



COMUNICADO
TÉCNICO

106

Londrina, PR
Abril, 2023

Embrapa

Programa de tecnologias para enfrentamento da seca na soja - TESS

José Salvador Simonetto Foloni, Alexandre Lima Nepomuceno, Liliane Márcia Mertz-Henning, José Renato Bouças Farias, Norman Neumaier, Sérgio Luiz Gonçalves, Larissa Alexandra Cardoso Moraes, Henrique Debiasi, Júlio Cezar Franchini, Alvadi Antônio Balbinot Junior, Eliseu Binneck, André Steffens Moraes, Fábio Álvares de Oliveira, Cesar de Castro, Fernando Augusto Henning, Marcelo Álvares de Oliveira, Geraldo Estevam de Souza Carneiro, André Mateus Prando, Ana Cláudia Barneche de Oliveira, André Ferreira Pereira, Maria Cristina Neves de Oliveira

Programa de tecnologias para enfrentamento da seca na soja - TESS¹

¹**José Salvador Simonetto Foloni**, engenheiro-agrônomo, doutor, pesquisador da Embrapa Soja, Londrina, PR; **Alexandre Lima Nepomuceno**, engenheiro-agrônomo, doutor, pesquisador da Embrapa Soja, Londrina, PR; **Liliane Márcia Mertz-Henning**, engenheira-agrônoma, doutora, pesquisadora da Embrapa Soja, Londrina, PR; **José Renato Bouças Farias**, engenheiro-agrônomo, doutor, pesquisador da Embrapa Soja, Londrina, PR; **Norman Neumaier**, engenheiro-agrônomo, doutor, pesquisador da Embrapa Soja, Londrina, PR; **Sérgio Luiz Gonçalves**, engenheiro-agrônomo, doutor, pesquisador da Embrapa Soja, Londrina, PR; **Larissa Alexandra Cardoso Moraes**, engenheira-agrônoma, doutora, pesquisadora da Embrapa Soja, Londrina, PR ; **Henrique Debiasi**, engenheiro-agrônomo, doutor, pesquisador da Embrapa Soja, Londrina, PR; **Júlio Cezar Franchini**, engenheiro-agrônomo, doutor, pesquisador da Embrapa Soja, Londrina, PR; **Alvadi Antônio Balbinot Junior**, engenheiro-agrônomo, doutor, pesquisador da Embrapa Soja, Londrina, PR; **Eliseu Binneck**, engenheiro-agrônomo, doutor, pesquisador da Embrapa Soja, Londrina, PR; **André Steffens Moraes**, oceanógrafo, doutor, pesquisador da Embrapa Soja, Londrina, PR; **Fábio Álvares de Oliveira**, engenheiro-agrônomo, doutor, pesquisador da Embrapa Soja, Londrina, PR; **Cesar de Castro**, engenheiro-agrônomo, doutor, pesquisador da Embrapa Soja, Londrina, PR; **Fernando Augusto Henning**, engenheiro-agrônomo, doutor, pesquisador da Embrapa Soja, Londrina, PR; **Marcelo Álvares de Oliveira**, engenheiro-agrônomo, doutor, pesquisador da Embrapa Soja, Londrina, PR; **Geraldo Estevam de Souza Carneiro**, engenheiro-agrônomo, mestre, pesquisador da Embrapa Cerrados, Planaltina, DF; **André Mateus Prando**, engenheiro-agrônomo, doutor, pesquisador da Embrapa Soja, Londrina, PR; **Ana Cláudia Barneche de Oliveira**, engenheira-agrônoma, doutora, pesquisadora da Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS; **André Ferreira Pereira**, engenheiro-agrônomo, doutor, pesquisador da Embrapa Cerrados, Planaltina, DF; **Maria Cristina Neves de Oliveira**, licenciada em Matemática, doutora, pesquisadora da Embrapa Soja, Londrina, PR.

Introdução

Os agricultores brasileiros na safra 2021/2022 produziram 123,8 milhões de toneladas de grãos de soja em 40,9 milhões de hectares, em diferentes condições de clima e solo em grande parte do território nacional (Conab, 2022). Em 2022 o Brasil destacou-se como o principal produtor mundial de soja, superando os EUA que produziram 121,5 milhões de toneladas de grãos da oleaginosa em 34,9 milhões de hectares (Estados Unidos, 2022).

A sojicultura nacional vem contribuindo expressivamente para a estabilidade socioeconômica e segurança alimentar da população brasileira há mais de 40 anos. Contudo, os patamares de produtividade da soja poderiam ser bem mais elevados se não existissem os recorrentes veranicos (períodos de vários dias consecutivos com chuva deficitária associada a altas temperaturas e intensa insolação) que limitam o desempenho das lavouras em grande parte das regiões do Brasil.

Além do histórico de perdas por veranicos, as projeções futuras para a soja brasileira, no contexto do aquecimento global, apontam para um cenário de intensificação dos

eventos de seca nas próximas décadas com impactos ainda mais severos às lavouras (Kothari et al., 2022).

Para exemplificar a dimensão dos danos decorrentes da seca na cultura da soja, na Figura 1 estão apresentadas estimativas de frustração de produtividade de grãos da safra 2021/2022 em que houve severa estiagem nos estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná e Mato Grosso do Sul, nos quais foram cultivados 6,4, 0,7, 5,7 e 3,5 milhões de hectares, respectivamente (Conab, 2022). Para mensurar esses prejuízos foram considerados como padrões positivos as médias das cinco maiores produtividades registradas nos referidos Estados nas últimas duas décadas (período: 2001/2002 a 2021/2022), sendo 55, 58, 61 e 60 sc/ha para RS, SC, PR e MS, respectivamente. A partir desses patamares de máximas produtividades alcançadas foram calculadas perdas de 28, 10, 27 e 18 sc/ha para o RS, SC, PR e MS, respectivamente, na safra 2021/22 (Conab, 2022). Portanto, estima-se que a seca desfalcou 179, 7, 154 e 63 milhões de sacas (60 kg) de soja no RS, SC, PR e MS, respectivamente. O montante não produzido de 403 milhões de sacas de soja, ao preço médio de maio/2022 de US\$ 36,79 por saca de 60 kg nos estados supracitados (Conab, 2022; Ipea, 2022), significou dano econômico da ordem de US\$ 14,9 bilhões em apenas uma safra, em cerca de 40% dos 40,9 milhões de hectares ocupados pela cultura no Brasil (Figura 1).

