dos tipos de produtividade considerados, pode-se definir as principais causas da quebra desse rendimento. Quando a quebra é obtida pela diferença entre a PP e a PRm, esta é denominada de quebra total, a qual sofre influência dos fatores limitantes e os redutores.

A Figura 4 apresenta os distintos tipos de produtividade; e a diferença entre as barras horizontais, as quebras. Essas quebras podem advir de fatores associados à disponibilidade de água (déficit hídrico) ou ao manejo agrícola da cultura, sendo este mais complexo de ser determinado, tendo em vista a grande complexidade dos sistemas agrícolas em condições de campo. Assim, a diferença entre a PP e a PI mostrará que a quebra advém do manejo sub-ótimo da irrigação e agrícola, como enfatizam Rodrigues *et al.* (2013), que observaram diferenças de produtividade entre lavouras de soja irrigada devido a fatores relacionados a manejo da irrigação, cultivar, adubação e controle de pragas e doenças.

Quando o foco são as lavouras em condições de sequeiro, a quebra de produtividade total é obtida pela diferença entre a PP e a PA, o que demonstra

o efeito exclusivo do déficit hídrico na produtividade. Já a diferença entre a PA e a PR define a quebra de produtividade devido ao manejo agrícola da cultura, já que, nessas condições, a máxima produtividade que poderá ser atingida é a PA (Van Ittersum *et al.* 2013).

De acordo com Lobell *et al.* (2009), há duas razões para o estudo e o entendimento das quebras de produtividade. Primeiro, porque isso ajuda nas projeções futuras da produtividade – locais com produtividades próximas ao limite superior têm menos chances de incremento de produtividade no futuro. Segundo, porque permite identificar os fatores que estão contribuindo para a quebra da produtividade, o que é útil para o direcionamento de estratégias a fim de aumentar as produtividades e reduzir a quebra, ou *Yield Gap*.

Para as condições brasileiras, Sentelhas *et al.* (2015) obtiveram, por meio de um modelo de simulação da cultura da soja, calibrado com base nos dados de ensaios de competição de cultivares da Fundação Pró-Sementes por Battisti e Sentelhas (2014), os diferentes níveis de quebra de produtividade em função do déficit hídrico e do manejo agrícola da cultura. Os resultados mostram que as quebras de produtividade da cultura da soja em diferentes regiões produtoras do Brasil variam consi-

deravelmente e que grande parte das quebras de produtividade é oriunda do déficit hídrico (73,8%), enquanto o manejo inadequado da cultura representa apenas 26,8% da quebra geral de produtividade (**Tabela 3**). Apesar de os valores absolutos de PP, PA e PR serem variáveis com o tempo, devido ao avanço tecnológico, os valores relativos de quebra não devem mudar de modo significativo, representando adequadamente o que atualmente ocorre com as lavouras de soja em todo o Brasil. Desse modo, pode-se concluir que grande parte das quebras de produtividade na cultura da soja no Brasil são causadas pelo déficit hídrico ao longo do ciclo, o que evidencia a importância de adotar as recomendações das épocas de semeadura com menores riscos climáticos, do uso do plantio direto para conservação de água no solo e de cultivares com tolerância ao déficit hídrico (SENTELHAS *et al.*, 2015).

Lobell *et al.* (2009) comentam que o valor de PP é basicamente teórico e difícil de ser alcançado, uma vez que inúmeros fatores podem afetar e reduzir a produtividade. Esses autores recomendam que um valor de cerca de 80% da PP pode ser alcançado ao utilizar irrigação e melhorias no manejo. Em uma estimativa conservadora, considerando o valor médio para PP 80% de 3.800 kg ha⁻¹ (Tabela 3) e área de cultivo no Brasil de 30 milhões de hectares, a produção nacional de soja seria de 114 milhões de toneladas, sem precisar aumentar a área de cultivo, valor esse 30% maior que a projeção para a safra 2014/15 (Conab, 2015).

Este aumento de produtividade passa pelo estudo e pelo uso de estratégias para redução dos fatores limitantes e redutores. Um aspecto importante do planejamento da cultura da soja é com relação à janela de cultivo, ou seja, às melhores épocas

TABELA 3: Produtividade potencial (PP), atingível (PA) e real (PR) para a cultura da soja em diferentes regiões produtoras do Brasil e suas respectivas quebras de produtividade devido ao déficit hídrico (Água) e manejo agrícola (Manejo). Adaptado de Sentelhas *et al.* (2015).

Região Produtora	PP	PA	PR	Quebra	Quebra	Quebra	Quebra	PP 80%
	kg ha ⁻¹					Relativa à	Relativa ao	
				Água	Manejo	Água (%)	Manejo (%)	
Cruz Alta, RS	5506	2956	2286	2549	670	79,2	20,8	4404
Campos Novos, SC	5094	3538	2826	1556	713	68,6	31,4	4075
Campo Mourão, PR	5068	3178	2872	1890	306	86,1	13,9	4054
Assis, SP	5099	3094	2523	2004	571	77,8	22,2	4079
Dourados, MS	5359	3450	2810	1909	640	74,9	25,1	4287
Uberaba, MG	4806	3776	3009	1030	767	57,3	42,7	3845
Jataí, GO	4538	3721	3345	817	375	68,5	31,5	3630
Formosa, GO	4488	3430	2995	1058	435	70,9	29,1	3591
Primavera do Leste, MT	4475	3391	3079	1083	312	77,6	22,4	3580
Correntina, BA	4712	3277	2934	1434	344	80,7	19,3	3769
Tapurah, MT	4210	3710	3243	500	467	51,7	48,3	3368
Peixe, TO	4556	3407	3063	1149	344	76,9	23,1	3645
Santana do Araguaia, PA	4383	3548	3318	835	230	78,4	21,6	3506
Bom Jesus, PI	4734	3202	2723	1532	480	76,2	23,8	3787
Balsas, MA	4482	3237	2956	1245	281	81,6	18,4	3586
Média Geral	4767	3395	2932	1373	462	73,8	26,2	3814
Desvio padrão	379	240	283	543	172	9,2	9,2	303
CV (%)	7,9%	7,1%	9,7%	39,5%	37,1%	12,4%	35,0%	8%



cas de semeadura para a cultura em todo o Brasil. Isso se refere ao zoneamento de risco climático do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) e representa informação bastante importante, de modo a minimizar as perdas devido ao déficit hídrico (Figura 5). No entanto, em algumas situações, até mesmo seguindo-se o calendário proposto pelo MAPA, os déficits hídricos acabam por levar a perdas de produtividade, especialmente quando esse déficit ocorre entre a germinação e a emergência e entre a floração e o final do enchimento de grãos (CUNHA *et al.*, 2001).

