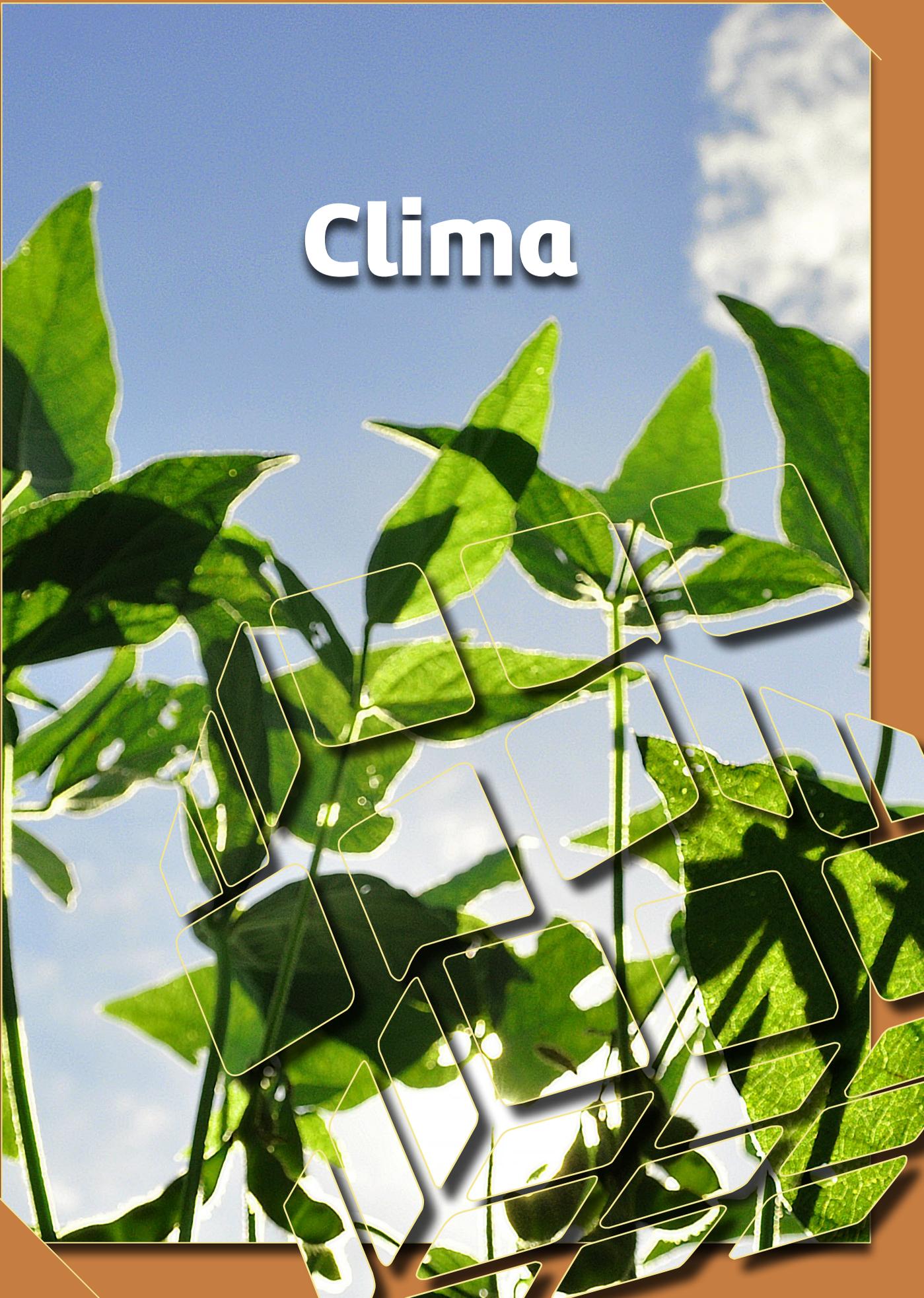


# Clima



# Clima e produtividade da soja: variabilidade climática como fator controlador da produtividade

## Introdução

A experiência prática demonstra que as condições climáticas, ao longo do ciclo das culturas, determinam o sucesso da produção agrícola. Tal condição ocorre, pois a grande maioria dos cultivos de sequeiro conduzidos em larga escala não tem a intervenção direta do homem na alteração das condições climáticas ao nível da cultura, ao contrário do que ocorre nos cultivos protegidos ou irrigados. Isso impõe à atividade agrícola um alto nível de risco, o que, em suma, está associado à

falta de alternativas imediatas para minimizar os efeitos dos eventos meteorológicos adversos, como as secas, as geadas, o excesso de chuvas, as ondas de calor e a ocorrência de ventos intensos, que venham a ocorrer durante o ciclo da cultura. Por outro lado, fatores limitantes/redutores associados aos manejos do solo ou da cultura, como o controle de pragas e doenças, podem ser alterados pelos produtores para maximizar a produtividade.

### **Paulo Cesar Sentelhas**

Professor Associado 3, Área de Agrometeorologia, Departamento de Engenharia de Biosistemas, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ/USP), Piracicaba-SP  
pccsentel.esalq@usp.br

### **Rafael Battisti**

Pós-doutorando, Área de Agrometeorologia, Departamento de Engenharia de Biosistemas - ESALQ/USP  
r.battisti@hotmail.com

### **Henry Sako**

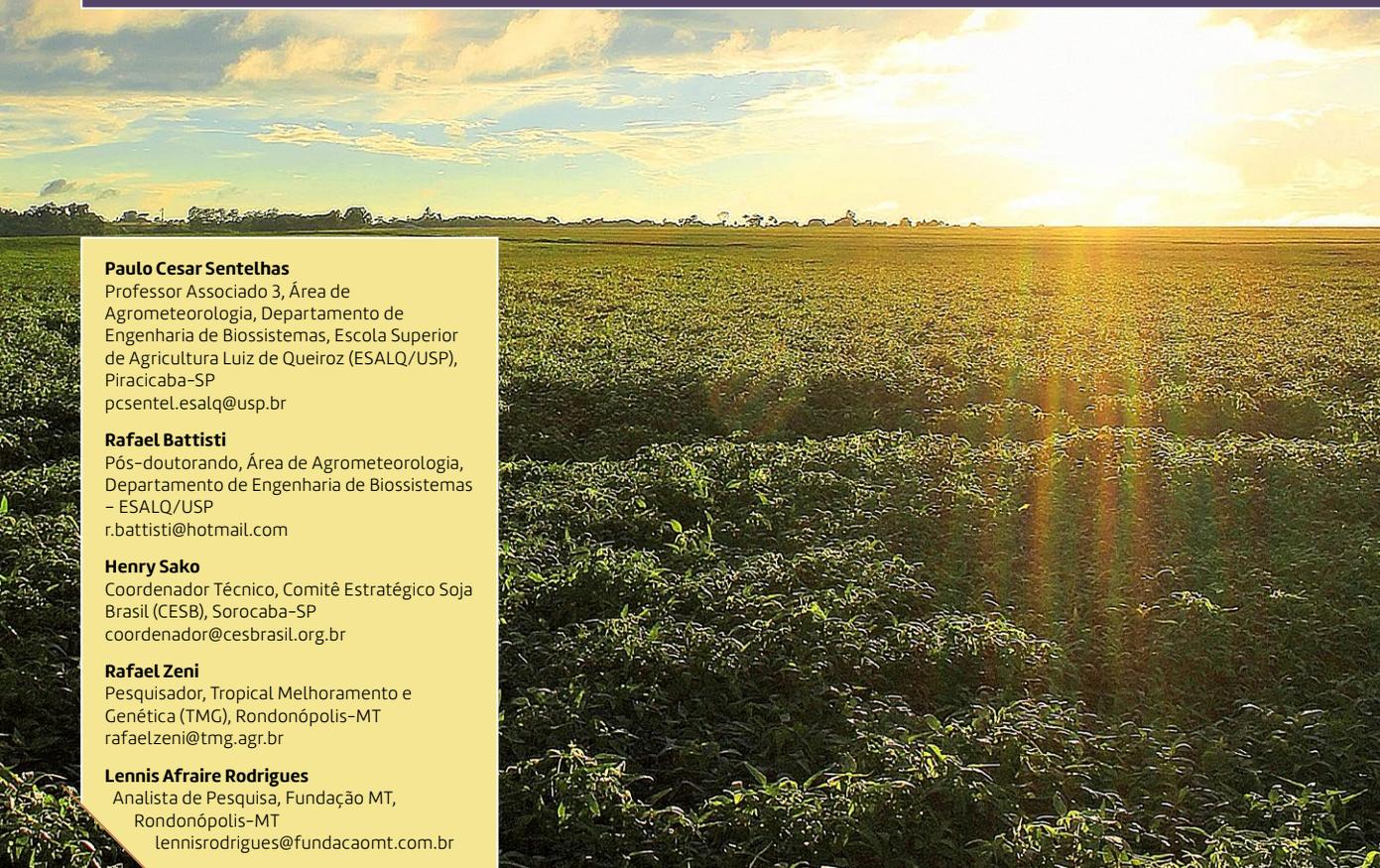
Coordenador Técnico, Comitê Estratégico Soja Brasil (CESB), Sorocaba-SP  
coordenador@cesbrasil.org.br

### **Rafael Zeni**

Pesquisador, Tropical Melhoramento e Genética (TMG), Rondonópolis-MT  
rafaelzeni@tmg.agr.br

### **Lennis Afraire Rodrigues**

Analista de Pesquisa, Fundação MT, Rondonópolis-MT  
lennisrodrigues@fundacaomt.com.br



No Brasil, a produtividade da soja varia entre as diferentes regiões produtoras; o que é especialmente relevante se for considerado que a cultura é produzida em, praticamente, todas as regiões do país. Além disso, a produtividade da soja também varia dentro de uma mesma região, entre os diferentes anos de cultivos, entre épocas de semeadura e em função da cultivar empregada. Tais variabilidades ocorrem devido às variações das condições climáticas ao longo do ciclo da cultura e das respostas diferenciadas das cultivares a esses estímulos do ambiente, especialmente em relação ao déficit (Sentelhas et al., 2015) ou ao excesso hídricos (Del Ponte & Esker, 2008).

Apesar de o déficit hídrico ser o principal fator limitante da produtividade da soja no Brasil, causando, em média, uma perda de 1.373 ( $\pm$  543) kg/ha (Sentelhas et al., 2015), há outros fatores climáticos que podem tanto potencializar quanto amenizar os efeitos do déficit hídrico na produtividade desta cultura. Dentre esses fatores, os principais são:

1. radiação solar, a qual condiciona a fotossíntese bruta da cultura;
2. temperatura do ar, que juntamente com o fotoperíodo é o fator moderador do crescimento e do desenvolvimento da soja, além de afetar a respiração de manutenção e a abscisão floral sob condições climáticas extremas (Bonato, 2000; Farias et al., 2009);
3. excesso hídrico, associado a intensas precipitações, o que penaliza tanto a produtividade, por favorecer a ocorrência de certas doenças, como a qualidade dos grãos, quando coincide com o período de colheita (Sentelhas & Battisti, 2015).

O conhecimento da resposta da cultura da soja às condições climáticas permite avaliar diferentes estratégias de manejo da cultura, como a data de semeadura, a escolha da cultivar, o local de cultivo e as demais ações do manejo, como o controle de pragas e doenças, já que o clima de uma região não pode ser

alterado, o que faz com que o sistema de cultivo tenha que ser adaptado ao ambiente de produção por meio do planejamento estratégico e, posteriormente, ajustado pelas tomadas de decisão, o que conjuntamente leva ao aumento da resiliência do cultivo, minimizando os riscos climáticos (Sentelhas & Monteiro, 2009).