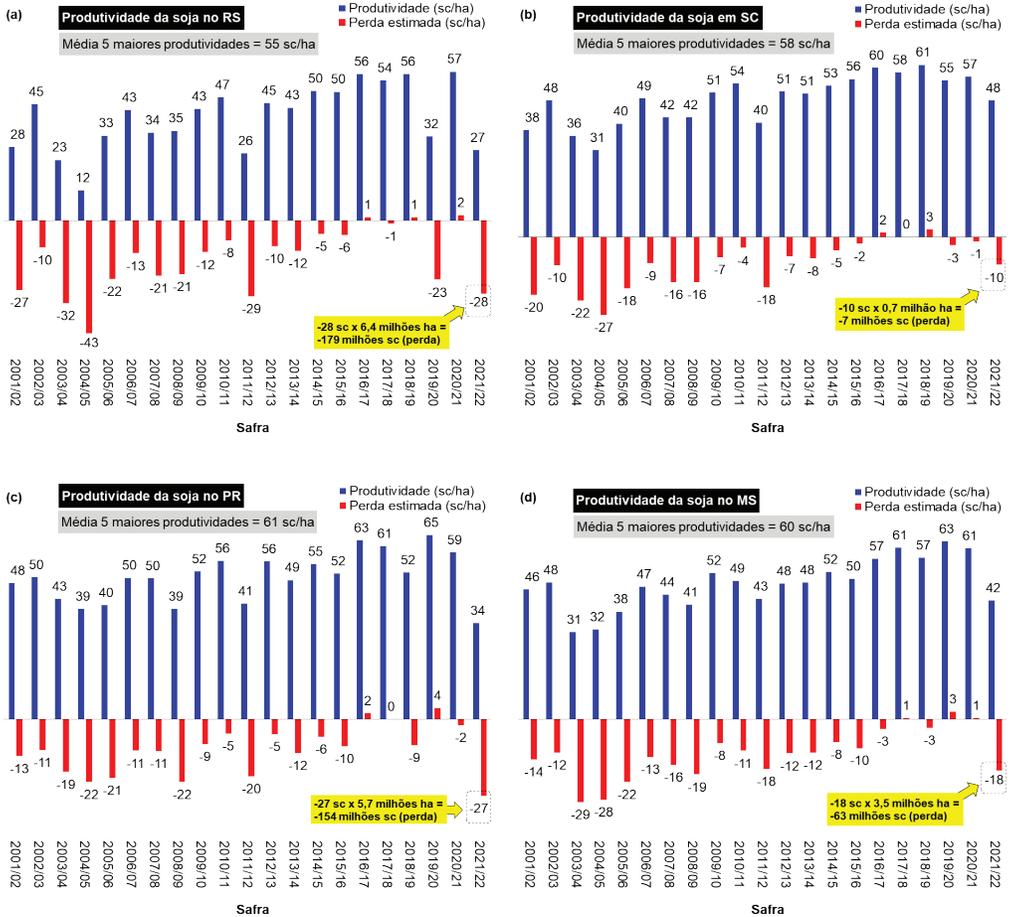
A seca é um problema complexo, de ampla abrangência territorial e tem longo histórico de severos danos causados à sojicultura nacional. Diante desse cenário, a Embrapa munida de sua experiência de mais de 40 anos e visão holística, tem buscado ampliar ações de pesquisa e desenvolvimento (P&D) e de transferência de tecnologia (TT) para mitigar prejuízos decorrentes da seca em sistemas de produção de soja em diversas regiões do Brasil.

O programa de tecnologias para enfrentamento da seca na soja (TESS) está baseado nas seguintes frentes de trabalho:

- Agrometeorologia para definir mapas de zoneamento agrícola de risco climático (ZARC) e distinguir ambientes de produção para recomendação de cultivares e práticas agronômicas;
- Sensoriamento remoto e modelagem ecofisiológica para monitorar lavouras e aferir tecnologias mitigadoras da seca;
- Manejo conservacionista do solo, estratégias de uso de corretivos e fertilizantes e fitossanidade de raízes para ampliar a construção do perfil do solo visando o enraizamento profundo das lavouras e armazenamento de água;
- Edição gênica, fenotipagem e melhoramento genético para acelerar processos de obtenção de cultivares mais tolerantes à seca;

- Fitotecnia e posicionamento agronômico de bioinsumos e fitorreguladores para tornar as lavouras mais resilientes ao déficit hídrico e com elevado potencial produtivo;
- Intensificação da eficiência de uso da água em sistemas irrigados de soja por meio de novas metodologias de monitoramento da oferta hídrica e aprimoramento de práticas de manejo, no contexto da preservação dos recursos hídricos e energéticos;
- Meta-análise e estudos socioeconômicos para validar tecnologias e mensurar impactos dos veranicos em microrregiões sojícolas dos Estados;
- Criação de website (Portal Observatório da Seca na Soja) para a governança de dados e informações sobre mitigação do déficit hídrico na cultura da soja no Brasil e no mundo;
- Unidades de referência tecnológica instaladas em áreas de produtores rurais em diferentes regiões do Brasil para quantificar danos da seca e efetuar difusão de tecnologia;
- Capacitação profissional de extensionistas de instituições pública e privada (cooperativas, associações, empresas, etc.), consultores autônomos e agricultores para fomentar tecnologias mitigadoras do déficit hídrico em sistemas de produção de soja.

O programa TESS é multidisciplinar em sua estrutura de P&D para que haja avanços significativos em várias áreas do conhecimento agronômico, assim como, contempla ampla programação de TT para que a Embrapa e seus parceiros possam ter conexão direta com profissionais que atuam em sistemas de produção de soja em todo o Brasil (Figura 2).



Estado	Produtividade (sc/ha)		Perda (sc/ha)	Área cultivada (ha x milhão)	Prejuízo (safra 2021/2022)	
	Esperada	Real			sc (x milhão)	US\$ (bilhão)
RS	55	27	-28	6,4	179,2	6,6
SC	58	48	-10	0,7	7,0	0,3
PR	61	34	-27	5,7	153,9	5,7
MS	60	42	-18	3,5	63,0	2,3
Total					403,1	14,9

Figura 1. Produtividade de soja registrada e perda estimada, em sc/ha, nas safras de 2001/2002 a 2021/2022 no Grande do Sul (a), Santa Catarina (b), Paraná (c) e Mato Grosso do Sul (d). As colunas em vermelho representam as perdas estimadas de cada safra em comparação às médias das cinco maiores produtividades alcançadas nas 21 safras estudadas. Os quadros em amarelo destacam os prejuízos totais calculados em milhões de sacas de 60 kg na safra 2021/2022. As áreas de soja cultivadas na safra 2021/2022 foram de 6,4, 0,7, 5,7 e 3,5 milhões de hectares no RS, SC, PR e MS, respectivamente (Conab, 2022). Foi considerado o preço médio de maio/2022 de US\$ 36,79 por saca de 60 kg nos estados avaliados (Conab, 2022; Ipea, 2022).