Sendo o déficit hídrico o principal fator limitante da produtividade, é possível identificar as cultivares com melhor tolerância à seca para a minimização das perdas na cultura da soja, como realizado por Battisti e Sentelhas (2014), que fizeram uma análise de agrupamento com base na sensibilidade de 101 cultivares brasileiras de soja ao déficit hídrico durante a fase reprodutiva (Figura 6). Esses autores observaram que há a formação de quatro grupos de cultivares de soja com distintas tolerâncias ao déficit hídrico, como mostra a Figura 7 para as cultivares analisadas.

		PRIMAVERA DO LESTE																		
Cultura	Ciclo	Solo	Períodos Favoráveis (Verde) e Desfavoráveis (Vermelho) de Plantio por Decêndio																	
			AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL						
SOJA portaria: 272, data: 29/07/2011	GRUPO I	ARENOSO	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
		ARGILOSO	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
		TEXTURA MÉDIA	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
	GRUPO II	ARENOSO	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
		ARGILOSO	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
		TEXTURA MÉDIA	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
	GRUPO III	ARENOSO	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
		ARGILOSO	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
		TEXTURA MÉDIA	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3

FIGURA 5: Janela de cultivo decendial recomendada para semeadura da cultura da soja em Primavera do Leste (MT), oriunda do zoneamento de risco climático do MAPA. Adaptado de AGRITEMPO (2015).

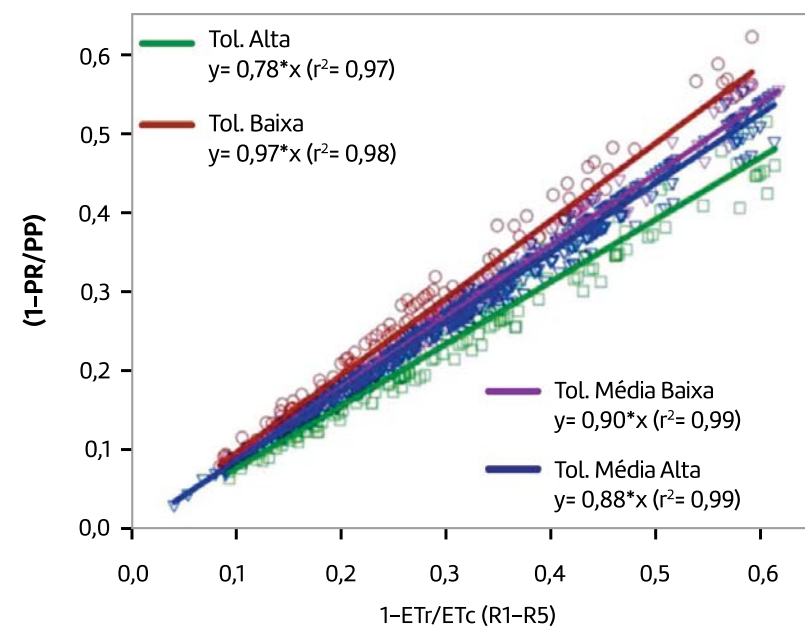


FIGURA 6: Relação entre a deficiência hídrica relativa (1-ETr/ETc) durante a fase de floração/enchimento de grãos (R1-R5) e a penalização relativa da produtividade (1-PR/PP) para os diferentes grupos de tolerância ao déficit hídrico da cultura da soja. Adaptado de Battisti e Sentelhas (2014).