## 1. Tipos e níveis de produtividade agrícola

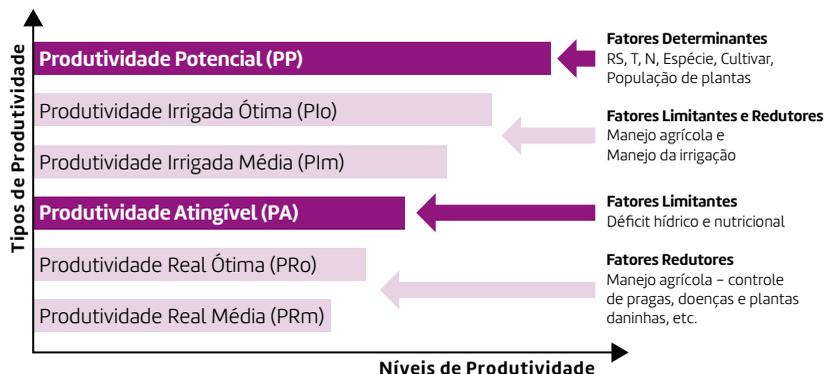
Na elaboração das ações de planejamento e de tomadas de decisão podem ser adotados os conceitos de tipos e níveis de produtividade agrícola com base nos fatores determinantes, limitantes e redutores. Quando se tem a diferença entre dois tipos de produtividade, com diferentes níveis, se obtém a perda de produtividade pelos fatores que diferenciam esses dois níveis. A quantificação das perdas de produtividade na agricultura é comumente conhecida pelo seu termo em inglês *yield gap* (quebra de produtividade). Sentelhas et al. (2015) fizeram uma adaptação de vários autores e propuseram seis tipos e níveis de produtividade (Figura 1):

- a. Produtividade potencial (PP): é aquela obtida pela cultura sem a ocorrência de fatores limitantes ou redutores como déficit hídrico, déficit nutricional, danos por pragas ou doenças, entre outros, sendo esta influenciada apenas pela interação entre o genótipo, numa dada população de plantas, e os fatores determinantes que, neste caso, são a radiação solar (RS), a temperatura do ar (Tar) e o fotoperíodo (N). Na maioria dos casos, a PP é obtida utilizando modelos de simulação de crescimento de plantas, ou também via experimentos de campo, desde que os fatores limitantes/redutores não estejam presentes;
- b. Produtividade atingível (PA): após definir o nível da PP, a PA é aquela obtida considerando os fatores limitantes que definem a disponibilidade hídrica para a cultura, ou seja, a ca-

pacidade de água disponível no solo (CAD), disponibilidade hídrica, definida pelo balanço hídrico da cultura – condicionado pela diferença entre a precipitação pluvial (P) e a evapotranspiração da cultura (ETc). Em certos casos também pode ser incluído o efeito do déficit nutricional à que a cultura está sujeita e que é oriundo do déficit hídrico, limitando a absorção, e/ou do manejo deficiente, que resulta em baixa disponibilidade de nutrientes. Esse tipo de produtividade pode ser obtido por meio de modelos de simulação de cultura, depreciando-se a produtividade potencial pelo déficit hídrico que ocorre ao longo do ciclo da cultura. A PA também é conhecida como produtividade limitada pela água;

- c. Produtividade irrigada ótima (PIo) e média (PIm): nestas as diferenças entre a produtividade potencial e a real são devido aos manejos agrícola e da irrigação; os quais, neste caso, foram subdivididos em manejo ótimo e médio. Sob manejo ótimo, as perdas de produtividade devido ao manejo de irrigação, deficiência nutricional e as ocorrências de pragas, doenças e plantas daninhas são mínimas, enquanto que no manejo médio, mesmo utilizando irrigação, há redução da produtividade devido à maior ação desses fatores. Os valores podem ser obtidos em áreas experimentais (manejo ótimo) ou de produtores (manejo médio); e

- d. Produtividade real ótima (PRo) e Produtividade real média (PRm) de sequeiro: essas produtividades são obtidas pelo produtor rural em culturas conduzidas sob condição de sequeiro, podendo também ser subdivididas em produtividade real com manejo ótimo e médio. Os fatores que atuam nesse tipo de produtividade estão relacionados exclusivamente ao manejo agrícola (fatores redutores), o que engloba desde o manejo do solo até o controle de pragas, doenças e plantas daninhas, passando pelo manejo nutricional da cultura.



**Figura 1** – Tipos e níveis de produtividades agrícolas de acordo com seus respectivos fatores determinantes, limitantes e redutores. Fonte: Adaptado de Sentelhas et al. (2015)

Com base nesses tipos e níveis de produtividade podem ser estabelecidos dois conceitos para medir a eficiência de produção. O primeiro é a eficiência climática, a qual é obtida pela relação entre PA e PP, e define, em termos quantitativos, a redução de produtividade ocasionada apenas pelo déficit hídrico durante o ciclo da cultura. O segundo é a eficiência agrícola, a qual é obtida pela relação entre PRM e PA, e é utilizada como indicador da eficiência do manejo agrícola do produtor. Esses conceitos ajudam definir o peso que o clima e o manejo agrícola têm sobre a produtividade final, permitindo entender o ambiente de produção ao qual a soja está condicionada.

dústria, que neste caso é a fotossíntese; a temperatura do ar é fator moderador da velocidade dos processos, seja de crescimento (fotossíntese) ou de desenvolvimento (fenologia) juntamente com o fotoperíodo, e ainda regula os gastos energéticos para a manutenção da indústria (respiração de manutenção); o fotoperíodo define o turno de trabalho da indústria, ou seja, o tempo em que a fotossíntese ocorre; e a chuva é a fonte de água que fica armazenada no solo, sendo matéria-prima básica para o processo da indústria, ajudando ainda nos mecanismos de trocas gasosas para fixação do CO<sub>2</sub>, outra matéria-prima essencial para o processo. Além

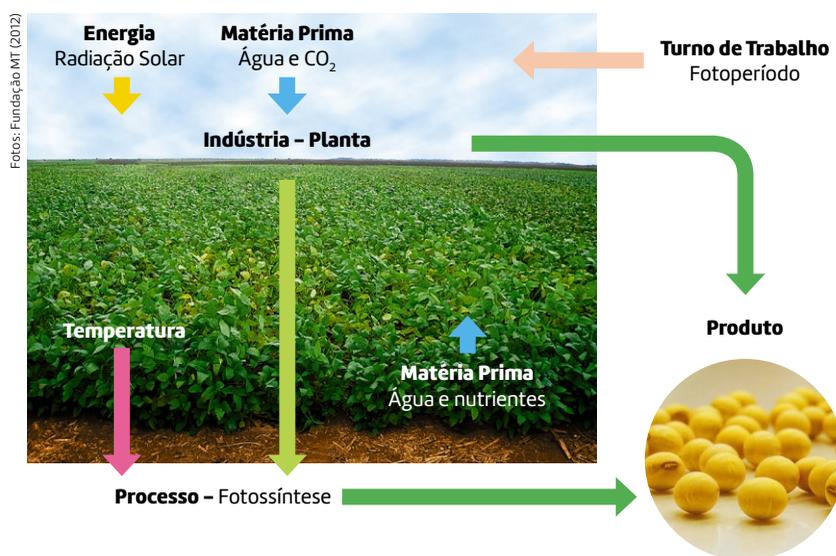
disso, os nutrientes também fazem parte do processo, sendo matérias-primas importantes para o correto funcionamento da indústria. Tanto a fixação do CO<sub>2</sub> atmosférico como a absorção de nutrientes pelas plantas é dependente das condições climáticas, uma vez que a transpiração das plantas via abertura estomática possibilita a absorção de CO<sub>2</sub>, bem como a absorção dos nutrientes do solo, que ocorre via extração de água pelas raízes. Nos dois casos os processos são afetados pela demanda hídrica da atmosfera e pela disponibilidade de água no solo.

Outro processo que afeta a produtividade da soja é a relação entre o desenvolvimento da cultura, ou seja, o período de ocorrência das diferentes fases fenológicas, influenciada pela interação entre a temperatura do ar, o fotoperíodo e a sensibilidade da cultivar a essas variáveis do ambiente. Dogan et al. (2007) verificaram que quando o déficit hídrico ocorre no início da formação dos legumes (R3), no início do enchimento de grãos (R5) e na fase de grãos cheios (R6) as perdas de produtividade são maiores do que quando o déficit hídrico ocorre nas demais fases de desenvolvimento da soja. Isso também foi observado por Battisti (2013) que, ao empregar um modelo de simulação da produtividade

## 2. Efeitos das variáveis meteorológicas na produtividade da soja

Os principais fatores climáticos que afetam a produtividade da cultura da soja e que definem o sucesso da cultura são a radiação solar, a temperatura do ar, o fotoperíodo e a chuva. Esses fatores interagem em vários níveis no sistema produtivo, afetando diferentes processos associados ao crescimento e ao desenvolvimento das plantas.

Ao fazer uma analogia entre o crescimento da planta e a produção de uma indústria (Figura 2), as variáveis climáticas podem ser definidas como: a radiação solar, a qual é a energia necessária para o processo básico da in-



**Figura 2** – Fatores climáticos que afetam a produtividade agrícola – analogia entre uma cultura e uma indústria. Fonte: Adaptado de Sentelhas (2014)

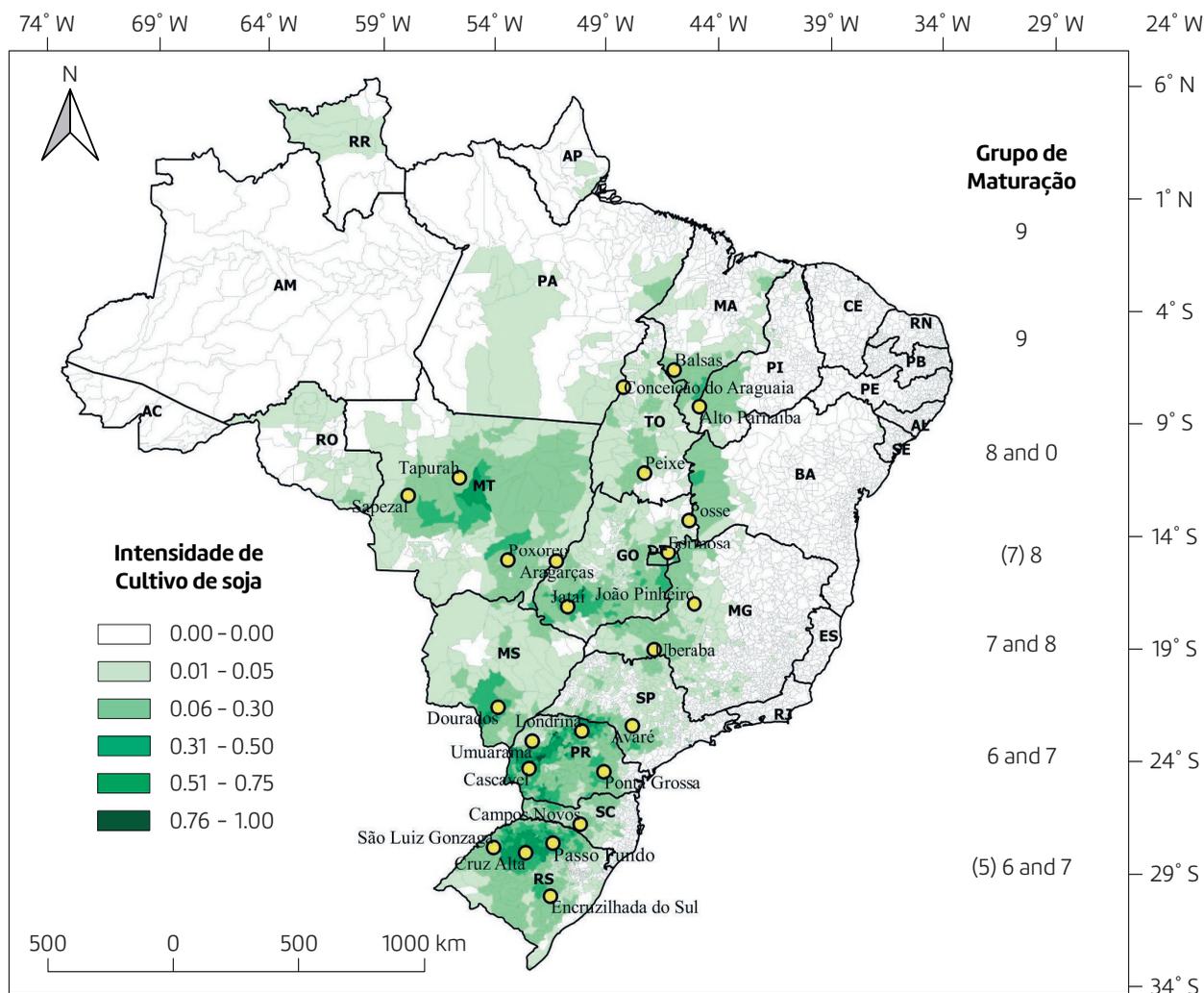
da soja, verificou melhor desempenho desse modelo quando foram adotados diferentes coeficientes de penalização de produtividade pelo déficit hídrico, para cada uma das fases fenológicas da cultura.