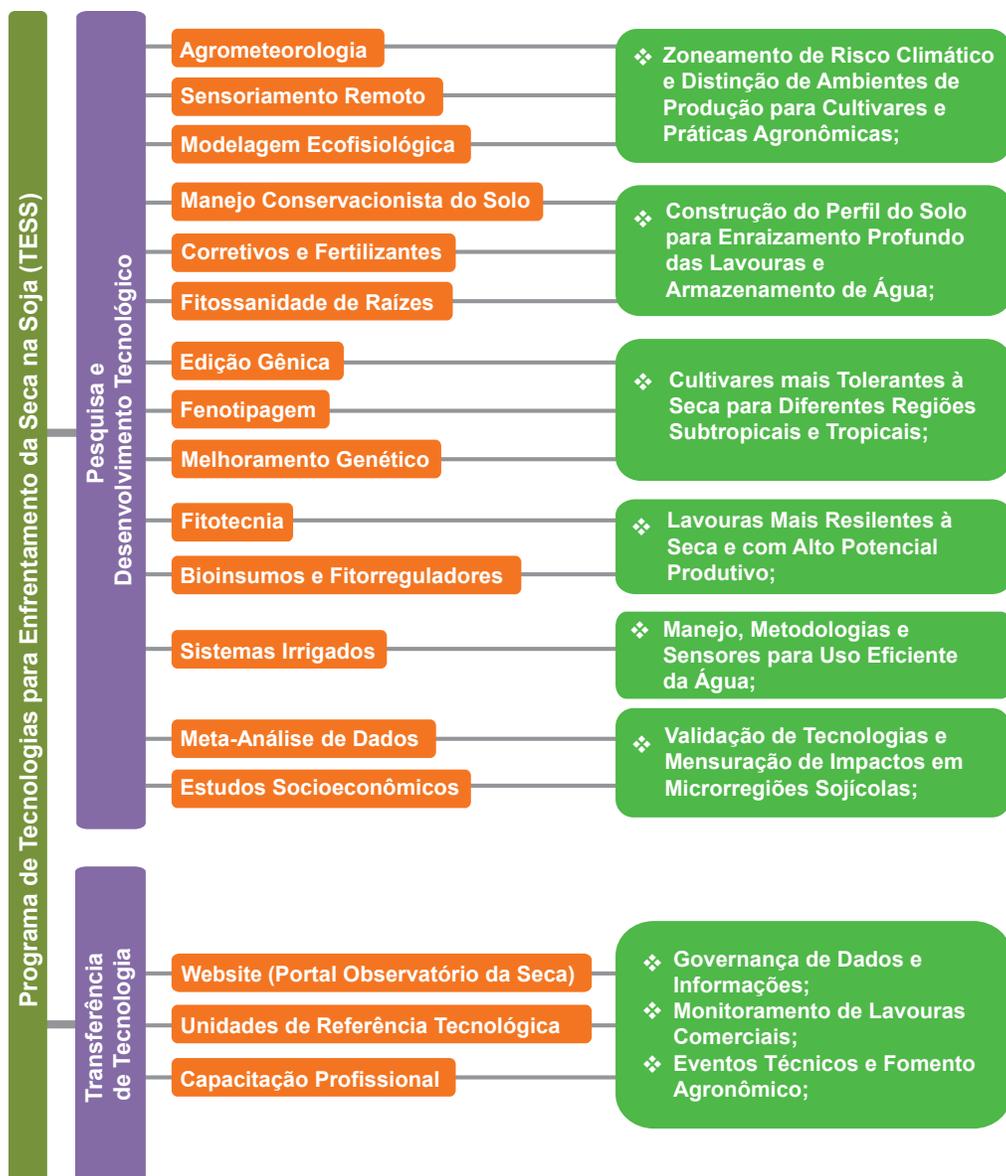


Figura 2. Organograma das frentes de trabalho de pesquisa e desenvolvimento tecnológico e de transferência de tecnologia do Programa TESS da Embrapa.

Agrometeorologia para definir mapas de zoneamento agrícola de risco climático e distinguir ambientes de produção

O déficit hídrico é o principal fator climático que limita o cultivo de soja na grande maioria das regiões subtropicais e tropicais do Brasil. Portanto, o objetivo primordial do zoneamento agrícola de risco climático (ZARC) para a cultura da soja é delimitar áreas e épocas de semeadura para que os agricultores tenham condições de cultivo com as menores probabilidades de perdas de produtividade por seca (Brasil, 2022).

O ZARC determina a frequência de ocorrência do déficit hídrico na fase mais crítica da soja (do florescimento ao enchimento de grãos) em função da época de semeadura, demanda evapotranspiratória da cultura, disponibilidade hídrica do solo e ciclo da cultivar (Brasil, 2022).

Os parâmetros e metodologias para compor o ZARC da soja precisam de constantes avanços. Na atualidade há importante programa de pesquisa da Embrapa para aprimorar os parâmetros de disponibilidade hídrica do solo para a sojicultura, considerando atributos do perfil do solo para além da classe de textura, como o teor de matéria orgânica, nível de acidez, grau de estruturação, taxa de infiltração de água, entre outros (Debiasi et al., 2022).

Há diversos exemplos de áreas de produção comercial em que a classificação do ZARC apontava como condição de alto risco para o cultivo da soja por estarem em solos com texturas mais arenosas, as quais puderam ser reclassificadas como ambientes favoráveis devido a práticas conservacionistas de manejo do solo no âmbito do sistema plantio direto (SPD) que proporcionaram maior crescimento radicular em profundidades elevadas (abaixo de 50 cm), assim como, aumentaram a capacidade de armazenamento de água no perfil.

Diante do desafio de criar ferramentas tecnológicas para o enfrentamento da seca na cultura da soja, a Embrapa tem como meta desenvolver novas metodologias para aferir o incremento da água disponível no solo para a soja em função de níveis de manejo no SPD. O objetivo é aprimorar o ZARC da soja para valorizar agricultores que adotem processos agronômicos conservacionistas que aumentem o armazenamento de água no perfil do solo (Debiasi et al., 2022).

Sensoriamento remoto e modelagem ecofisiológica para monitorar lavouras e aferir tecnologias mitigadoras da seca

O sensoriamento remoto orbital (satélite) e por meio de sensores acoplados a aeronaves não tripuladas (drone, por exemplo) tem mostrado alta performance para caracterizar lavouras de soja. Mensurações de anomalias de plantas têm sido feitas com elevada precisão e os dados gerados vêm sendo usados para compor programas de modelagem ecofisiológica e simulação de ambientes de produção para estimar prejuízos causados pela seca. Somado a isso, há vantagens operacionais do sensoriamento remoto porque a aquisição de dados nas lavouras não é destrutiva, é rápida e de custo relativamente baixo (Crusiol et al., 2021a, 2021b, 2021c, 2023).

Mesmo em um cenário atual de alto desempenho do sensoriamento remoto, enfatiza-se que a soja brasileira precisa de avanços expressivos de metodologias e instrumentos para tornar mais assertivas as estimativas de perdas de rendimento de grãos decorrentes da seca. Essas informações precisam estar disponíveis em tempo real ou em curto prazo para auxiliar processos de tomada de decisão de gestores de lavouras, assim como, para dar suporte ao planejamento estratégico de médio e longo prazo de empresas que atuam na cadeia de produção sojícola (Crusiol et al., 2023).

Conjuntamente ao sensoriamento remoto, há softwares de inteligência artificial de alta performance para tornar mais assertivos e rápidos os processos de análise e de validação de tecnologias agrônômicas. A inteligência artificial tem capacidade de identificar padrões em bancos de dados e efetuar cálculos complexos de interações multifatoriais (variáveis de câmeras multiespectrais, fatores do clima, atributos do solo, indicadores morfofisiológicos de lavouras, etc.).