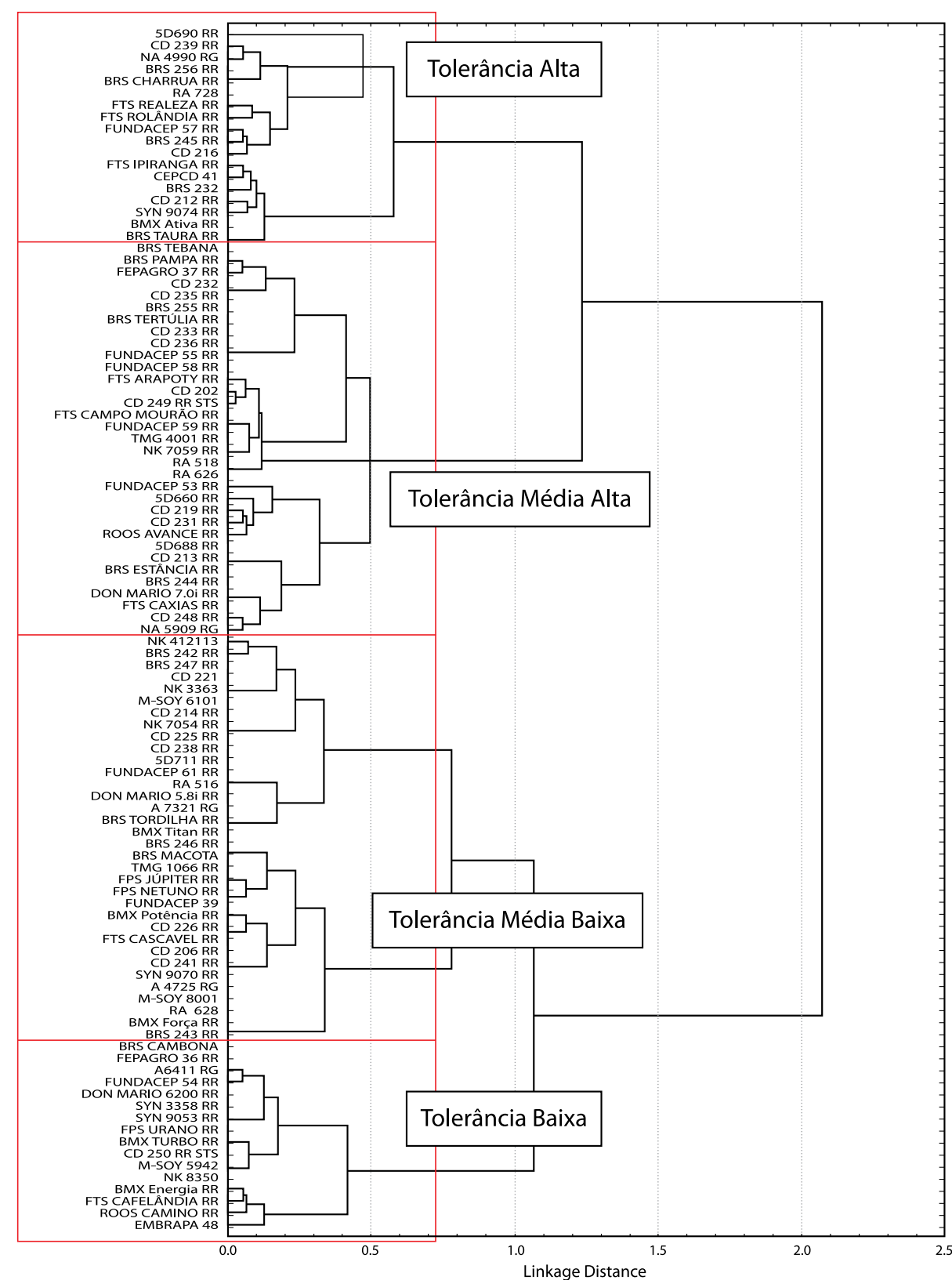


FIGURA 7: Análise de agrupamento das cultivares, por meio do método de Ward, considerando-se a distância euclidiana, com base no coeficiente de sensibilidade ao déficit hídrico (Ky) das diferentes fases de desenvolvimento da cultura da soja. Adaptado de Battisti e Sentelhas (2014).

Clima e produtividade da soja no Mato Grosso

Considerando-se o caso específico do Mato Grosso e tomando-se por base o município de Rondonópolis para um estudo com o uso de um modelo de estimativa da produtividade (Battisti e Sentelhas,

2014), observa-se que o déficit hídrico é o principal fator a influenciar as épocas de semeadura da cultura da soja (**Figura 8**) e os níveis de produtividade alcançados e sua variabilidade interanual (**Figura 9**).

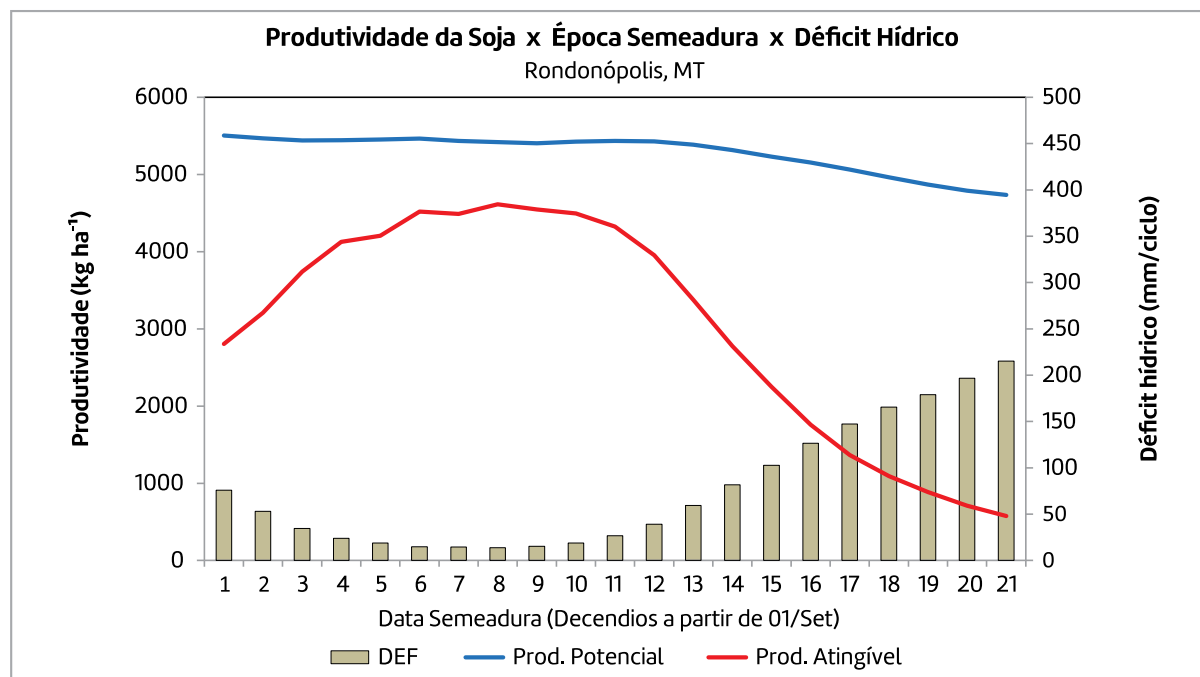


FIGURA 8: Relação entre produtividade potencial, produtividade atingível, deficiência hídrica e época de semeadura da cultura da soja em Rondonópolis (MT.)

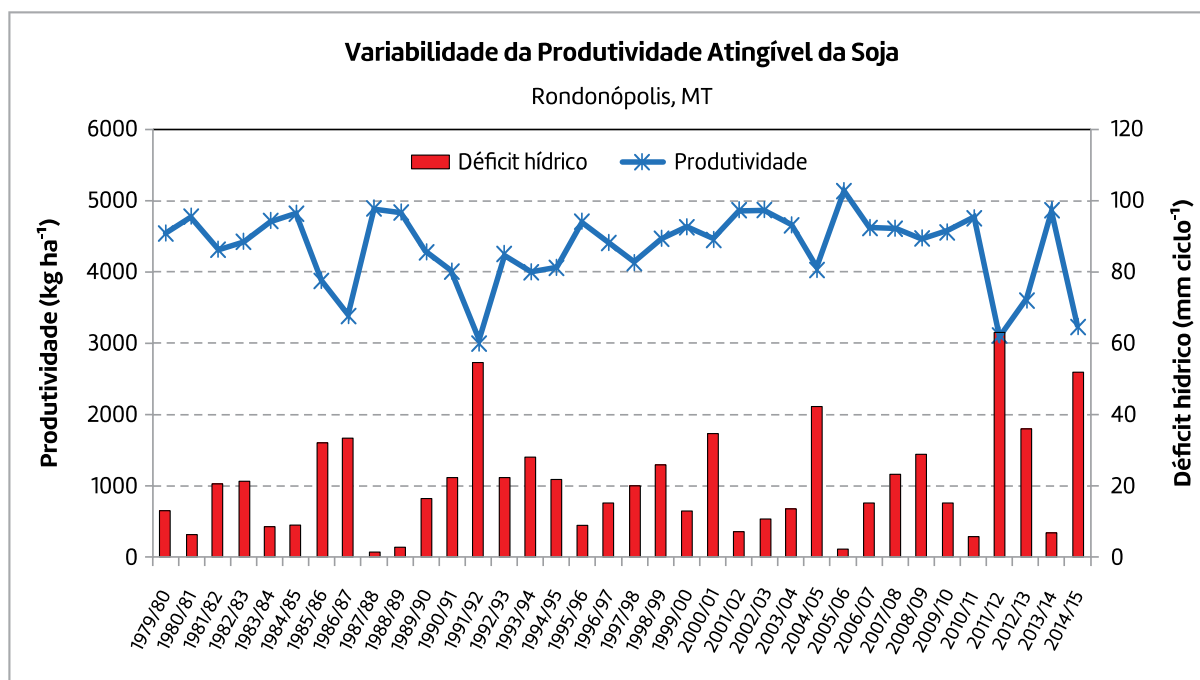


FIGURA 9: Variabilidade interanual da produtividade e da deficiência hídrica ao longo do ciclo da soja em Rondonópolis (MT).