O ciclo das cultivares da soja, bem como a duração das diferentes fases fenológicas, é determinado pela interação entre a temperatura do ar e a sensibilidade da cultivar ao fotoperíodo (Fietz & Rangel, 2008). As cultivares têm diferentes sensibilidades ao fotoperíodo, o que é expresso pelos diferentes valores

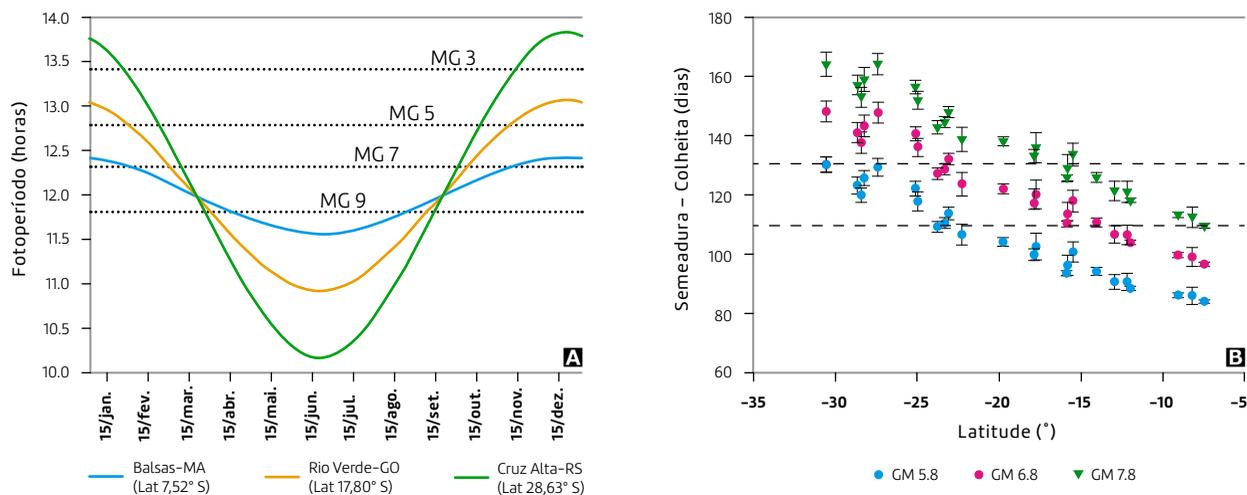
de fotoperíodo crítico para a ocorrência do florescimento. A soja é considerada uma planta de dias curtos, com resposta quantitativa e não absoluta ao fotoperíodo do ambiente, isto é, o florescimento ocorre de qualquer modo, porém mais rapidamente se os dias forem curtos, ou seja, com fotoperíodo do ambiente menor do que o valor crítico do fotoperíodo requerido pela cultivar (Farias et al., 2009).

A denominação dos grupos de maturação da soja está ligada ao fotoperíodo crítico de cada genótipo, em que os gru-

pos de maturação menores são cultivados em regiões de maior latitude, tendo um fotoperíodo crítico maior, enquanto que os grupos de maturação maiores são utilizados em regiões de baixas latitudes e apresentam fotoperíodo crítico menor (Boote et al., 2003) e/ou período juvenil mais longo (Mundstock & Thomas, 2005), afetando assim a recomendação para as diferentes regiões de cultivo. No Brasil os grupos de maturação das cultivares de soja, atualmente utilizadas, variam entre 5, na Região Sul e 9, na Região Norte do país (Figura 3).



**Figura 3** – Grupos de maturação das cultivares de soja, utilizadas no Brasil, em função da latitude das regiões onde são utilizadas no país (Adaptado de Embrapa, 2011). Valores da legenda representam o percentual do pixel com cultivo de soja, adaptado de IBGE (2016)



**Figura 4** – Fotoperíodo ao longo do ano em Balsas-MA, Rio Verde-GO e Cruz Alta-RS, com os valores de fotoperíodo crítico para os grupos de maturação (MG) 3 (13,40 horas), 5 (12,83 horas), 7 (12,33 horas) e 9 (11,88 horas) **A** (Boote et al., 2003); e duração do ciclo para os diferentes grupos de maturação e para locais nas latitudes entre 5° e 30° S, simulado utilizando o modelo DSSAT-CROPGRO-Soybean **B** (Battisti, 2016)

Os diferentes fotoperíodos críticos dos grupos de maturação e a variação do fotoperíodo, ao longo do ano, nos locais de cultivo altera o momento em que a taxa de desenvolvimento da cultivar é máxima para a ocorrência do florescimento. Na Figura 4a observa-se que o fotoperíodo crítico para o grupo de maturação 9 é de 11,88 horas (linha pontilhada), e que nos três locais de cultivo (Balsas-MA, Rio Verde-GO, e Cruz Alta-RS) durante o cultivo da soja, de 15 de setembro a 15 de abril, o fotoperíodo do ambiente está acima do valor crítico de 11,88 horas, limitando a taxa de desenvolvimento das plantas, ou seja, atrasando o florescimento. Para o grupo de maturação 3 (utilizado em latitudes maiores do que as observadas no Brasil), em Rio Verde-GO, e Balsas-MA, o fotoperíodo do ambiente é inferior ao crítico (13,40 horas) durante todo o ano, resultando em taxa máxima de desenvolvimento, ou seja, o início do florescimento é acelerado. Já em Cruz Alta-RS, entre 15 de novembro e 1º de fevereiro, a taxa de desenvolvimento é menor, pois o fotoperíodo do ambiente está acima do crítico, atrasando, assim, o florescimento.

A temperatura do ar afeta a duração do ciclo, uma vez que esta afeta a velocidade das reações metabólicas da planta. Para que uma determinada fase de desenvolvimento da cultura da soja seja completada é necessário que as

plantas acumulem as unidades térmicas ou os graus-dias requeridos, que de forma simplista são obtidos pela subtração da temperatura basal inferior da cultura da temperatura média diária do ar. Apesar dos processos fisiológicos das plantas de soja associados ao fotoperíodo e à temperatura do ar serem distintos, é a interação de ambos que irá definir o ciclo do cultivar, nas latitudes mais altas. Nas regiões produtoras situadas em baixas latitudes, como no Maranhão, Piauí e Pará, onde o fotoperíodo está sempre abaixo do valor crítico, as fases fenológicas e o ciclo da cultura da soja são basicamente afetados pela soma térmica. Já nas latitudes mais altas, a soma térmica é definida pela taxa de desenvolvimento controlada pelo fotoperíodo do ambiente e o crítico da cultura, de forma quantitativa.

A interação entre fotoperíodo, temperatura do ar e grupo de maturação fica evidenciada na Figura 4b ao se simular a duração total do ciclo da soja para três cultivares de diferentes grupos de maturação, em localidades situadas entre as latitudes de 8° a 31° S, semeadas em 15 de novembro. Nesse caso, o período entre a semeadura e a colheita variou, de um modo geral, de 85 a 165 dias, dependendo do local (latitude) e do grupo de maturação, porém, oscilando de 85 a 115 dias na latitude de 8° S e de 130 a 165 dias na latitude de 31° S. Estudo de

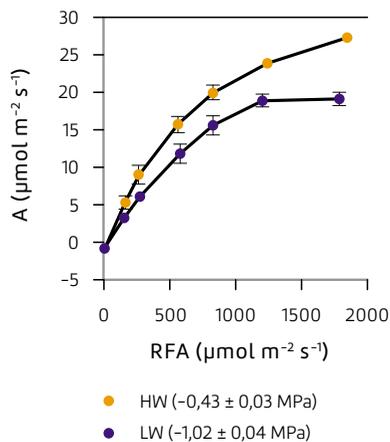
Camargo et al. (1987) mostra esse efeito claramente para diferentes cultivares de soja, para as quais o total de graus-dia, acima da temperatura basal inferior de 14°C varia com a época de semeadura, efeito clássico dessa interação.

Normalmente, regiões com temperatura do ar menor que 10°C ou maior que 40°C são impróprias ao cultivo da soja, já que as baixas temperaturas limitam o crescimento e o desenvolvimento das plantas e as altas temperaturas promovem danos à floração, reduzindo a capacidade de retenção de legumes, principalmente se isso coincidir com a ocorrência de déficit hídrico. A faixa ótima de temperatura do ar para o crescimento e desenvolvimento da soja, em que se obtém máxima fotossíntese líquida (balanço entre a fotossíntese bruta e a taxa de respiração de manutenção), se encontra entre 20°C e 30°C (Embrapa, 2011), porém ainda com altos níveis de produção de fotoassimilados até 40°C (Boote et al., 1998).

Entre os fatores que regulam a produtividade da soja, a radiação solar é um dos mais importantes já que esta é a fonte de energia para a fotossíntese, estando diretamente relacionada com a latitude do local de cultivo e a época do ano. Casaroli et al. (2007) comentaram que a eficiência do uso da radiação solar pela soja aumenta gradativamente com o aumento das folhas até as fases R1 e R2, chegando

à aproximadamente 1,2 g de matéria seca por MJ de radiação fotossinteticamente ativa interceptada pelo dossel, e que quando a temperatura do ar é extrema pode haver perdas no processo de eficiência do uso da radiação solar, reduzindo a assimilação líquida de CO<sub>2</sub>. Entretanto, quando há aumento da radiação solar em níveis máximos para a cultura da soja, estes mesmos autores comentaram que uma das alternativas da planta para evitar condições de estresse é promover a inclinação das folhas para diminuir a interceptação de energia solar, efeito que é intensificado quando os altos níveis de radiação solar coincidem com condições de baixa disponibilidade hídrica no solo. Kao & Forseth (1992) observaram que plantas cultivadas em boas condições hídricas apresentaram ângulo foliar em torno de 16° em relação à horizontal, enquanto que em condições de deficiência hídrica esse ângulo foi de 37°, reduzindo, assim, a radiação interceptada.

No Brasil, a disponibilidade de radiação solar para a cultura da soja não é um aspecto que restringe o cultivo, já que devido à localização geográfica do país, entre 5° N e 30° S, os níveis de energia radiante durante a época do ano em que o ciclo da cultura da soja ocorre é satisfatório. Apesar de não ser restritiva, a radiação solar, juntamente com a temperatura e o fotoperíodo, são fatores que determinam o nível da produtividade potencial que a cultura poderá atingir. Como as condições de radiação



**Figura 5** – Fotossíntese bruta acumulada (A) em função da radiação fotossinteticamente ativa (RFA) em folhas de soja em condições de alto (HW) e baixo (LW) potencial de água na folha, a 30°C, com déficit de pressão de vapor de 10 mmol/mol e concentração de CO<sub>2</sub> de 350 ppm. Fonte: Adaptado de Kao & Forseth (1992)

solar, temperatura e fotoperíodo variam entre localidades e épocas de semeadura, a produtividade potencial também irá variar. A importância da radiação solar, principalmente na fase reprodutiva da cultura da soja, tem sido bastante questionada, uma vez que a redução de produtividade em algumas áreas tem sido associada aos períodos excessivamente nublados na fase de enchimento de grãos. Em experimentos conduzidos pela Fundação MT, avaliando seis cultivares

de soja sob quatro diferentes níveis de sombreamento, foi observado interação entre cultivar e nível de sombreamento para a definição das produtividades. As cultivares TMG 1180 RR e TMG 2187 IPRO foram as únicas para as quais o tratamento não sombreado (NS) apresentou produtividade superior aos tratamentos sombreados, os quais, por sua vez, foram semelhantes entre si (Tabela 1). No entanto, as cultivares P98Y51 RR e TMG 132 RR sob tratamento sombreado apresentaram redução significativa da produtividade em relação ao tratamento NS, mas apenas quando uma redução de 30% da radiação solar foi aplicada nas fases de R1 a R3 e de R5.1 a R5.3. Para a cultivar BMX Desafio RR não houve diferença estatisticamente significativa entre os diferentes tratamentos, enquanto que para a cultivar Anta 82 RR, houve diferença significativa somente entre os tratamentos sombreados S1 e S2 (Tabela 1).

Os resultados apresentados na Tabela 1 demonstram que, por meio das interações observadas, apenas a intensidade da radiação solar não define a redução de produtividade, pois, no caso da cultivar Anta 82 RR, a redução da radiação solar entre as fases reprodutivas R1 a R3 resultou em maior produtividade do que o tratamento sem sombreamento (NS). Outros aspectos, como a disponibilidade hídrica e a temperatura do ar, interagem com a radiação solar e afetam a produtividade da soja, sendo necessário analisar o ambiente como um todo e não apenas como uma variável isolada. Nesse caso, quando há redução da intensidade da radiação solar há também redução da demanda hídrica (evapotranspiração) e da temperatura da cultura, o que retarda o estresse hídrico das plantas, as quais ficam mais tempo com taxas mais elevadas de fotossíntese. Quando há redução do potencial hídrico da planta, resultante da limitação na disponibilidade de água no solo, a planta inicia mecanismos para reduzir o consumo. Essa redução causa decréscimo de produtividade, como ilustrado na Figura 5, na qual é mostrado que plantas de soja cultivadas com baixa disponibilidade de água no solo (LW) reduzem sua taxa fotossintética em até 10 µmol/m<sup>2</sup>/s, em relação àquelas cultivadas

**Tabela 1** – Desdobramento<sup>1</sup> da produtividade de grãos de diferentes cultivares de soja submetidas à quatro diferentes condições de sombreamento, em Rondonópolis-MT, na safra de 2014/2015

Cultivares	Sombreamento <sup>(2)</sup>			
	NS	S1	S12	S2
	Produtividade de grãos (kg/ha)			
BMX Desafio RR	2.409 a A	2.797 a A	2.744 a A	2.469 a A
Anta 82 RR	2.716 ab AB	3.008 a B	2.691 a AB	2.475 a A
TMG 1180 RR	3.223 b B	2.763 a A	2.763 a A	2.741 ab A
P98Y51 RR	3.305 c B	2.913 a AB	2.785 a A	3.080 b AB
TMG 132 RR	3.162 bc B	2.771 a AB	2.353 a A	3.020 b B
TMG 2187 IPRO	3.338 c B	2.643 a A	2.513 a A	2.706 ab A

Nota: <sup>(1)</sup> A análise de variância mostrou interação significativa entre os fatores ao nível de 1%. As mesmas letras minúscula na coluna e maiúsculas na linha não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. <sup>(2)</sup> NS= não sombreado, S1= sombreamento de 30% entre as fases reprodutivas R1 e R3; S12= sombreamento de 30% entre as fases reprodutivas R1 e R3 e entre R5.1 e R5.3; S2= sombreamento de 30% entre as fases reprodutivas R5.1 e R5.3. Fonte: Fundação MT (n.p.).

com boa disponibilidade hídrica no solo (HW) (Kao & Forseth, 1992).