A inteligência artificial pode aumentar o grau de precisão das modelagens agrometeorológica e ecofisiológica para simulação do desempenho da soja em resposta à seca. Esses modelos de simulação são fundamentais para avaliar o desempenho de tecnologias agrônômicas perante diferentes níveis de déficit hídrico (Kross et al., 2020; Zhai et al., 2020).

No que se refere à aplicabilidade, os programas de modelagem ecofisiológica para simulações de ambientes de produção têm contribuído expressivamente para aferir a capacidade de tolerância à seca de cultivares de soja (Figura 3), assim como, tem potencial para avaliar ganhos agrônômicos de outras tecnologias no âmbito do manejo do solo, fitotecnia, eficiência do uso da água em lavouras irrigadas, entre outros, considerando especificidades de cada região sojícola do Brasil (Crusiol et al., 2021a, 2021b, 2021c, 2023).

Contudo, os programas de modelagem para mitigação da seca na soja precisam ser aprimorados com frequência para que sejam dinâmicos e funcionais quanto à detecção de alterações temporais de variáveis morfofisiológicas da cultura em interação com fatores do ambiente (clima e solo) e do manejo (adubação, fitoreguladores, etc.) (Crusiol et al., 2023).

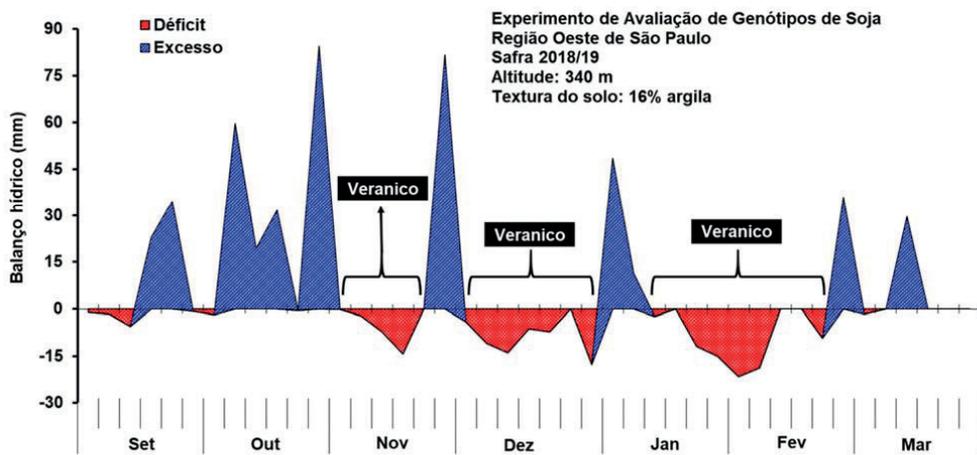


Foto e gráfico: José Salvador Simonetto Foloni



Figura 3. Linhagem de soja tolerante à seca em comparação a uma cultivar padrão de mercado suscetível à seca, em experimento de campo conduzido na região Oeste do Estado de São Paulo na safra 2018/19 em condição de veranicos severos, em altitude de 340 m e solo com teor de argila de 16% (prof. 0-20 cm).

Manejo conservacionista do solo, estratégias de uso de corretivos e fertilizantes e fitossanidade de raízes para ampliar a construção do perfil do solo

O manejo conservacionista do solo no âmbito do sistema plantio direto (SPD) é amplamente reconhecido como uma das principais estratégias para mitigação das perdas de produtividade da soja decorrentes da seca (Figura 4).

Há estratégias de manejo que promovem maior armazenamento de água no perfil do solo em sistemas de produção que envolvem a soja, a saber: (1) aumento do aporte de matéria orgânica e da formação de bioporos a partir de sucessivos ciclos de rotação de culturas (comerciais e de produção de biomassa); (2) controle das perdas de água por escoamento superficial (erosão), diminuição da evaporação da água com palhada e redução da drenagem profunda; e (3) favorecimento da funcionalidade e do aprofundamento das raízes por meio de melhorias da qualidade química, física, biológica e fitossanitária do solo (Debiasi et al., 2020, 2022).

Quanto à qualidade química do solo, a grande maioria das áreas agricultáveis do Brasil apresenta atributos químicos inadequados como elevada acidez, concentrações de alumínio (Al) e/ou manganês (Mn) em níveis tóxicos e deficiência generalizada de nutrientes que restringem o potencial produtivo da maior parte das culturas como a soja (Caires; Guimarães, 2018; Oliveira Junior et al., 2020).

No que se refere ao enraizamento profundo das lavouras de soja, as limitações abaixo de 50 cm no perfil do solo comumente estão associadas a elevados teores de Al e baixos de cálcio (Ca). Ou seja, o efeito tóxico do Al inibe o desenvolvimento das raízes e os baixos teores de Ca também prejudicam o crescimento radicular, porque o Ca não é translocado da parte aérea para as raízes via floema (Caires; Guimarães, 2018; Oliveira Junior et al., 2020; Foloni et al., 2023).

A calagem e a gessagem são tecnologias chave para o manejo de solos ácidos em todo o Brasil, pois, além de reduzirem a acidez, incrementam a atividade microbiana e a disponibilidade de vários nutrientes como o Ca, magnésio (Mg), enxofre (S), fósforo (P) e potássio (K), a um custo relativamente baixo e com retorno econômico positivo (Caires; Guimarães, 2018; Oliveira Junior et al., 2020; Foloni et al., 2023).

No que diz respeito à qualidade física do solo, os atributos diretamente relacionados ao crescimento radicular da soja são a disponibilidade hídrica, resistência mecânica à penetração, temperatura e porosidade de aeração. Contudo, do ponto de vista de estratégias de manejo, o monitoramento do nível de estruturação do solo é fator chave

para se ter diagnóstico adequado da qualidade física porque este atributo é passível de ser rapidamente melhorado por meio de práticas agrônômicas (Ralisch et al., 2017; Moraes; Gusmão, 2021; Debiasi et al., 2022).

Problemas fitossanitários prejudicam severamente o crescimento radicular da soja, os quais, quando acontecem simultaneamente ao déficit hídrico, acarretam em fortes perdas de rendimento de grãos. As raízes da soja sofrem danos principalmente por infecções por fungos, oomicetos e nematoides, e também por insetos-praga. As principais doenças radiculares da soja são as podridões de *Fusarium* spp., *Macrophomina phaseolina*, *Phytophthora sojae* e *Corynespora cassiicola*, além das que são causadas por nematoide-de-cisto (*Heterodera glycines*), nematoides-de-galhas (*Meloidogyne javanica* e *Meloidogyne incognita*), nematoide-reniforme (*Rotylenchulus reniformis*) e nematoide-das-lesões-radiculares (*Pratylenchus* spp.) (Seixas et al., 2020).