A Figura 8, que apresenta os dados médios de produtividade potencial (PP), produtividade atingível (PA) e deficiência hídrica ao longo do ciclo (DEF), mostra que as melhores épocas de semeadura para Rondonópolis se concentram entre os meses de outubro a dezembro (decênios 4 a 12), quando a PA é máxima e a quebra de produtividade por deficiência hídrica é mínima. Nas semeaduras precoces, de setembro (decênios de 1 a 3), e tardias, de janeiro a março (decênios de 13 a 21), os riscos de deficiências hídricas mais acentuadas resultam em menores níveis de produtividade, especialmente nas semeaduras tardias, após 21/01.

Isso revela a grande importância da definição da melhor época de semeadura para cada região, mostrando que semeaduras realizadas precocemente ou tardiamente levarão a uma menor produtividade atingível da cultura, resultando em decréscimo das médias de produtividade da região ou do Estado, além de aumentar o risco de ocorrência de doenças, devido à alta pressão de inóculo.

Outra forma de se avaliar o desempenho da cultura da soja é por meio da análise de sua variabi-

lidade interanual. A Figura 9 ilustra o efeito do déficit hídrico nas produtividades da soja ao longo de 36 safras, de 1979-80 a 2014-15, para a janela de cultivo recomendada pelo MAPA (outubro a dezembro), sem o efeito do avanço tecnológico. Observa-se que, para as condições de Rondonópolis, as produtividades atingíveis alcançam predominantemente mais de 4.000 kg ha⁻¹, havendo poucos anos em que isso não ocorre, exatamente quando as deficiências hídricas são mais acentuadas ao longo do ciclo. Produtividades abaixo de 4.000 kg ha⁻¹ foram observadas em apenas seis anos da série avaliada (36 anos), sendo que, desses, três casos ocorreram nas quatro últimas safras (2011-12, 2012-13 e 2014-15). Isso evidencia o grande efeito que o déficit hídrico tem sobre a produtividade da soja, especialmente quando este ocorre em fases críticas da cultura, quando o déficit hídrico traz perdas bastante significativas. Antes desse período, situação semelhante havia ocorrido nas safras 1986-87 e 1991-92.

Os balanços hídricos sequenciais da região de Rondonópolis para as quatro últimas safras são apresentados nas **Figuras 10 a 13** e ilustram os

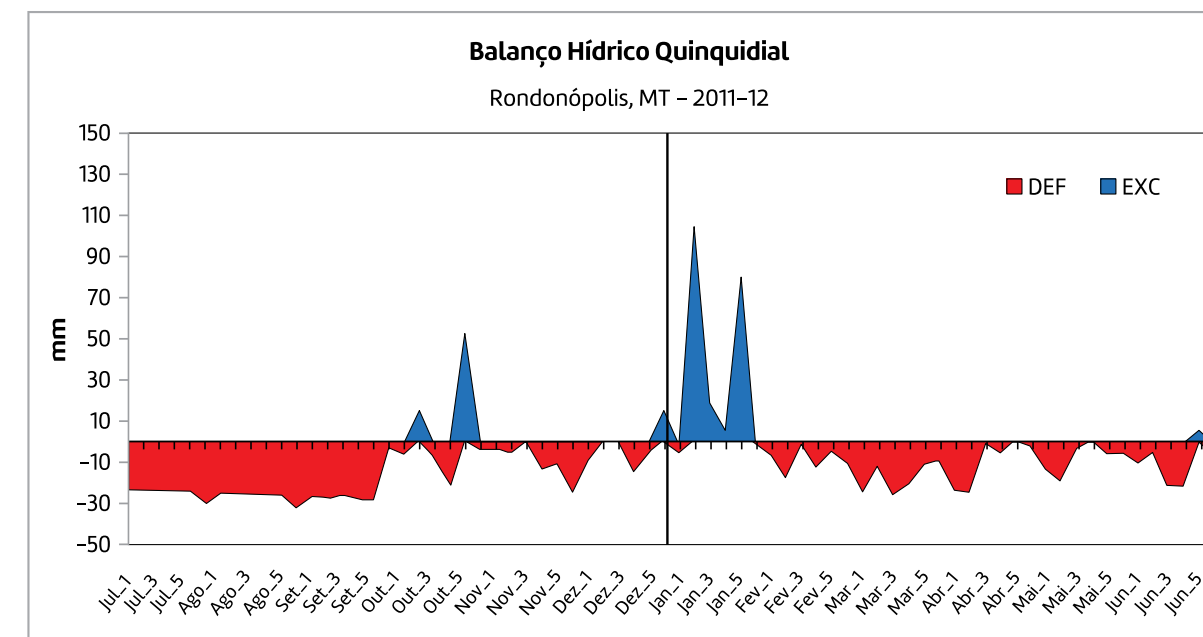


FIGURA 10: Extrato do balanço hídrico na escala quinidial, com os períodos de excedente hídrico (EXC) e deficiência hídrica (DEF), da região de Rondonópolis (MT), para a safra 2011-12. Os valores das deficiências hídricas foram multiplicados por -1 para fins de representação gráfica.