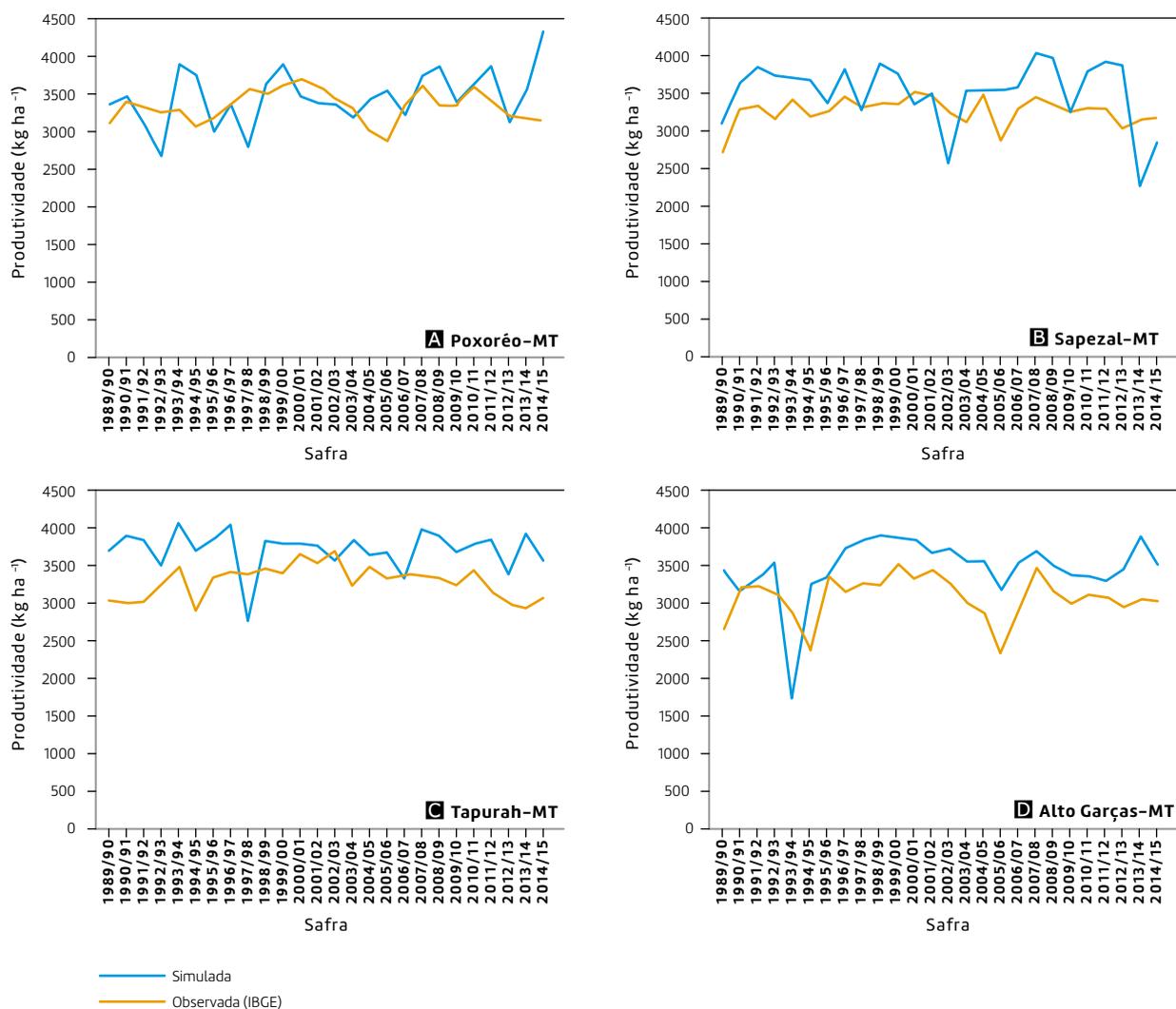
Embora haja efeito da temperatura do ar, do fotoperíodo e da radiação solar na definição da produtividade potencial da soja, a baixa disponibilidade de água no solo e o déficit hídrico resultante desta, ao longo do ciclo, são os fatores que mais penalizam a produtividade desta cultura no Brasil (Sentelhas et al., 2015), principalmente quando esse déficit ocorre na fase reprodutiva. A baixa disponibilidade hídrica leva à redução do potencial hídrico da planta que acarreta em redução da produtividade devido ao desencadeamento de processos que visam reduzir a transpiração, como o fechamento estomático, para diminuir a perda de água (Gilbert et al., 2011), alterar

o ângulo foliar, que reduz a absorção de radiação solar, e promover a senescência das folhas (Casaroli et al., 2007), condições essas que causam a redução da absorção do CO<sub>2</sub>, da taxa de fotossíntese (Kao & Forseth, 1992) e, consequentemente, da produtividade da cultura.

### 3. Análise de sensibilidade da produtividade de soja ao clima

Haja vista que as condições climáticas, ao longo do ciclo da cultura da soja, afetam diretamente a produtividade é importante explorar o ambiente de produção de forma eficiente; o que possibilitará a redução dos riscos de perdas

na produção. Sendo assim, é necessário identificar os principais fatores climáticos limitantes à cultura. Essa análise pode ser feita com o auxílio de modelos de simulação de crescimento e produtividade de cultura. Neste caso, foi utilizado o modelo DSSAT-CROPGRO-Soybean (Battisti, 2016), para avaliar as respostas da cultura às condições climáticas; o que possibilitará a elaboração de estratégias de manejo. Os modelos de simulação de culturas são uma representação aproximada de um sistema agrícola, no qual o crescimento, o desenvolvimento e a produtividade podem ser estimados a partir de variáveis do ambiente (clima e solo), da cultura e do manejo, gerando resultados extremamente úteis para a avaliação dos riscos de perdas de produ-

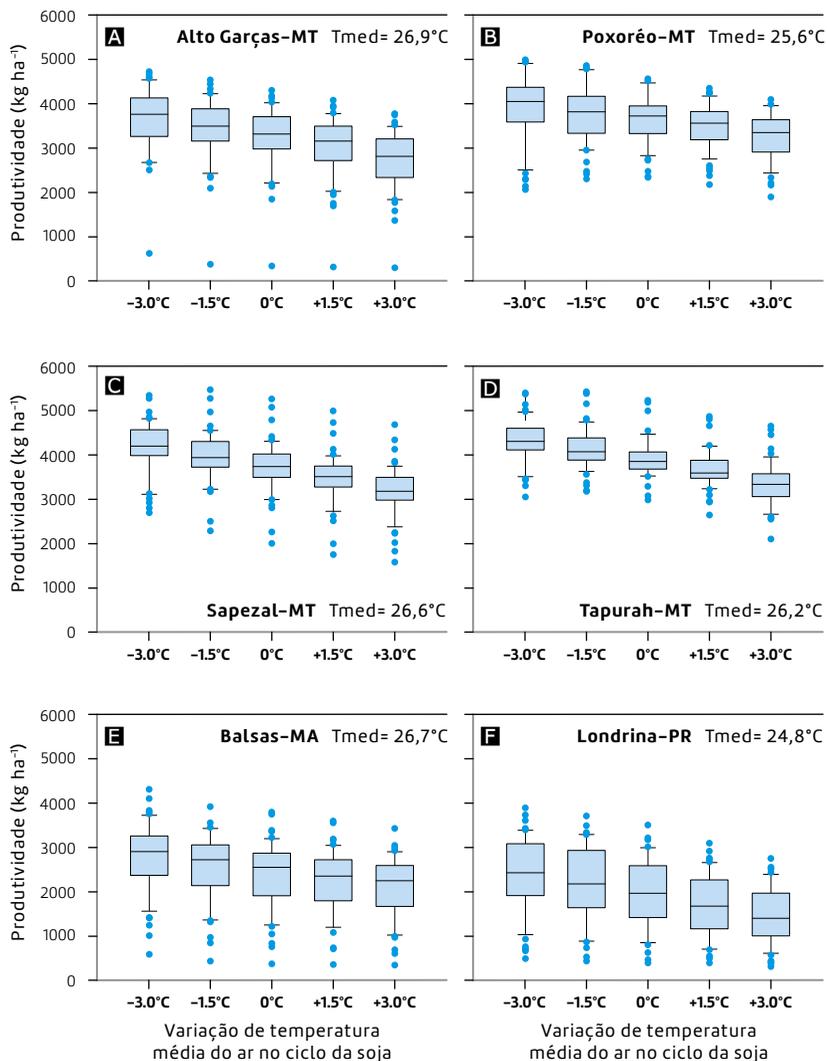


**Figura 6** – Produtividade de soja, simulada pelo modelo DSSAT-CROPGRO-Soybean e obtida junto ao IBGE (2016) (observada), para quatro localidades do estado do Mato Grosso (Poxoréo, Sapezal, Tapurah e Alto Garças), entre as safras de 1990/1991 e 2014/2015

tividade. A principal vantagem dos modelos de simulação de culturas é a possibilidade de extrapolar os resultados de um local, ou de alguns experimentos, para inúmeros locais e anos de simulação, analisando as condições sob o enfoque da variabilidade climática e deste modo permitindo definir estratégias de manejo com base na probabilidade de ocorrência de certas condições.

Para a correta utilização dos modelos de simulação de culturas, os mesmos devem ser calibrados e avaliados para as condições da cultivar de interesse e do ambiente de produção, por meio de ajustes de parâmetros que representam o crescimento e o desenvolvimento da cultivar a ser empregada. A calibração é o processo de alteração de um parâmetro ou coeficiente do modelo, pelo teste de diferentes valores, até que se obtenha o melhor desempenho, ou seja, o menor erro entre os valores observados nos experimentos de campo e nos experimentos simulados pelo modelo, considerando variáveis como a biomassa total, a produtividade e as datas da ocorrência de floração e maturação. Após a calibração do modelo, com base em dados experimentais independentes procede-se a validação, processo que verifica se as simulações realizadas representam o sistema proposto e se o mesmo responde de forma adequada às condições de contorno local. Detalhes sobre os processos de calibração e validação de modelos de simulação da cultura da soja podem ser obtidos em Battisti (2016) e Battisti et al. (2017a).

Para verificar o desempenho do modelo DSSAT-CROPGRO-Soybean, utilizado para as condições do Mato Grosso, foi realizada a simulação de produtividade entre as safras de 1990/1991 e 2014/2015, para quatro localidades do estado: Poxoréu; Sapezal; Tapurah; e Alto Garças. Os resultados simulados foram comparados com os dados obtidos junto ao IBGE (2016), removendo a tendência tecnológica para esse período, conforme proposto por Heinemann & Sentelhas (2011). Na Figura 6 é mostrado que houve uma forte tendência de os resultados simulados seguirem os dados de produtividade de soja observados a partir da média obtida pelos produtores rurais, representando o efeito



**Figura 7** – Produtividade de soja, simulada pelo modelo DSSAT-CROPGRO-Soybean, para diferentes cenários de variação da temperatura do ar (-3°C, -1.5°C, +1.5°C e +3°C), em relação à temperatura média atual para as seis localidades, sendo quatro no Estado do Mato Grosso, uma no Estado do Maranhão e uma no Estado do Paraná. Os pontos indicam os outliers e as barras indicam os percentis de 10%, 25%, 50%, 75% e 90%, com base na simulação de 55 safras (de 1961/1962 a 2015/2016)

climático sobre a produtividade. Para os anos em que houve discrepância entre os valores, outros fatores podem ter atuado, como as diferenças nas janelas de semeadura, ciclo da cultivar empregada e outras perdas decorrentes da ação de pragas, doenças e plantas daninhas, não computadas pelo modelo (Sentelhas et al., 2015; Battisti, 2016).