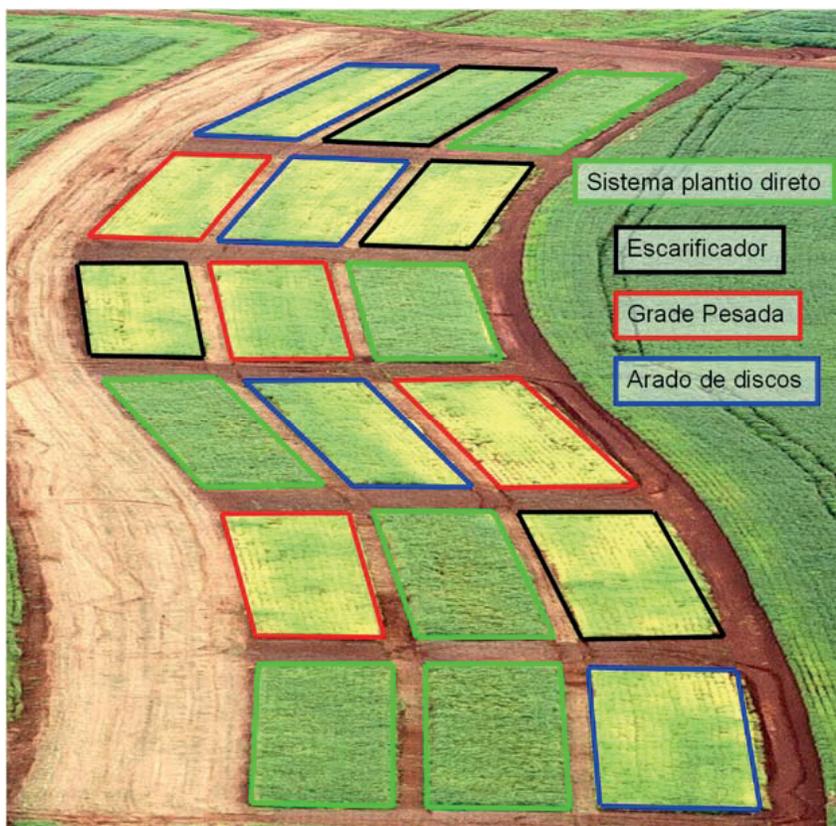


Figura 4. Imagem de experimento de longa duração de soja em função de sistemas de manejo do solo (sistema plantio direto, escarificação, gradagem pesada e aração), na safra 2008/2009 quando houve forte déficit hídrico, em Londrina, PR (Embrapa Soja).

Fonte: Debiasi et al. (2015).

Edição gênica para acelerar processos de obtenção de cultivares mais tolerantes à seca

O desenvolvimento de genótipos de soja tolerantes à seca tem sido meta por décadas de diversos grupos de pesquisa do Brasil e de outros países. Entretanto, isso ainda é desafio. Do ponto de vista do melhoramento genético, a tolerância à seca é definida como característica complexa por ser governada por grande número de genes. Assim, estratégias para obter genótipos tolerantes à seca devem integrar frentes de trabalho de biotecnologia, genômica, fenotipagem e diversos processos de melhoramento (Mir et al., 2012).

A Embrapa em parceria com a instituição japonesa Japan International Research Center for Agricultural Sciences (JIRCAS) tem contribuído de maneira significativa para o avanço genético da soja para tolerância à seca (Figura 5). Destacam-se os resultados de superexpressão dos fatores de transcrição GmDREB2 e GmAREB1 que geraram na soja respostas fisiológicas positivas para mitigar o estresse por déficit hídrico (Barbosa et al., 2013; Leite et al., 2014; Fuganti-Pagliarini et al., 2017; Marinho et al., 2016, 2019, 2022; Caranhato et al., 2022).

Contudo, os avanços obtidos via transgenia nos últimos anos pela Embrapa, com genótipos classificados como geneticamente modificados (GMs), têm tido restrições de uso em lavouras comerciais por causa dos altos custos para regulamentação impostos por países que compram grãos de soja do Brasil.

A edição gênica vem revolucionando a biotecnologia recentemente, tal como o sistema Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeat (CRISPR-Cas) (Jinek et al., 2012). O CRISPR tem demonstrado que há oportunidades para além da transgenia no que se refere à geração de novas cultivares de soja, constituindo-se em uma ferramenta tecnológica de grande potencial para mitigar problemas agronômicos como a seca.

Dependendo das alterações realizadas via CRISPR, se não houver introdução de genes exógenos, as cultivares de soja podem ser consideradas como não transgênicas o que reduz expressivamente o custo e o tempo para liberação comercial, seguindo os mesmos trâmites adotados para cultivares convencionais (não-GMs).

O CRISPR foi implementado em laboratórios da Embrapa nos últimos anos e as primeiras linhagens editadas já estão sendo avaliadas. Um desses exemplos é a planta de soja com silenciamento do gene GmDRIP para tolerância à seca, a qual passou pela consulta da CTNBio em março de 2023 sendo classificada como genótipo não-GM.

A Embrapa tem programação para submeter essas linhagens ao déficit hídrico em experimentos de campo para caracterizações fisiológica e agrônômica e, em seguida, elas passarão por processos de fenotipagem dentro de programas de melhoramento para aferir ganhos genéticos. Adicionalmente, estão sendo desenvolvidas novas linhagens editadas com foco em outros genes que já se mostraram promissores para maior tolerância ao déficit hídrico.

As linhagens de soja não-GMs com maior tolerância à seca podem ser recomendadas como cultivares comerciais e/ou serem utilizadas em cruzamentos para obtenção de novas gerações de cultivares tolerantes à seca, para atender agricultores que atuam em diversas regiões do Brasil onde há ocorrência de déficit hídrico com danos econômicos na cultura da soja.

Foto: Alexandre Lima Nepomuceno

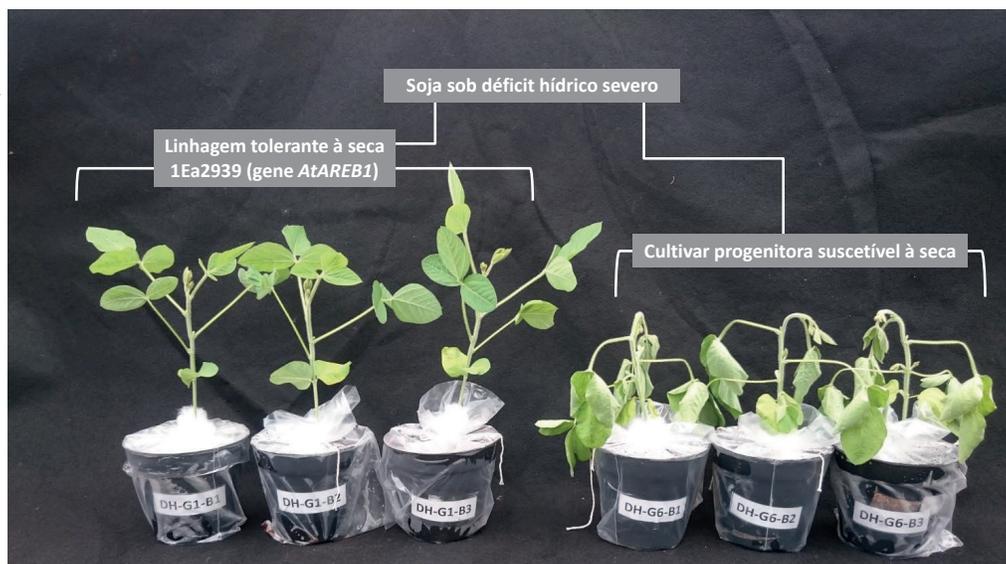


Figura 5. Linhagem de soja transgênica 1Ea2939 (gene AtAREB1) tolerante à seca em comparação à sua progenitora cultivar suscetível à seca, ambas sob a mesma condição de déficit hídrico severo. Experimento em casa de vegetação da Embrapa Soja.