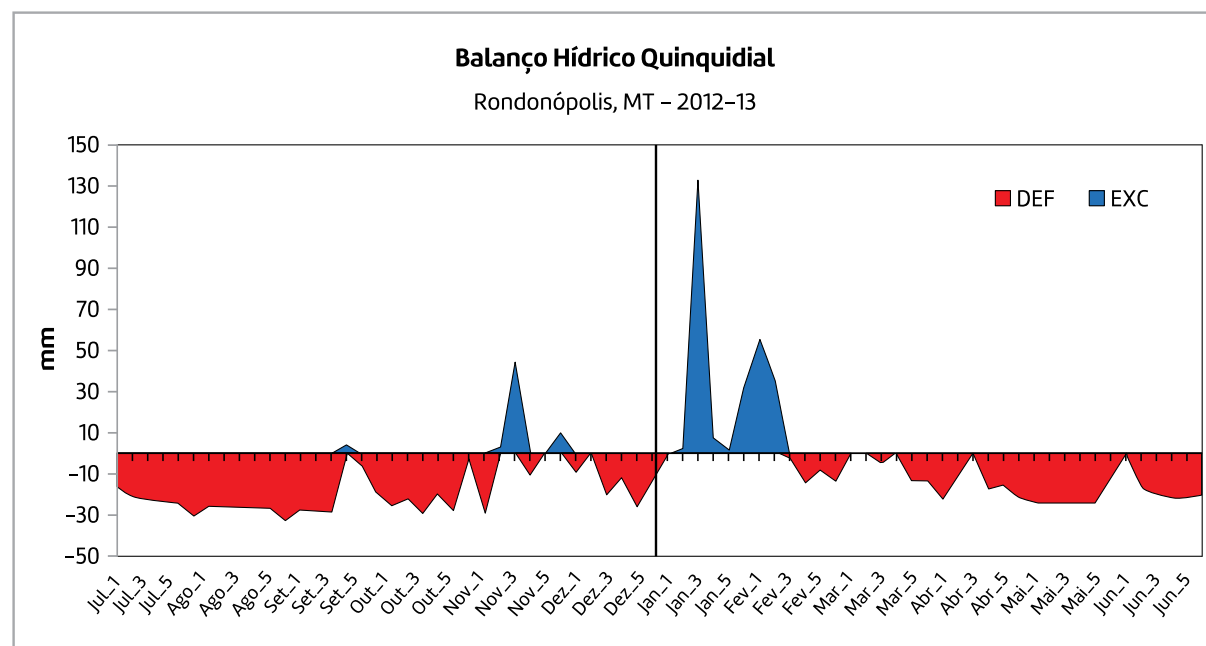


FIGURA 11: Extrato do balanço hídrico na escala quinquidial, com os períodos de excedente hídrico (EXC) e deficiência hídrica (DEF), da região de Rondonópolis (MT) para a safra 2012-13. Os valores das deficiências hídricas foram multiplicados por -1 para fins de representação gráfica.

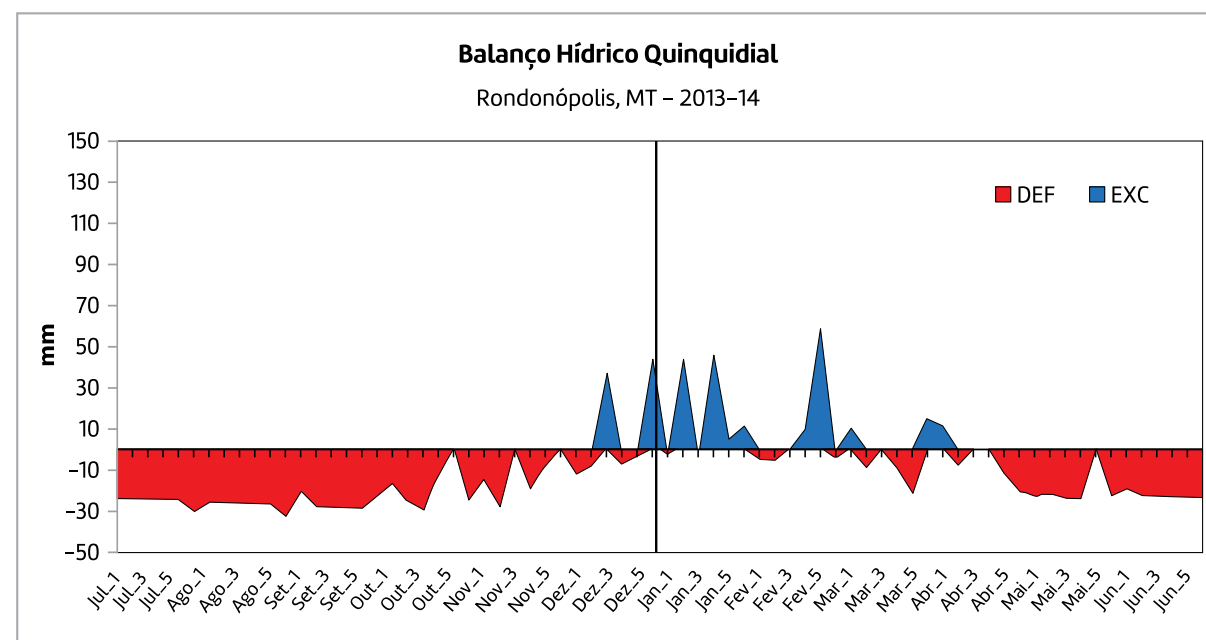


FIGURA 12: Extrato do balanço hídrico na escala quinquidial, com os períodos de excedente hídrico (EXC) e deficiência hídrica (DEF), da região de Rondonópolis (MT) para a safra 2013-14. Os valores das deficiências hídricas foram multiplicados por -1 para fins de representação gráfica.