Os modelos de simulação de culturas, uma vez calibrados e validados, podem ser empregados para avaliar a resposta da produtividade às condições meteorológicas por meio de alterações gradativas das variáveis de entrada, procedimen-

to conhecido como análise de sensibilidade. O resultado dessa análise é a variação da produtividade pela alteração da variável de entrada. Neste contexto, para entender o efeito do clima sobre a produtividade da soja, foi realizada uma análise de sensibilidade, onde foi alterada a temperatura do ar, a radiação solar e a quantidade de chuva para as quatro localidades do Estado do Mato Grosso, uma no Estado do Maranhão e uma no Estado do Paraná, utilizando a profundidade máxima do sistema radicular de 60 cm. Como pode ser observado na Figura 7, o aumento da temperatura do

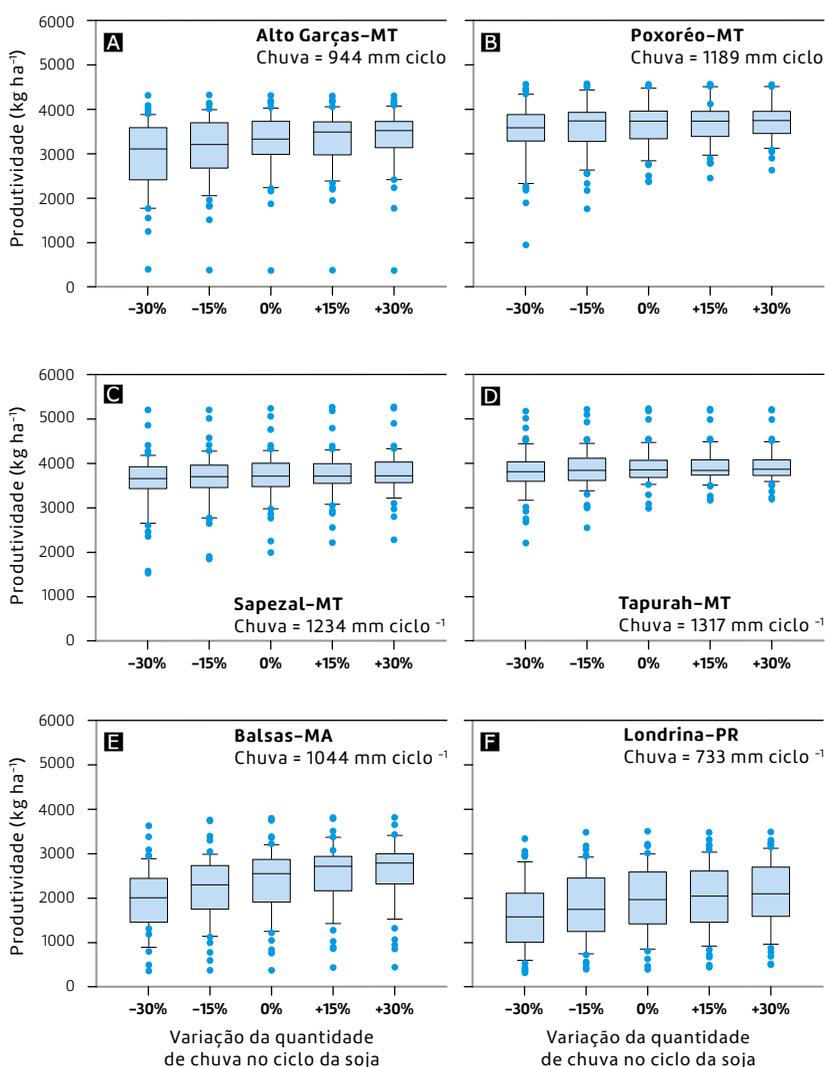
ar causou redução na produtividade da soja para todas as localidades, enquanto que a redução da temperatura do ar resultou em aumento de produtividade. O efeito observado ocorreu em função das localidades analisadas apresentarem temperaturas médias, ao longo de todo o ciclo da soja, acima de 24,8°C. Valores acima desse levam a uma maior taxa de evapotranspiração; resultando, assim, em maiores níveis de déficit hídrico e gerando perdas de produtividade, enquanto que as temperaturas mais amenas proporcionaram menores perdas por estresse hídrico. Além disso, o aumento da temperatura reduz a duração do ciclo da soja, afetando negativamente a produtividade potencial, já que a cultura terá um menor período de crescimento (Carmargo et al., 1987). Alterações também podem ser observadas na taxa fotossintética, a qual responde à temperatura do ar (Boote et al., 1998).

Em relação à variação do nível total de chuva durante o ciclo da soja, observa-se um padrão diferenciado entre as localidades avaliadas (Figura 8). Em Alto Garças (Figura 8a), Poxoréo (Figura 8b), Tapurah (Figura 8d) e Balsas (Figura 8e) houve um aumento na variação da produtividade quando foi simulada uma redução de 30% na quantidade de chuva, e a partir desse ponto, houve um aumento gradativo da produtividade com redução da variabilidade. Em Londrina-PR (Figura 8f), também foi observado aumento gradativo de produtividade, mas mesmo com o aumento de 30% na quantidade de chuva, houve uma grande variabilidade na produtividade; demonstrando, assim, que a frequência de dias com chuva é o fator mais limitante (variável que não foi alterada nesse estudo), gerando maior variabilidade na produtividade da soja. Na localidade de Sapezal (Figura 8c), com exceção dos dados discrepantes (*outliers*), pode ser verificado que a produtividade foi constante, nos cinco níveis de variação de chuva utilizados na simulação.

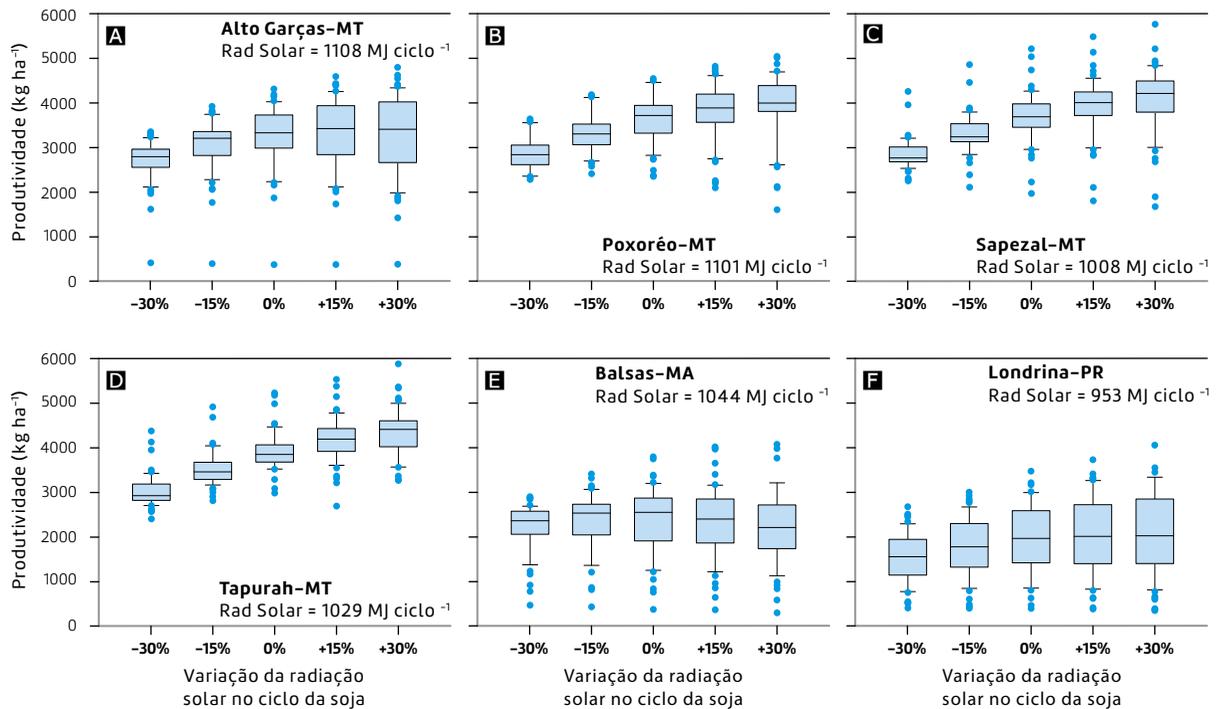
Nos resultados simulados para a alteração da radiação solar, houve interação entre o total diário médio de radiação solar e a disponibilidade hídrica, expressa pelos valores dos percentis (Figura 9). Para as localidades do Mato

Grosso (Figuras 9a, 9b, 9c e 9d), quando a redução da radiação solar foi simulada, houve redução da produtividade, porém com redução da variabilidade interanual para as 55 safras. Situação contrária foi observada com o aumento da radiação solar, quando houve aumento tanto da produtividade quanto da sua variabilidade interanual. Além disso, na condição de maior disponibilidade de radiação solar foram observadas tanto as maiores quanto as menores produtividades (*outliers*). Isso demonstra que em anos com boa disponibilidade hídrica os altos níveis de radiação solar podem

auxiliar na obtenção de altas produtividades, mas que em anos com baixa disponibilidade hídrica, maiores valores de radiação solar resultam em altas quebras de produtividade, decorrentes do maior déficit hídrico ao longo dos ciclos. Para Balsas (Figura 9e), a redução ou o aumento da radiação solar não resultou em alterações expressivas da produtividade da soja, com exceção para o aumento de 30%, que resultou em menor produtividade média e maior variabilidade interanual. Entretanto, em Londrina (Figura 9f), a redução da radiação solar gerou condição semelhante às observa-



**Figura 8** – Produtividade de soja, simulada pelo modelo DSSAT-CROPGRO-Soybean, para diferentes cenários de variação da quantidade de chuva (-30%, -15%, +15% e +30%), em relação à média de cada uma das seis localidades, sendo quatro no Estado do Mato Grosso, uma no Estado do Maranhão e uma no Estado do Paraná. Os pontos indicam os *outliers* e as barras indicam os percentis de 10%, 25%, 50%, 75% e 90%, com base na simulação de 55 safras (de 1961/1962 a 2015/2016)



**Figura 9** – Produtividade de soja, simulada pelo modelo DSSAT-CROPGRO-Soybean, para diferentes cenários de variação da radiação solar (-30%, -15%, +15% e +30%) em relação à média de cada uma das para seis localidades, sendo quatro no Estado do Mato Grosso, uma no Estado do Maranhão e uma no Estado do Paraná. Os pontos indicam os outliers e as barras os percentis de 10%, 25%, 50%, 75% e 90% com base na simulação de 55 safras (de 1961/1962 a 2015/2016)

das nas localidades do Mato Grosso, ao passo que o seu aumento não alterou a produtividade média, mas provocou aumento na variabilidade interanual.

A interação entre radiação solar e disponibilidade hídrica também ficou bem evidenciada nos experimentos conduzidos pela Fundação MT, na safra de 2015/2016, em Nova Mutum-MT, para as cultivares TMG 132 RR e

TMG 2181 IPRO. Pelos resultados apresentados na Tabela 2 observa-se que, para ambas as cultivares, quando houve sombreamento entre as fases reprodutivas R1 e R3, a produtividade observada foi semelhante àquela obtida sob a condição não sombreada (NS). Para ambas as cultivares, no período situado entre as fases reprodutivas R1 a R3 houve baixa disponibilidade hídrica (Figura 10), e

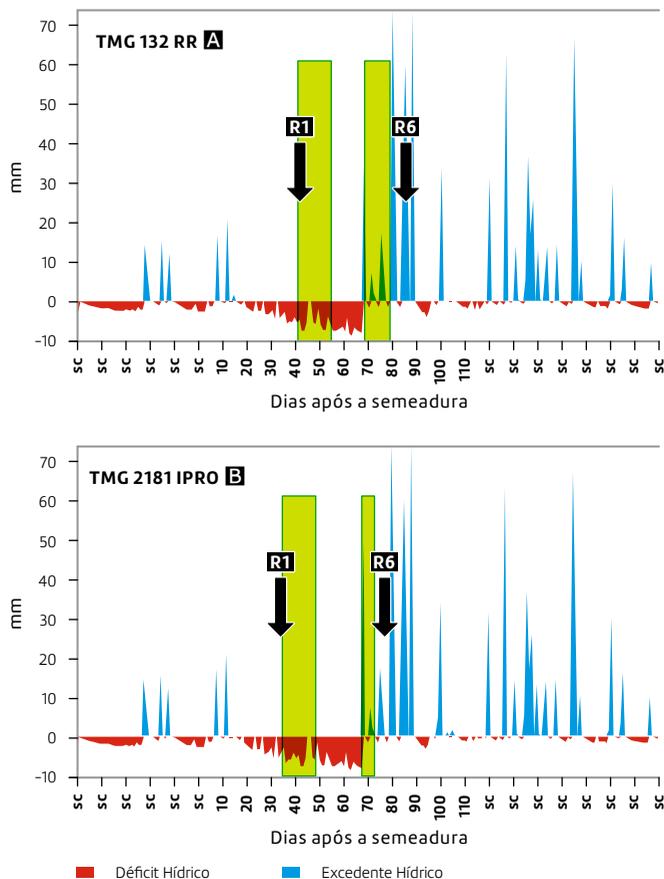
que a redução da radiação solar, nesse caso de 30%, auxiliou na redução da demanda evapotranspirativa e a reduzir as perdas por déficit hídrico. Para os tratamentos NS e S1, a redução da radiação solar causou uma redução da produtividade potencial da ordem de 300 kg/ha, enquanto que as produtividades atingíveis nos diferentes tratamentos diferiram em não mais do que 30 kg/ha (Tabela 2).