Fenotipagem de larga escala para seleção de genótipos mais resilientes ao déficit hídrico

É consenso nos programas de melhoramento de soja que os métodos atuais de fenotipagem constituem um dos principais entraves à seleção de genótipos para tolerância à seca. A maioria dos protocolos disponíveis são inviáveis para uso em larga escala por englobarem procedimentos de mensuração de variáveis morfofisiológicas demasiadamente laboriosos e demorados. Tecnologias como o uso de drones, sensores e câmeras multiespectrais e termográficas podem contribuir nesse sentido (Honsdorf et al., 2014; Ghanem et al., 2015; Crusiol et al., 2023). Na Figura 6 observam-se imagens aéreas geradas por drone de espectro visível e de sensores termal e de NDVI.

Bancos de dados espectrais coletados nos âmbitos orbital (satélites) e aéreo (sensores acoplados a aeronaves não tripuladas) têm potencial para constituir ferramentas tecnológicas de fenotipagem de larga escala para o melhoramento genético (Zhang et al., 2019; Sakamoto, 2020; Maimaitijiang et al., 2020; Crusiol et al., 2021a, 2021b, 2021c, 2023).

Metodologias de fenotipagem envolvendo o sistema radicular da soja podem se tornar ferramentas de alta eficiência para processos de seleção de genótipos visando a tolerância à seca (Sánchez-Bermúdez et al., 2022). O crescimento radicular em profundidade é característica chave para que uma dada cultivar de soja tenha acesso a maior volume de água no perfil do solo, e assim possa ter maior resiliência (estabilidade) perante o déficit hídrico (Arya et al., 2021).

Além do suporte aos programas de melhoramento, métodos para medir a campo o sistema radicular da soja, desde que sejam rápidos e de baixo custo, podem ter grande valia para definir a capacidade de enraizamento da cultura em estudos de impedimentos físico e químico do solo como, por exemplo, para avaliar a compactação e a acidez (Moraes; Gusmão, 2021; Arya et al., 2021).

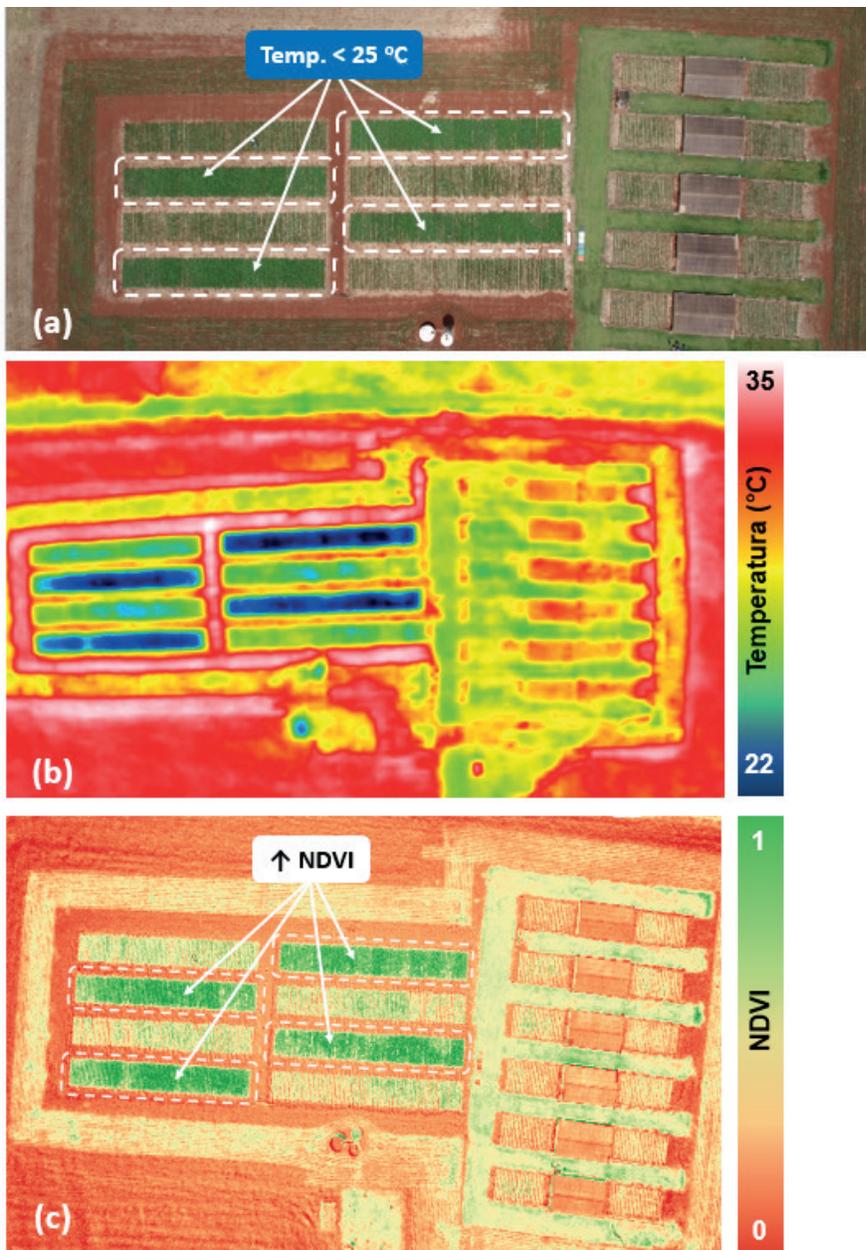


Figura 6. Imagens aéreas geradas por drone do espectro visível (a), de sensor termal (b) e de sensor NDVI (c) de parcelas experimentais de genótipos de soja com diferentes níveis de tolerância à seca submetidos a condições distintas de oferta hídrica (Embrapa Soja, Londrina, PR).

Fitotecnia e posicionamento agrônômico de fitorreguladores e bioinsumos para mitigar danos da seca

Aprimorar procedimentos fitotécnicos na cultura da soja no que se refere à época de semeadura, população de plantas, espaçamento entrelinhas, entre outros, tem por objetivo fazer com que as cultivares expressem ao máximo o seu potencial genético em rendimento de grãos, assim como, para que tenham máxima estabilidade produtiva perante adversidades climáticas como a seca. Contudo, para que os procedimentos fitotécnicos produzam ganhos agrônômicos efetivos, é imprescindível que sejam validados no âmbito da interação entre genótipo, ambiente e manejo (Thompson et al., 2015; Andrade et al.; 2019; Foloni et al., 2022).