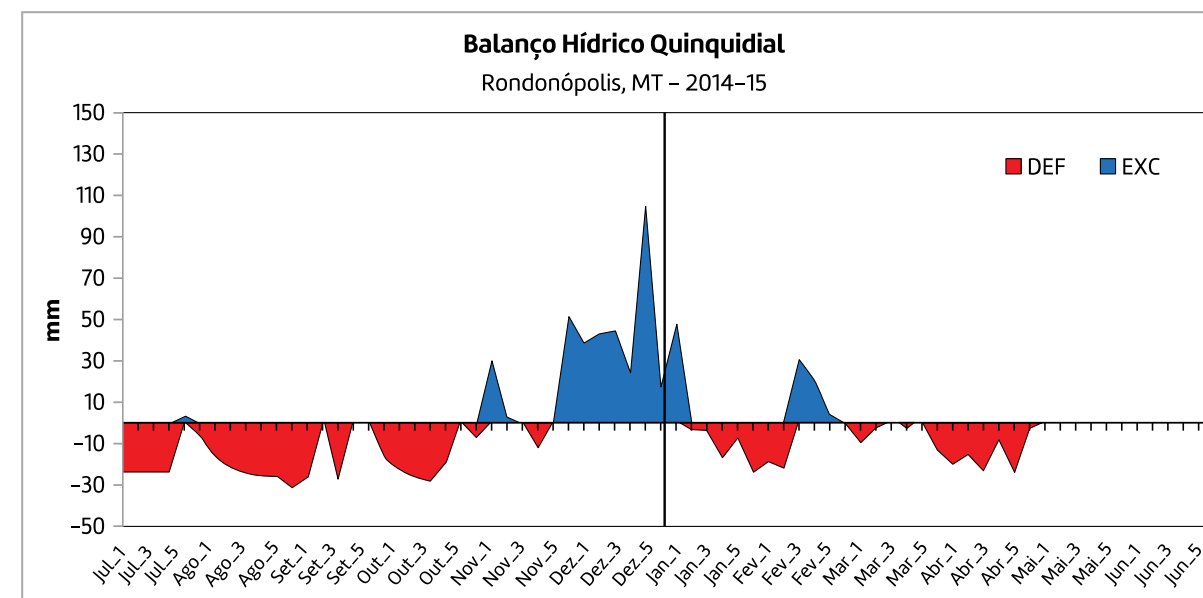


FIGURA 13: Extrato do balanço hídrico na escala quinquidial, com os períodos de excedente hídrico (EXC) e deficiência hídrica (DEF), da região de Rondonópolis (MT), para a safra 2014-15. Os valores das deficiências hídricas foram multiplicados por -1 para fins de representação gráfica. Os dados de março a abril de 2015 são os previstos.

períodos em que as deficiências hídricas ocorreram, prejudicando as lavouras. Observa-se que nas safras 2011-12 (Figura 10) e 2012-13 (Figura 11) os déficits hídricos se concentraram na fase vegetativa (outubro e novembro) e no início do florescimento (dezembro), reduzindo o porte da cultura, o pegamento das flores e, assim, a produtividade. Já na safra de 2013-14 (Figura 13), as condições hídricas para a cultura da soja foram bastante satisfatórias, fazendo com que houvesse expressiva recuperação da produtividade em relação às duas últimas safras. No entanto, nesta última safra, 2014-15 (Figura 13), a estimativa é de que a produtividade volte a cair substancialmente já que, após um período inicial bem favorável à cultura, houve um veranico bastante expressivo na fase do enchi-

mento dos grãos (janeiro e fevereiro), afetando o peso desses.

A Figura 14 apresenta a variação da severidade da ferrugem asiática da soja estimada para a semeadura de novembro pelo modelo de Del Ponte *et al.* (2006) para a região de Rondonópolis (MT). Observa-se que, assim como a produtividade, o condicionamento da ocorrência das doenças também é estimulado pelas chuvas, sendo que em anos mais secos a severidade estimada tende a ser menor, enquanto nos anos mais úmidos isso se inverte. Assim, a variabilidade climática também afeta o potencial de ocorrência de doenças, devendo este aspecto igualmente ser levando em consideração ao se avaliar o impacto do clima na produtividade da cultura da soja.



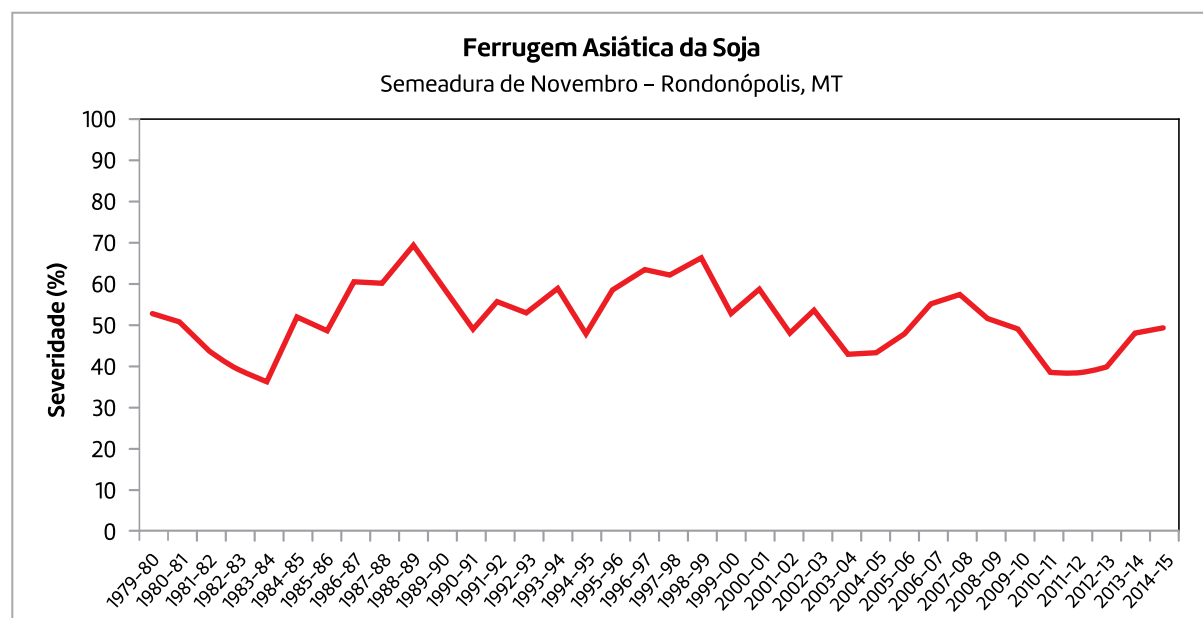


FIGURA 14: Severidade estimada da ferrugem asiática da soja para a semeadura de novembro em Rondonópolis (MT), para as safras de 1979-80 a 2014-15, de acordo com o modelo de Del Ponte *et al.* (2006).

Considerações finais

A cultura da soja no Brasil, e mais especificamente no Estado do Mato Grosso, é fortemente influenciada pelas condições climáticas vigentes ao longo do ciclo de cultivo, afetando a produtividade potencial, atingível e real. Dentre os principais fatores climáticos da produtividade da soja, o déficit hídrico é o principal a causar as quebras de produtividade, uma vez que em grande parte das regiões produtoras do Brasil a radiação solar e a temperatura não são fatores limitantes e o nível de manejo agrícola da cultura vem se mantendo em patamares satisfatórios.

Atualmente, as quebras de produtividade da cultura da soja advêm predominantemente do déficit hídrico nas culturas de sequeiro “»74%”, enquanto o manejo deficiente corresponde a cerca de 24% das quebras. A deficiência hídrica faz com que haja variações de produtividade entre regiões de cultivo e entre anos, sendo que essas variações são mais pronunciadas nas áreas de produção da região Sul do que nas áreas do Centro-Oeste (MT, MS, GO) e do Nordeste (MA, PI, BA). Além do efeito no déficit hídrico da cultura da soja, as chuvas também são responsáveis pela ocorrência de doenças nas lavouras, havendo relação direta entre o total de chuva e a frequência de dias chuvosos com a severida-

de de doenças como a ferrugem asiática.