Quando o sombreamento da soja ocorreu no período entre as fases R5.1 e R5.3, as condições hídricas eram melhores, com excedente hídrico (Figura 10), fazendo com que o tratamento S2 apresentasse produtividade similar ou inferior aos tratamentos NS e S1 (Tabela 2). Mesmo apresentando maior produtividade potencial, a produtividade atingível para S2 foi inferior ao NS e S1, uma vez que durante o período de redução da radiação solar não houve déficit hídrico. No tratamento S12, as cultivares apresentaram o menor valor para os três tipos de produtividade, mostrando que mesmo com o sombreamento no período de déficit hídrico não houve compensação da perda de potencial de produtividade.

**Tabela 2** – Produtividade observada (PO), obtida em experimento de campo conduzido pela Fundação MT em Nova Mutum, MT, na safra de 2015/2016; produtividade atingível (PA) e produtividade potencial (PP), simuladas utilizando o modelo da FAO – Zona Agroecológica (Battisti, 2013), para duas cultivares de soja submetidas a quatro condições diferentes de sombreamento

Sombreamento <sup>(1)</sup>	TMG 132 RR			TMG 2181 IPRO		
	PO	PA	PP	PO	PA	PP
	Produtividade de grãos (kg/ha)					
NS	2.030 ab*	2.849	5.658	1.988 a	2.006	5.091
S1	2.216 a	2.820	5.387	2.078 a	1.987	4.841
S2	2.162 ab	2.797	5.533	1.736 b	1.964	4.957
S12	1.899 b	2.766	5.261	1.766 b	1.943	4.706

Nota: <sup>(1)</sup> NS = não sombreado; S1 = sombreado entre as fases reprodutivas R1 e R3; S2 = sombreado entre as fases reprodutivas R5.1 e R5.3; S12 = sombreado nos períodos abrangidos por S1 + S2. Fonte: Fundação MT (n.p.); \*Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

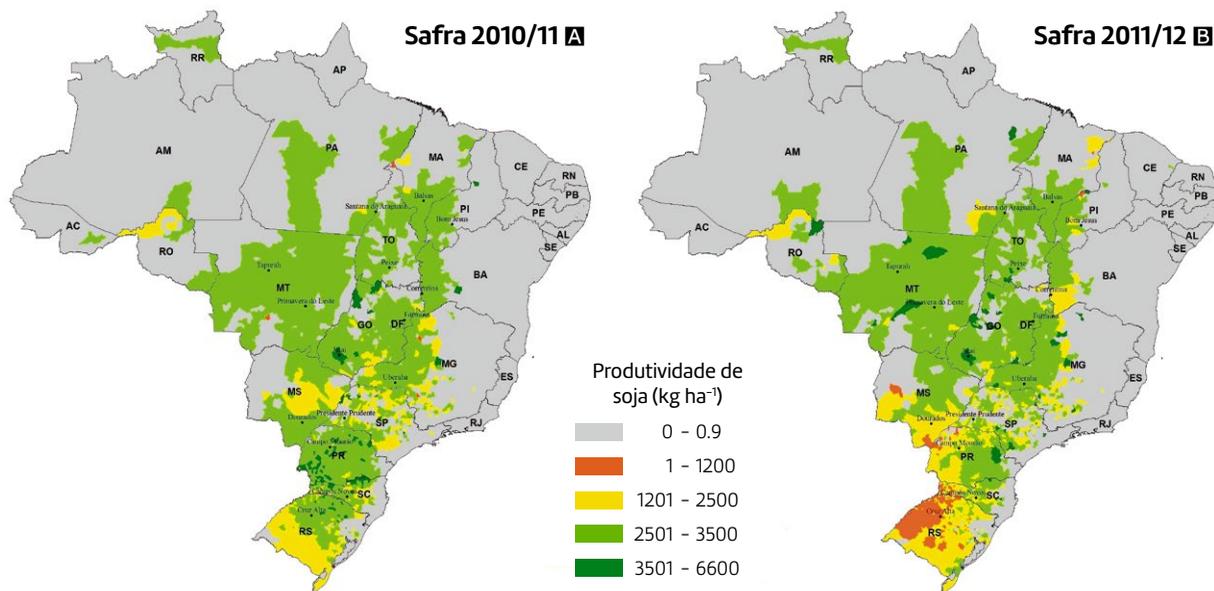


**Figura 10** – Extrato do balanço hídrico climatológico para o período em que o experimento em Nova Mutum–MT foi realizado, durante a safra 2015/2016 para duas cultivares: **A**) TMG 132 RR e **B**) TMG 2181 IPRO. Essa condição representa o tratamento sem sombreamento (NS), e os quadros verdes os períodos em que a cultura da soja foi sombreada. (sc = sem cultura)

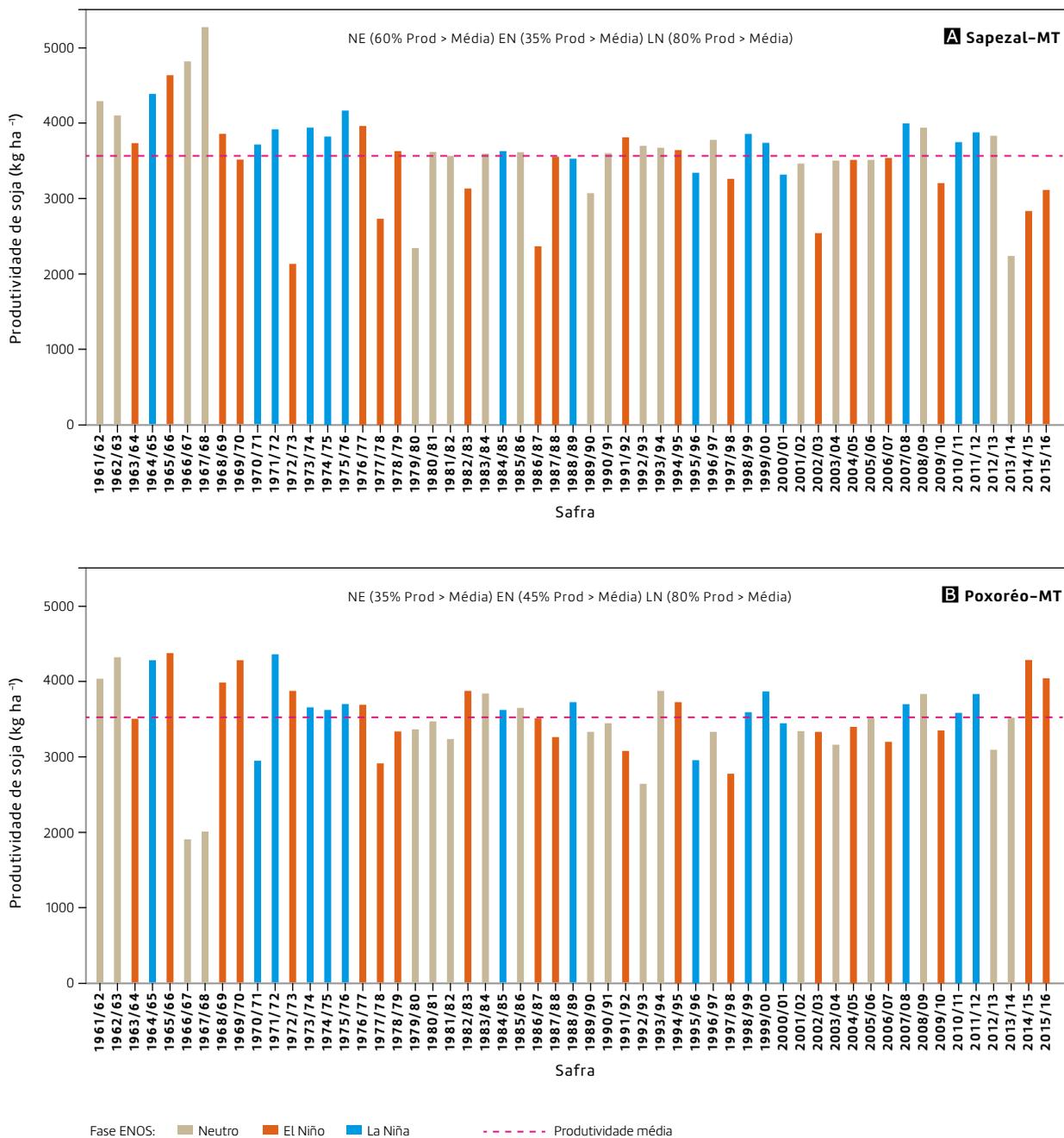
## 4. Variabilidade espacial e temporal do clima e seus efeitos na produtividade da soja

### 4.1. Fenômeno El Niño Oscilação Sul (ENOS)

A produtividade da soja é bastante influenciada pela variabilidade das condições climáticas, tanto espacial quanto temporalmente. Um exemplo da importância do clima para a cultura da soja e do efeito da variabilidade climática entre diferentes regiões produtoras pode ser observado na Figura 11, na qual são comparadas as produtividades da soja para as safras de 2010/2011 e de 2011/2012. Para a safra de 2010/2011 (Figura 11a), tida como um ano neutro em relação ao fenômeno El Niño Oscilação Sul (ENOS), em que a precipitação pluvial ocorreu dentro da média esperada (Berlato et al., 2005), houve favorecimento para a cultura da soja, com a produtividade ficando acima de 2.500 kg/ha na grande maioria das regiões produtoras do país. Para a safra de 2011/2012 (Figura 11b), em que houve a manifestação da fase fria do ENOS (La Niña), o que normalmente reduz as chuvas no centro-sul do Brasil (Berlato et al., 2005), houve uma drástica redução de produtividade no Rio Grande



**Figura 11** – Produtividades da cultura da soja obtidas em diferentes municípios e regiões produtoras do Brasil nas safras de 2010/2011 **A**) e 2011/2012 **B**). Fonte: Adaptado a partir de IBGE (2013)



**Figura 12** – Variabilidade interanual da produtividade da soja estimada para os municípios de Sapezal e Poxoréu-MT, bem como de sua relação com os eventos El Niño (EN), La Niña (LN) e neutros (NE). Valores em porcentagem expressam o número de anos em que a produtividade da soja superou a média em cada evento do fenômeno El Niño Oscilação Sul (ENOS). Os valores de produtividade da soja foram estimados com base no modelo apresentado por Battisti et al. (2017b)

do Sul, com as produtividades ficando abaixo de 1.200 kg/ha em grande parte do estado, o que também foi observado no oeste dos estados de Santa Catarina e Paraná e também no sul e no sudeste do Estado do Mato Grosso do Sul.

Apesar dos efeitos dos eventos do ENOS, em algumas regiões do Brasil, o

clima no país não é controlado apenas por esse fenômeno. Há inúmeros outros fenômenos meteorológicos que ocorrem em grande escala e que influenciam o clima no país, o que leva à ocorrência de veranicos nas fases críticas da cultura. Entretanto, estes fenômenos ainda não são bem entendidos para que este

conhecimento possa auxiliar na previsão climática para certas regiões. Dentre esses fenômenos, a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), a Oscilação Decadal do Pacífico (ODP), além da anomalia da temperatura da superfície do oceano Atlântico, são os que mais atuam no país. Essa influência fica mais eviden-

te quando a análise da produtividade simulada é realizada para os municípios de Sapezal e Poxoréo-MT (Figura 12). Os dados apresentados nessa figura mostram que, ao longo de 55 safras, o município de Sapezal esteve em 20 safras sob a influência do El Niño, dos quais 35% dos anos com a produtividade da soja acima da média. Entretanto, em 80% dos anos com eventos de La Niña, a produtividade ficou acima da média, enquanto que para uma condição neutra, em 60% dos anos a produtividade superou a média. Para o município de Poxoréo, as proporções foram de 45%, 80% e 35% com a produtividade acima da média, respectivamente, para os anos com El Niño, La Niña e Neutro. Cabe ressaltar, ainda, que os impactos do ENOS na chuva e, consequentemente, na produtividade da soja variam espacialmente em decorrência da distribuição das chuvas. Exemplo disso pode ser observado nos dois últimos casos de El Niño, nas safras de 2014/2015 e 2015/2016, quando para o município de Poxoréo a produtividade da soja ficou acima da média; enquanto que no município de Sapezal ocorreu o oposto (Figura 12). Esses resultados demonstram a complexidade das relações existentes entre o clima e a produção agrícola e de como o risco de perda de produtividade varia no tempo e no espaço.