O arranjo espacial entre plantas na lavoura de soja é definido em função do espaçamento entrelinhas e da densidade de semeadura, e esses atributos têm influência significativa na competição intraespecífica (entre plantas) por água, luz e nutrientes (Thompson et al., 2015; Andrade et al.; 2019; Foloni et al., 2022). Portanto, alterações no arranjo espacial entre plantas na soja podem aumentar a eficiência de uso da água e, por consequência, ampliar a resiliência (estabilidade) da cultura perante o déficit hídrico.

Nos últimos anos no Brasil tem aumentado o registro de produtos sintéticos e bioinsumos que têm capacidade de mitigar estresses decorrentes de fatores climáticos (déficit hídrico, altas temperaturas, etc.) na cultura da soja (Agrofit, 2022).

Porém, diferentemente de produtos fitossanitários que têm critérios de uso baseados em monitoramento e mensuração do nível de dano econômico, ou fertilizantes que são indicados para suprir deficiências nutricionais diagnosticadas nas áreas de cultivo (análise de solo, análise foliar, etc.), no que se refere aos insumos que geram respostas morfofisiológicas nas plantas questiona-se sobre quais seriam as premissas que deveriam ser consideradas para fazer o posicionamento agrônômico desses produtos visando mitigar danos da seca na soja.

Em termos conceituais, os fitorreguladores são substâncias sintéticas aplicadas nas lavouras para elevar o potencial produtivo, mitigar estresses por fatores abióticos (seca, chuva na colheita, etc.), otimizar procedimentos de manejo e incrementar a qualidade de produtos a serem colhidos (Taiz et al., 2015).

Quanto ao uso de fitorreguladores para reduzir danos da seca, há, por exemplo, resultados de produtos elaborados com citocininas que aumentam a ramificação da soja (Kempster et al., 2021), e sabe-se que alterações na arquitetura do dossel das

plantas podem reduzir a taxa de evapotranspiração e incrementar a eficiência de uso da água nas lavouras. Fitorreguladores do grupo das giberelinas estimulam o enraizamento da soja (Taiz et al., 2015), o que pode elevar a capacidade de absorção de água e minimizar o estresse por déficit hídrico.

Solos naturalmente sujeitos a condições estressantes como deficiência hídrica e elevadas temperaturas, normalmente são habitados por microrganismos que possuem mecanismos fisiológicos responsáveis pela sua sobrevivência nesses ambientes. Além disso, microrganismos adaptados a estresses abióticos como a seca podem interagir de maneira benéfica com plantas. Essas características podem ser exploradas para a descoberta de novos genes, proteínas ou metabólitos importantes para o desenvolvimento de bioinsumos voltados à mitigação do déficit hídrico em culturas como a soja (Lacerda Junior; Melo, 2022).

Quanto à aplicabilidade de bioinsumos, lavouras de soja sob estresse por seca podem alterar o microbioma de sua rizosfera para promover associações com microrganismos benéficos que sintetizam moléculas osmoprotetoras, enzimas antioxidantes, fitohormônios e agentes reguladores do metabolismo. Além disso, microrganismos que possuem características que conferem tolerância ao déficit hídrico podem conter genes de interesse para o melhoramento genético da soja a serem aproveitados por meio de ferramentas de biotecnologia (Lacerda Junior; Melo, 2022).

Eficiência de uso da água em sistemas irrigados de soja no contexto da preservação dos recursos hídricos e energéticos

O aumento da produção de alimentos, a preservação dos recursos naturais e a diminuição da pobreza são desafios mundiais relacionados diretamente à agricultura. Nesse contexto, entre as tecnologias agrônômicas disponíveis, a irrigação destaca-se por possibilitar incrementos expressivos na capacidade produtiva das lavouras e também por elevar a eficiência de uso dos outros recursos naturais e tecnológicos envolvidos nos processos de produção (Silva Junior; Mantovani, 2022; Oliveira; Reis, 2022).

Especialistas ressaltam que no Brasil deve haver expansão da irrigação em sistemas de produção de culturas de grãos (soja, milho, trigo, etc.) para atender a demanda mundial crescente por segurança alimentar e, concomitantemente, minimizar a pressão por abertura de novas áreas de cultivo. Para que a expansão dos sistemas irrigados seja ambientalmente sustentável, enfatiza-se que é imprescindível a gestão eficiente dos recursos hídricos, pois a água é geograficamente e temporalmente

limitada (Marouelli et al., 2011; Silva Junior; Mantovani, 2022; Rodrigues et al., 2022; Oliveira; Reis, 2022).

Há diversos instrumentos e metodologias que devem ser usados rotineiramente para definir o momento de irrigar e a quantidade de água a ser aplicada, os quais podem ser agrupados da seguinte forma: (1) Indicadores do nível de estresse por déficit hídrico nas plantas; (2) Indicadores da capacidade de água disponível no perfil do solo; e (3) Indicadores de variáveis atmosféricas que influenciam o status hídrico da cultura (Marouelli et al., 2011).

Com o intuito de buscar constantes incrementos de eficiência de uso da água nas lavouras irrigadas, a recomendação agrônômica é que se tenha um conjunto de vários indicadores para que haja elevada precisão de medição da água no sistema solo-planta-atmosfera para tornar a rotina de manejo mais assertiva e evitar desperdícios dos recursos hídricos e energéticos (Marouelli et al., 2011).

No que se refere aos avanços tecnológicos para aumentar a eficiência de uso da água nos sistemas irrigados de produção de soja, em estudo recente de Rodrigues et al. (2022) foram definidas as principais demandas para os programas de pesquisa e desenvolvimento, a saber: (1) automação de processos; (2) modelos de simulação para auxiliar no dimensionamento e no manejo de diferentes sistemas irrigados; (3) equipamentos de alta performance munidos de sensores para evitar desperdícios de água; (4) melhoramento genético para se ter cultivares mais adaptadas ao ambiente irrigado; (5) sensores e softwares para manejo dos equipamentos de irrigação; (6) acesso e análise de bancos de dados em tempo real; (7) instrumentos para monitoramento e previsão climática; e (8) sensoriamento remoto para mensurar o desenvolvimento de lavouras irrigadas.

Meta-análise e estudos socioeconômicos para mensurar impactos dos veranicos em microrregiões sojícolas dos Estados

Os eventos climáticos adversos de interferência hídrica e térmica têm ganhado destaque na pesquisa científica devido ao aumento da frequência de prejuízos agrícolas ocorridos nos últimos anos no Brasil. Contudo, os estudos sobre o clima têm focado demasiadamente na busca por alterações de valores médios de macrorregiões geopolíticas (notadamente por Estado), tanto de precipitação pluvial como de temperatura, mas a média de uma macrorregião nem sempre tem relação com a magnitude dos danos socioeconômicos que acontecem nas microrregiões de cada Estado. Além disso, a maioria das projeções climáticas tem sido baseada em tendências ponderadas

de dados registrados no passado, evidenciando a necessidade de se ter informações cada vez mais precisas e atualizadas no contexto das microrregiões agrícolas (Dias-Pinto, 2022).