As chuvas também afetam, quando em excesso, a produtividade e a qualidade dos grãos, sendo esta outra preocupação em Mato Grosso. De modo geral, a produtividade da soja no Estado vem sendo limitada pela ocorrência de déficits hídricos, especialmente nos últimos anos, em que houve perdas de produtividade devido à ocorrência de veranicos em três das quatro últimas safras. Isso mostra que os monitoramentos das condições meteorológicas e do balanço hídrico são de grande importância para o entendimento do desempenho da cultura da soja ao longo do ciclo de cultivo, permitindo estimar as perdas decorrentes do déficit hídrico e avaliar as melhores estratégias de manejo da cultura para que isso seja minimizado.

Nesse sentido, vale salientar a grande importância do manejo do solo para um maior aprofundamento das raízes, quer seja pela correção da acidez em profundidade ou pelo manejo da população de nematoides, melhorando a disponibilidade de água para as plantas. Isso é especialmente importante nas áreas de expansão, onde a capacidade de água disponível do solo vem sendo naturalmente mais restrita.

Referências bibliográficas

- AGRITEMPO. **Janela de semeadura**. Disponível em: <http://www.agritempo.gov.br/zoneamento/tabelas/MT/RONDONOPOLIS_G.HTML>. Acesso em: 08 mar. 2015.
- ALLIPRANDINI, L.F.; ABATTI, C.; BERTAGNOLLI, P.F.; CAVASSIM, J.E.; GABE, H.L.; KUREK, A.; MATSUMOTO, M.N.; OLIVEIRA, M.A.R. de; PITOL, C.; PRADO, L.C.; STECKING, C. Understanding soybean maturity groups in Brazil: Environment, cultivar classification, and stability. **Crop Science**, Madison, v. 49, p. 801-808, 2009.
- BATTISTI, R. **Épocas de semeadura da cultura da soja com base no risco climático e na rentabilidade líquida para as principais regiões produtoras do Brasil**. 2013. 261 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Sistemas Agrícolas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- BATTISTI, R.; SENTELHAS, P.C. Drought tolerance of brazilian soybean cultivars simulated by a simple agrometeorological yield model. **Experimental Agriculture**, 2014. doi:10.1017/S0014479714000283.
- BATTISTI, R.; SENTELHAS, P.C.; PILAU, F.G. Eficiência agrícola da produção de soja, milho e trigo no estado do Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 42, p. 24-30, 2012.
- BERLATO, M.A.; FARENZENA, H.; FONTANA, D.C. Associação entre El Niño oscilação sul e a produtividade do milho no Estado do Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, p. 423-432, 2005.
- BERLATO, M.A.; FONTANA, D.C. **El Niño e La Niña: impactos no clima, na vegetação e na agricultura do Rio Grande do Sul: aplicações de previsões climáticas na agricultura**. Porto Alegre: UFRGS, 2003. 110 p.
- BERLATO, M.A.; MATZENAUER, R.; BERGAMASCHI, H. Evapotranspiração máxima da soja, relações com a evapotranspiração calculada pela equação de Penman, evaporação de tanque “classe A” e radiação solar global. **Agronomia Sulriograndense**, Porto Alegre, v. 22, p. 243-259, 1986.
- BHATIA, V.S.; SING, P.; WANI, S.P.; CHAUHAN, G.S.; KESAVA RAO, A.V.R.; MISHRA, A.K.; SRINIVAS, K. Analysis of potential yields and yield gaps of rainfed soybean in India using CROPGRO-Soybean model. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 148, p. 1252-1265, 2008.
- CÂMARA, G.M.S.; SEDIYAMA, T.; DOURADO-NETO, D.; BERNARDES, M.S. Influence of photoperiod and air temperature on the growth, flowering and maturation of soybean (*Glycine max* (L.) Merrill). **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 54, p. 149-154, 1997.
- CAMARGO, M.B.P.; BRUNINI, O.; MIRANDA, M.A.C. Temperatura-base para cálculo dos graus-dia para cultivares de soja em São Paulo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 22, p. 115-121, 1987.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Levantamentos de safra**. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1253&t=>>>. Acesso em: 08 mar. 2015.
- CUNHA, G.R.; BARNI, N.A.; HAAS, J.C.; MALUF, J.R.T.; MATZENAUER, R.; PASINATO, A.; PIMENTEL, M.B.M.; PIRES, J.L.F. Zoneamento agrícola e época de semeadura para a soja no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Passo Fundo, v. 9, p. 446-459, 2001.
- DEL PONTE, E.M.; GODOY, C.V.; LI, X.; YANG, X.B. Predicting severity of Asian soybean rust with empirical rainfall models. **Phytopathology**, Saint Paul, v. 96, p.797-803, 2006.
- DESTRO, D.; CARPENTIERI-PÍPOLO, V.; KIIHL, R.A. DE S.; ALMEIDA, L.A. de. Photoperiodism and genetic control of the long juvenile period in soybean: A review. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Londrina, v. 1, p. 72-92, 2001.
- DOGAN, E.; KIRNAK, H.; COPUR, O. Deficit irrigations during soybean reproductive stages and CROPGRO-Soybean simulations under semi-arid climatic conditions. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 103, p. 154-159, 2007.
- EMBRAPA SOJA. **Cultivares de soja 2011/2012: Região Centro-sul do Brasil**. Londrina, 2011. 52 p.
- FARIAS, J.R.B. NEPOMUCENO, A.L.; NEUMAIER, N. **Ecofisiologia da soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2007. 9 p. (Circular Técnica, 48).
- 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**. Brasília: INMET, 2009. cap. 15, p. 261-278.
- FEHR, W.R.; CAVINESS, C.E. **Stages of soybean development**. Ames: Iowa State University, 1977. 11 p. (Special Report, 80).
- 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, p. 666-672, 2008.
- FIETZ, C.R.; URCHÉI, M.A. Deficiência hídrica da cultura da soja na região de Dourados, MS. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 6, p. 262-265, 2002.
- FRANÇA NETO, J.B.; KRZYZANOWSKI, F.C.; PÁDUA, G.P.; COSTA, N.P. da; HENRING, A.A. **Tecnologia da produção de semente de soja de alta qualidade: série sementes**. Londrina: EMBRAPA, 2007. 12

p. (Circular Técnica, 40).