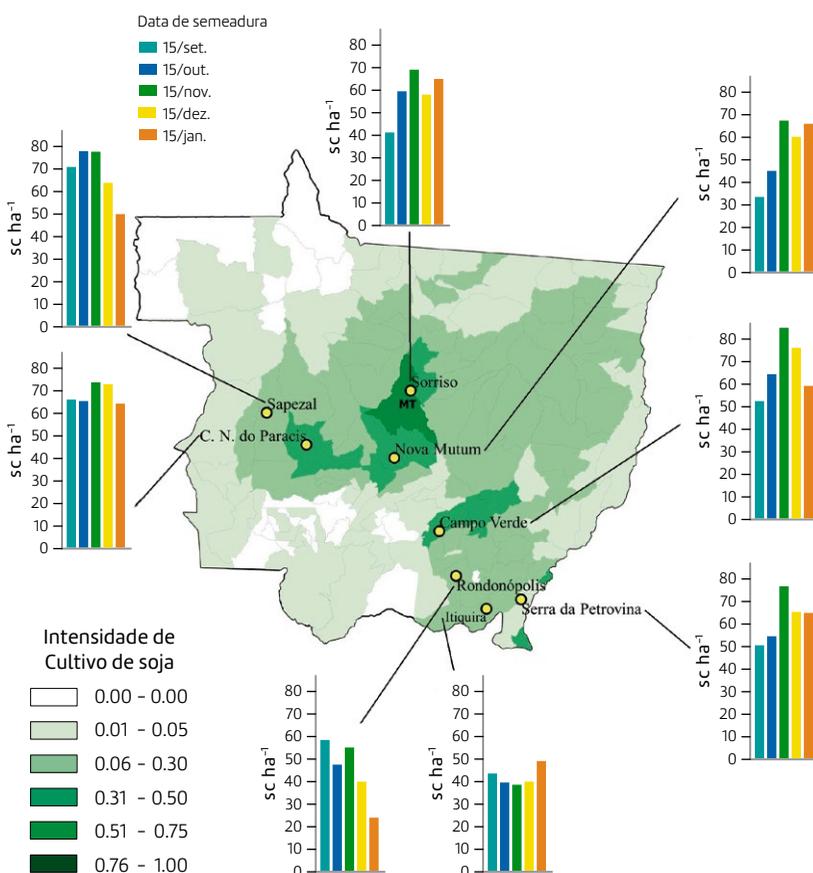
#### 4.2. Análise da Safra de 2015/2016 em Mato Grosso

Com o objetivo de entender a variabilidade climática e o efeito da data de semeadura na produtividade em diferentes regiões produtoras do Mato Grosso foi realizada a simulação da produtividade da soja em diferentes locais para cinco datas de semeadura, sendo: 15/set (ciclo 120 dias), 15/out (ciclo 115 dias), 15/nov (ciclo 110 dias), 15/dez (ciclo 105 dias) e 15/jan (ciclo 100 dias). Na Figura 13 pode-se verificar que há diferentes padrões de variação de produtividade ao longo das datas de semeadura para cada localidade analisada. Em Sorriso e Nova Mutum, a menor produtividade foi observada em 15/Set, com aumento gradativo até 15/Nov, valor próximo à produtividade de 15/Jan, embora em 15/Dez tenha havido uma redução da produtividade em relação a 15/Nov e 15/Jan. Para Campo Verde

e Serra da Petrovina, menores valores de produtividade ocorreram em 15/Set, com aumento gradativo até 15/Nov e com redução para as datas de semeadura subsequentes. Padrão semelhante ocorreu em Sapezal, mas com a data de 15/Jan apresentando a menor produtividade. No caso de Itiquira, houve pouca variação entre as datas de semeadura, apresentando os menores valores de produtividade entre todos os locais, com a média em torno de 40 sc/ha. Já para Rondonópolis, a semeadura de 15/Jan foi a que resultou na menor produtividade, sendo de 25 sc/ha, enquanto que na semeadura 15/Set foi obtida a maior produtividade, seguida por 15/Nov, e com redução para as semeaduras em 15/Out e 15/Dez (Figura 13).

Os padrões de produtividade observados para a soja, semeada em diferentes localidades e datas de semeadura, são funções da interação entre as condições climáticas condicionadas pelas

datas de semeadura e as fases de desenvolvimento da cultivar utilizada. Ao analisar a disponibilidade hídrica, durante o ciclo da soja semeada em Campo Verde e Rondonópolis-MT (Figura 14), e avaliando os resultados anteriores, fica evidente a interação desta com o clima. No caso de Campo Verde, a produtividade da cultura aumentou gradativamente quando a soja foi semeada desde 15 de setembro até 15 de novembro; entretanto, decresceu quando a soja foi semeada em 15 de dezembro e 15 de janeiro (Figura 13). Nessa mesma localidade, as maiores produtividades foram obtidas quando a soja foi semeada entre 15 de outubro e 15 de dezembro, pois as fases reprodutivas coincidiram com períodos de boa disponibilidade hídrica, representado pelo menor déficit hídrico e a ocorrência de excedente hídrico, ou seja, o reservatório de água no solo estava cheio (Figura 14a). Porém, em



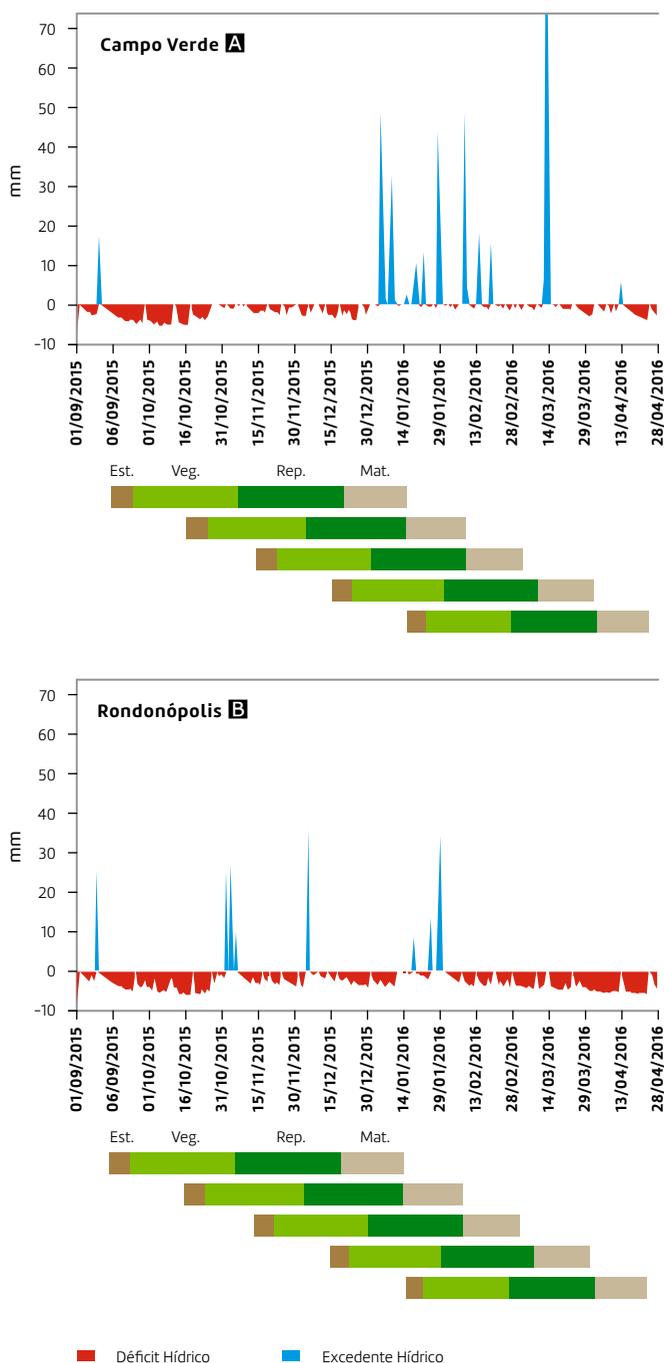
**Figura 13** – Produtividade simulada pelo modelo FAO – Zona Agroecológica, para cinco datas de semeadura de soja, realizadas em oito municípios do Estado do Mato Grosso na safra de 2015/2016

Rondonópolis, a menor produtividade foi obtida quando a soja foi semeada em 15 de janeiro, pois o período reprodutivo da cultura coincidiu com um período de baixa disponibilidade hídrica, com maior déficit hídrico e sem a ocorrência de excedente hídrico no solo (Figura 14b). Cabe ressaltar, que esta análise é apenas para a safra de 2015/2016, e não deve ser levada em consideração para o planejamento com relação à melhor época de semeadura em cada uma dessas regiões.

## 5. Eficiência climática agrícola da soja na safra de 2015/2016 em diferentes regiões brasileiras

Para esta análise foram considerados os tipos de produtividade descritos anteriormente. As produtividades potenciais (PP) e atingíveis (PA) foram estimadas por meio da simulação de produtividade da cultura da soja pelo modelo FAO - Zona Agroecológica (Battisti, 2013; Battisti et al., 2017a); e a produtividade real média (PRm) sob sequeiro foi obtida de duas fontes: a) competição nacional de produtividade de soja, coordenado pelo Comitê Estratégico Soja Brasil (CESB, 2016) que, em alguns casos, pode representar o manejo ótimo; e b) dados de estatísticas oficiais que, para as localidades do Estado do Mato Grosso, foram obtidos junto ao Instituto Mato-grossense de Economia Agropecuária (IMEA). Para as demais localidades foram utilizados os dados provenientes da CONAB (2016), ajustando-se a produtividade para o nível municipal, com base em dados atuais de produtividade obtidos pelo IBGE (2016).

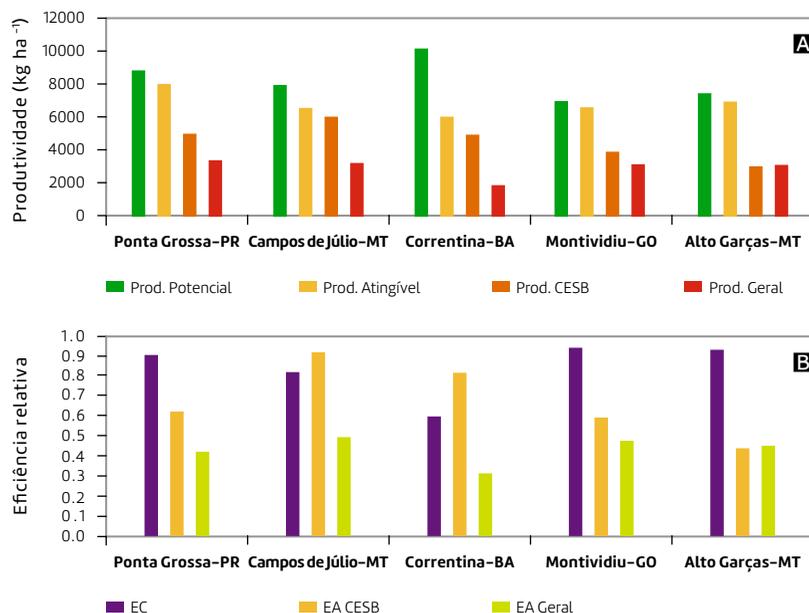
Pelos dados apresentados na Figura 15a pode ser verificado que os valores de PP estão acima de 7.000 kg/ha, alcançando até 10.000 kg/ha em Correntina-BA. Para a PA, obtida pela penalização da PP pelo déficit hídrico ao longo do ciclo, em Ponta Grossa-PR, o valor foi próximo a 8.000 kg/ha, enquanto que nos demais locais os valores variaram entre 6.000 e 7.000 kg/ha. A relação entre PA e PP define a eficiência climática (EC), ou seja, quanto menos a deficiência hídrica afeta a produtividade, maior a



**Figura 14** – Extrato do balanço hídrico para a safra 2015/2016 em Campo Verde **A** e Rondonópolis-MT **B**], considerando-se as fases de desenvolvimento da soja em diferentes datas de semeadura: 15/set (ciclo 120 dias), 15/out (ciclo 115 dias), 15/nov (ciclo 110 dias), 15/dez (ciclo 105 dias) e 15/jan (ciclo 100 dias)

EC. Na Figura 15b pode ser visto que em Ponta Grossa-PR, Montividiu-GO, e Alto Garças-MT, a EC alcançou mais de 90%, enquanto que em Campos de Júlio-MT, a EC foi de 82% e em Correntina-BA, local com maior penalização por déficit hídrico, a EC foi de apenas 60%.