GILBERT, M.E.; HOLBROOK, N.M.; ZWIENIECKI, M.A.; SADOK, W.; SINCLAIR, T.R. Field confirmation of genetic variation in soybean transpiration response to vapor pressure deficit and photosynthetic compensation. **Field Crop Research**, Amsterdam, v. 124, p. 85-92, 2011.

HALL, A.J.; FEOLI, C.; INGARAMO, J.; BALZARINI, M. Gaps between farmer and attainable yield across rainfed sunflower growing regions of Argentina. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 143, p. 119-129, 2013.

HAMAWAKI, O.T.; POLIZEL, A.C.; JULIATTI, F.C.; HAMAWAKI, R.L.; BRUNETTA, P. UFUS-Imperial: nova cultivar de soja para o Estado de Mato Grosso. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, p. 137-139, 2007.

HOANG, V.N. Analysis of productive performance of crop production systems: An integrated analytical framework. **Agricultural Systems**, Essex, v. 116, p. 16-24, 2013.

KASTER, M.; FARIAS, J.R.B. Regionalização dos testes de VCU – Valor de Cultivo e uso de cultivares de soja – Terceira Aproximação. In: REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO CENTRAL DO BRASIL, 32, 2011. São Pedro). **Resumos...** Londrina: EMBRAPA Soja, 2011. p. 231-235.

LOBELL, D.B.; CASSMAN, K.G.; FIELD, C.B. Crop yield gaps: Their importance, magnitudes, and causes. **Annual Review of Environment and Resources**, Palo Alto, v. 34, p. 179-204, 2009.

MARTORANO, L.G. **Padrões de resposta da soja a condições hídrica do campo sistema solo-planta-atmosfera, observados no campo e simulados no sistema de suporte à decisão DSSAT**. 2007. 151 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

MAYAKI, W.C.; STONE, L.R.; TEARE, I.D. Irrigated and nonirrigated soybean, corn, and grain sorghum root

systems. **Agronomy Journal**, Madison, v. 68, p. 532-534, 1976.

MELO, R.W.D.; FONTANA, D.C.; BERLATO, M.A. Indicadores de produção de soja no Rio Grande do Sul comparados ao zoneamento agrícola. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 33, p. 1167-1175, 2004.

NEUMAIER, N.; NEPOMUCENO, A.L.; FARIAS, J.R.B.; OYA, T. Estádios de desenvolvimento da cultura de soja. In: BONATTO, E.R. **Estresses em soja**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2000. cap. 1, p. 19-44.

NOGUEIRA, A.D.S.S.; NAGAI, V. Deficiência hídrica simulada nos diferentes estádios de desenvolvimento de um cultivar precoce de soja. **Bragantia**, Campinas, v. 47, p. 9-14, 1988.

PEREIRA, A.R.; ANGELOCCI, L.R.; SENTELHAS, P.C. **Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas**. Guaíba: Agropecuária, 2002. 478 p.

QUEIROZ-VOLTAN, R.B.; NOGUEIRA, S.D.S.S.; MIRANDA, M.A.C.D. Aspectos da estrutura da raiz e do desenvolvimento de plantas de soja em solos compactados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, p. 929-938, 2000.

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, 1997. 20 p. (Special Report, 53).

RODRIGUES, G.C.; MARTINS, J.D.; SILVA, F.G. DA; CARLESSO, R.; PEREIRA, L.S. Modelling economic impacts of deficit irrigated maize in Brazil with consideration of different rainfall regimes. **Biosystems Engineering**, London, v. 116, p. 97-110, 2013.

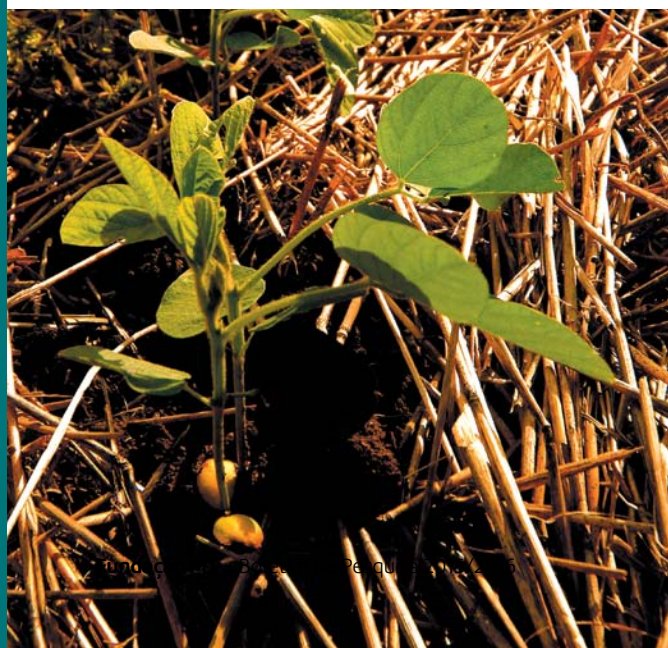
RODRIGUES, O. DIDONET, A.D.; LHAMBY, J.C.B.; BERTAGNOLLI, P.F.; LUZ, J.A. da. Resposta quantitativa do florescimento da soja à temperatura e ao fotoperíodo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, p. 431-437, 2001.

SCHOFFEL, E.R.; SACCOL, A.V.; MANFRON, P.A.; MEDEIROS, S.L.P. Excesso hídrico sobre os componentes do rendimento da cultura da soja. **Ciencia Rural**, v.31, n.1, p. 7-12, 2001.

SENTELHAS, P.C.; BATTISTI, R.; CÂMARA, G.M.S.; FARIAS, J.R.B.; NENDEL, C.; HAMPF, A. The soybean yield gap in Brazil – Magnitude, Causes and Possible Solution. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, 2015. No Prelo.

Van ITTERSUM, M.K.; CASSMAN, K.G.; GRASSINI, P.; WOLF, J.; TITTONELL, P.; HOCHMAN, Z. Yield gap analysis with local to global relevance – A review. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 143, p. 4-17, 2013.

Van ITTERSUM, M.K.; RABBINGE, R. Concepts in production ecology for analysis and qualification of agricultural input-output combinations. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 52, p. 197-208, 1997.



Aumentar a sua produtividade está em nosso DNA.

Consulte um especialista em sementes do Grupo G4. **Tradição em Qualidade.**

www.g4sementes.com.br



(66) 3422 8600 | Av. Lions Internacional, 1.105 - Andar 01 - Sala 01 - Eldorado Centro Empresarial Vila Aurora - CEP 78740-485 - Rondonópolis - MT / contato@g4sementes.com.br