PP e PA são basicamente controlados pela interação genótipo-ambiente, o que faz com que as condições climáticas sejam preponderantes para gerar suas variabilidades interanuais, considerando, entretanto, que o genótipo e as condições físico-químicas do solo não variem de um



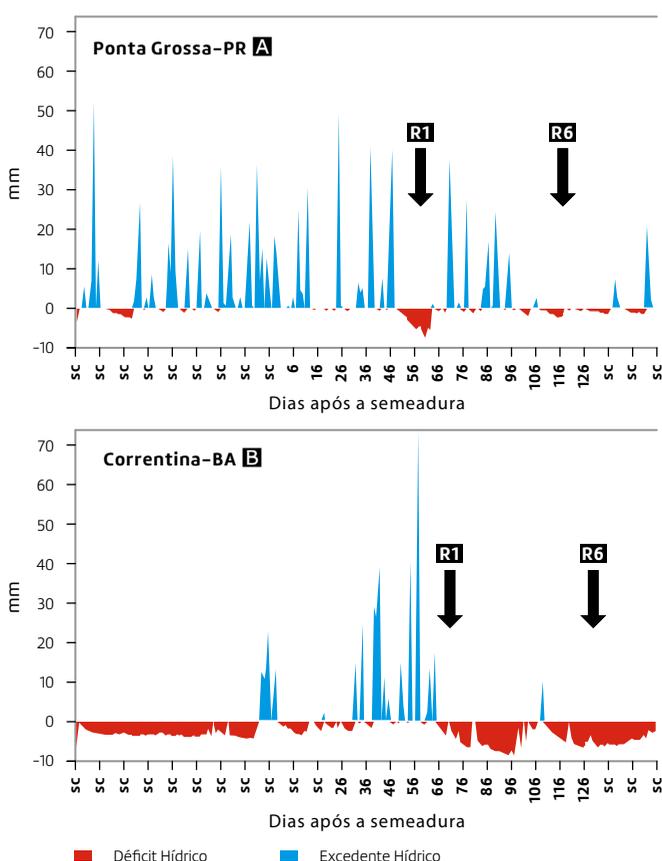
**Figura 15 – Produtividade potencial e produtividade atingível, simuladas com o modelo FAO – Zona Agroecológica (Battisti, 2013); produtividade real, obtida pelo Comitê Estratégico Soja Brasil (CESB); e produtividade real média geral da região obtida junto IMEA, CONAB e IBGE (A). Eficiência climática (EC) e eficiência agrícola (EA) com referência à produtividade real do CESB e da média geral para a safra de 2015/2016, para cinco localidades brasileiras (B)**

As duas áreas (CESB e Geral) apresentam o mesmo nível de eficiência agrícola de 45%. Situação semelhante ocorreu em Montividiu-GO, com eficiência agrícola de 60% e 48%, respectivamente, para a área do CESB e a média geral; deste modo demonstrando a possibilidade de aumento de produtividade que, nesse caso, foi de 40% a 52%.

ano para o outro. Além das condições climáticas, outra fonte de variação da produtividade da soja é o manejo realizado na área de produção, o que pode variar entre localidades e safras, gerando PRm. Na Figura 15a são apresentados os valores de PRm, provenientes, respectivamente, dos campos do CESB (Comitê Estratégico Soja Brasil) e da média dos dados do IMEA, da CONAB e do IBGE, denominada Geral. Com base nos dados da PRm obtidos pelo CESB para Campos de Júlio-MT, campeão de produtividade na Região Centro-Oeste na safra de 2015/2016, a produtividade alcançou 6.000 kg/ha, valor bem superior à média regional de 3.264 kg/ha, resultando em uma eficiência agrícola (EA) de 92% para a área do CESB e de apenas 50% para a média regional. Com base nesses resultados, se conclui que o produtor da área do CESB perdeu apenas 8% da produtividade possível (PA) devido ao manejo agrícola, enquanto que para a média regional, a perda foi de 50%. Já em Alto Garças-MT, os valores observados em área registrada na competição nacional de produtividade são bastante próximos à média regional, de em torno de 3.000 kg/ha, com

as duas áreas (CESB e Geral) apresentando o mesmo nível de eficiência agrícola de 45%. Situação semelhante ocorreu em Montividiu-GO, com eficiência agrícola de 60% e 48%, respectivamente, para a área do CESB e a média geral; deste modo demonstrando a possibilidade de aumento de produtividade que, nesse caso, foi de 40% a 52%.

**Figura 16 – Extrato do balanço hídrico mostrando os déficits e excedentes hídricos diários durante o ciclo da cultura da soja e período sem cultura (sc) nos municípios de Ponta Grossa-PR e Correntina-BA, na safra de 2015/2016**



os produtores de ambos os municípios apresentaram desempenho semelhantes, mas ao se analisar a eficiência agrícola, o produtor de Correntina obteve EA de 82%; enquanto que o produtor de Ponta Grossa atingiu EA de apenas 63%. Isso demonstra, claramente, que o produtor baiano foi capaz de explorar melhor as condições que o ambiente disponibilizou para sua lavoura, por meio de um manejo mais eficiente do que o do produtor de Ponta Grossa.

## Considerações Finais

As condições climáticas, ao longo da safra da soja, têm sido um fator determinante para a obtenção de produtividades satisfatórias. Nesse contexto, a variabilidade climática tem sido responsável pela variação de produtividade entre safras e regiões produtoras, como exemplificado para o Estado do Mato Grosso, onde diferentes padrões e níveis de resposta foram verificados para diversas localidades desse estado. Como as condições climáticas não podem ser controladas ou manipuladas pelo produtor e as incertezas associadas às previsões do tempo e do clima são elevadas, torna-se imprescindível que os produtores e seus agrônomos/consultores conheçam a variabilidade climática da região de cultivo de modo a melhor avaliar os riscos associados ao cultivo da soja em cada região.

A redução do risco climático associado à produção da soja pode ser avaliada por meio dos valores de eficiência agrícola dos produtores. Áreas com alta eficiência agrícola podem atingir produtividades reais que representam até 92% da produtividade atingível da soja; enquanto que nas áreas com menor eficiência agrícola a produtividade real não passa de 50% da produtividade atingível. Desta forma, o clima e sua variabilidade devem ser bem conhecidos e compreendidos para cada ambiente de produção, de modo que ações de planejamento e tomada de decisão possam ser elaboradas/adoptadas para minimizar os riscos para a produção de soja no Brasil, ou seja, explorar a máxima produtividade para a cultura da soja de acordo com que o ambiente permite.

## Referências

- BATTISTI, R. *Calibration, uncertainties and use of soybean crop simulation models for evaluating strategies to mitigate the effects of climate change in Southern Brazil*. 2016. 188f. Tese (Doutorado em Engenharia de Sistemas Agrícolas) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2016.
- 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. 261f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Sistemas Agrícolas) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2013.
- BATTISTI, R.; SENTELHAS, P. C.; BOOTE, K. J. Inter-comparison of performance of soybean crop simulation models and their ensemble in southern Brazil. *Field Crops Research*, Amsterdam, v. 200, p. 28–37, 2017a.
- BATTISTI, R.; SENTELHAS, P. C.; BOOTE, K. J.; CÂMARA, G. M. S.; FARIAS, J. R. B.; BASSO, C. J. Assessment of soybean yield with altered water-related genetic improvement traits under climate change in Southern Brazil. *European Journal of Agronomy*, Amsterdam, v. 83, p. 1–14, 2017b.
- 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.
- BONATO, E. R. *Estresses em soja*. Passo Fundo: EMBRAPA Trigo, 2000, 254p.
- BOOTE, K. J.; JONES, J. W.; BATCHELOR, W. D.; NAFZIGER, E. D.; MYERS, O. Genetic coefficients in the CROPGRO–Soybean model: link to field performance and genomics. *Agronomy Journal*, Madison, v. 95, p. 32–51, 2003.
- BOOTE, K. J.; JONES, J. W.; HOOGENBOOM, G.; PICKERING, N. B. Simulation of crop growth: CROPGRO model. In: PEART, R. M.; CURRY, R. B. *Agricultural systems modeling and simulation*. New York: Marcel Dekker, 1998, p. 651–692.
- 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.
- CASAROLI, D.; FAGAN, E. B.; SIMON, J.; MEDEIROS, S. P.; MANFRON, P. A.; DOURADO NETO, D.; van LIER, W. D. J.; MULLER, L.; MARTIN, T. N. Radiação solar e aspectos fisiológicos na cultura de soja: uma revisão. *Revista da FZVA, Uruguaiana*, v. 14, p. 102–120, 2007.
- CESB – Comitê Estratégico Soja Brasil. *Desafio nacional de máxima produtividade*. Acessado em: 15 jul. 2016. Disponível em: <http://www.cesbrasil.org.br/desafio-da-soja/>
- CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. *Acompanhamento da safra brasileira: grãos, sexto levantamento, março/2016*. Brasília: CONAB, 2016. 135p.
- DEL PONTE E. M.; ESKER, P. D. Meteorological factors and Asian Soybean Rust epidemics – a systems approach and implications for risk assessment. *Scientia Agricola*, Piracicaba, v. 65, p. 88–97, 2008.
- 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. *Tecnologias de produção de soja: região central do Brasil 2012 e 2013*. Londrina: EMBRAPA Soja, 2011. 261p. (Sistemas de Produção, 15).
- 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. p. 261–278.
- 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.
- Fundação MT. *Fundação MT difundirá informações pontuais nas principais regiões produtoras de soja de Mato Grosso e Goiás*. Acessado em: 09 dez. 2012. Disponível em: <http://www.fundacaomt.com.br/noticia>.
- 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 Crops Research*, Amsterdam, v. 124, p. 85–92, 2011.
- HEINEMANN, A. B.; SENTELHAS, P. C. Environmental group identification for upland rice production in Central Brazil. *Scientia Agricola*, Piracicaba, v. 68, p. 540–547, 2011.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Produção Agrícola Municipal*. Acessado em: 15 jun. 2013. Disponível em: <http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/pesquisas/pam/default.asp?o=18&i=P>.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Produção Agrícola Municipal*. Acessado em: 15 set. 2016. Disponível em: <http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/pesquisas/pam/default.asp?o=18&i=P>.
- KAO, W. Y.; FORSETH, I. N. Responses of gas Exchange and phototropic leaf orientation in soybean to soil water availability, leaf water potential, air temperature, and photosynthetic photon flux. *Environmental and Experimental Botany*, Elmsford, v. 32, p. 153–161, 1992.
- MUNDSTOCK, C. M.; THOMAS, A. L. *Soja: fatores que afetam o crescimento e o rendimento de grãos*. Porto Alegre: Evangraf, 2005. 31p.
- SENTELHAS, P. C. *Mudanças climáticas e possíveis estratégias para a produção agrícola*. Palestra realizada na XXXIV Reunião de pesquisa de soja, Londrina, 2014. Acessado em: 30 nov. 2014. Disponível em: <http://www.cnpso.embrapa.br/rps>.
- SENTELHAS, P. C.; BATTISTI, R. Clima e produtividade da soja: efeitos nas produtividades potencial, atingível e real. In: Fundação MT (Org.). *Boletim de pesquisa 2015/2016*, 17. ed. Rondonópolis: Fundação MT, 2015. p. 18–43.
- SENTELHAS, P. C.; BATTISTI, R.; CÂMARA, G. M. S.; FARIAS, J. R. B.; HAMPF, A.; NENDEL, C. The soybean yield gap in Brazil: magnitude, causes and possible solution. *Journal of Agricultural Science*, Cambridge, v. 158, p. 1394–1411, 2015.
- SENTELHAS, P. C.; MONTEIRO, J. E. B. A. Agrometeorologia dos Cultivos: Informações para uma agricultura sustentável. In: MONTEIRO, J. E. B. A. *Agrometeorologia dos cultivos: o fator meteorológico na produção agrícola*. Brasília: INMET, 2009. p. 3–12.

# Cultivares de soja e algodão TMG

# Suas aliadas para ir além da produtividade



Além do alto potencial produtivo, nossas cultivares são desenvolvidas para a sua região com um dos mais precisos posicionamentos do mercado, e têm em sua genética tecnologias que proporcionam maior segurança para enfrentar os desafios do campo.

Saiba mais sobre nossas produtividades e tecnologias, acesse: [www.tmg.agr.br](http://www.tmg.agr.br)

**TMG**  
Tropical Melhoramento & Genética

Além da produtividade