A importância da soja para os municípios brasileiros em todo o território nacional foi mostrada em estudo recente de Oderich (2020), no qual foram definidos indicadores espacial (área de cultivo) e macroeconômico (Produto Interno Bruto – PIB). O autor identificou os seguintes grupos de municípios quanto à área de cultivo de soja: (1) Municípios sem soja: 3409; (2) Até 5% da área municipal: 1011; (3) De 5 a 20% da área municipal: 527; (4) De 20 a 50% da área municipal: 409; (5) Mais de 50% da área municipal: 214. Quanto à importância da soja no PIB municipal, foram distinguidos os seguintes grupos: (1) Municípios sem soja: 3410; (2) Até 5% do PIB municipal: 1053; (3) De 5 a 15% do PIB municipal: 442; (4) De 15 a 30% do PIB municipal: 355; (5) Mais de 30% do PIB municipal: 310.

Conforme os dados apresentados por Oderich (2020), do total de 5568 municípios em todo o território brasileiro, 2161 (39%) têm pelo menos 5% da sua área ocupada com soja. Destaca-se também a expressiva participação da soja nas economias de parte significativa dos municípios das macrorregiões Sul, Sudeste, Centro-oeste e Matopiba. Nessas macrorregiões há extensas áreas em vários municípios onde as lavouras de soja têm contribuído com mais de 15% do PIB, sem considerar outros valores socioeconômicos agregados à cadeia industrial dos derivados sojícolas (carnes, produtos lácteos, biocombustíveis, etc.) e também as riquezas indiretas geradas (serviços, construção civil, comércio, etc.).

Ações de transferência de tecnologia para governança de informações e capacitação profissional para fomentar tecnologias mitigadoras da seca

A Embrapa por mais de 40 anos tem mantido grupos de pesquisa e desenvolvimento (P&D) para gerar tecnologias de mitigação da seca na soja em diversas regiões do Brasil. Somado a isso, há extensas bases de dados de programas de P&D sobre déficit hídrico na soja em vários países como EUA, Argentina, China, etc.

Porém, na atualidade esse amplo conhecimento agrônômico sobre a seca na soja está totalmente disperso e não há conexão com outras informações correlatas como, por exemplo, bancos de dados de variáveis do clima, mapas de classificação do solo das microrregiões sojícolas, mapas do ZARC para épocas de semeadura, análises

socioeconômicas, imagens de satélite de lavouras, publicações científicas, novidades tecnológicas, etc.

Diante desse cenário, justifica-se o esforço da Embrapa para efetivar website (Portal Observatório da Seca na Soja) com o objetivo de exercer a governança de bancos de dados, informações e documentação de resultados. O Portal Observatório da Seca na Soja visa compilar conteúdos de forma sistematizada, com atualizações periódicas e que possam ser acessados por qualquer usuário (profissionais de assistência técnica, agricultores, estudantes, etc.).

Outra meta do programa TESS é estabelecer unidades de referência tecnológica (URTs) regionalizadas com suporte de equipes de P&D e TT da Embrapa e de parceiros. Dessa forma haverá maior capilaridade para monitorar lavouras comerciais e validar tecnologias mitigadoras da seca junto aos sojicultores em diferentes regiões do Brasil.

No contexto das URTs regionais, almeja-se ter maior efetividade na capacitação profissional de agentes multiplicadores abrangendo extensionistas das iniciativas pública e privada (cooperativas, empresas, associações, sindicatos, etc.), consultores autônomos e produtores rurais, por meio de atividades de dias de campo, cursos e palestras presenciais.

Além disso, o programa TESS tem por objetivo constituir cursos no formato de educação à distância (EAD) para promover a conscientização agrônômica e fomentar tecnologias para o enfrentamento da seca na soja.

Considerações Finais

- A seca tem causado fortes prejuízos às lavouras de soja em extensas regiões do território nacional, ameaçando a segurança alimentar e a estabilidade socioeconômica dos brasileiros.
- O objetivo da Embrapa é consolidar o programa de tecnologias para enfrentamento da seca na soja (TESS) e torná-lo permanente e de ampla inserção regionalizada no âmbito da agricultura nacional.
- Por meio do programa TESS almeja-se estabelecer ações coordenadas de pesquisa científica, desenvolvimento tecnológico e transferência de tecnologia para gerar e difundir soluções agrônômicas de expressivo impacto para mitigação da seca na sojicultura brasileira.

Referências

- AGROFIT. **Sistema de agrotóxicos fitossanitários**. Brasília: Mapa, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/agrotoxicos/agrofit>. Acesso em: 19 dez. 2022.
- ANDRADE, J. F.; EDREIRA, J. I. R.; MOURTZINIS, S.; CONLEY, S. P.; CIAMPITTI, I. A.; DUNPHY, J. E.; GASKA, J. M.; GLEWEN, K.; HOLSHOUSER, D. L.; KANDEL, H. J.; KYVERYGA, P.; LEE, C. D.; LICHT, M. A.; LINDSEY, L. E. M.; MCCLURE, A.; NAEVE, S.; NAFZIGER, E. D.; ORLOWSKI, J. M.; ROSS, J.; STATON, M. J.; THOMPSON, L.; SPECHT, J. E.; GRASSINI, P. Assessing the influence of row spacing on soybean yield using experimental and producer survey data. **Field Crops Research**, v. 230, p. 98-106, 2019.
- ARYA, H.; SINGH, M. B.; BHALLA, P. L. Towards developing drought-smart soybeans. **Frontiers in Plant Science**, v. 12, 750664, 2021.
- BARBOSA, E. G. G.; LEITE, J. P.; MARIN, S. R. R.; MARINHO, J. P.; CARVALHO, J. D. F. C.; FUGANTI-PAGLIARINI, R.; FARIAS, J. R. B.; NEUMAIER, N.; MARCELINO-GUIMARÃES, F. C.; OLIVEIRA, M. C. N.; YAMAGUCHI-SHINOZAKI, K.; NAKASHIMA, K.; MARUYAMA, K.; KANAMORI, N.; FUJITA, Y.; YOSHIDA, T.; NEPOMUCENO, A. L. Overexpression of the ABA-dependent AREB1 transcription factor from *Arabidopsis thaliana* improves soybean tolerance to water deficit. **Plant Molecular Biology Reporter**, v. 31, n. 3, p. 719-730, 2013.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Programa Nacional de Zoneamento Agrícola de Risco Climático - ZARC**. 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/risco-seguro/programa-nacional-de-zoneamento-agricola-de-risco-climatico/zoneamento-agricola>. Acesso em: 05 dez. 2022.
- CAIRES, E. F.; GUIMARÃES, A. M. A novel phosphogypsum application recommendation method under continuous no-till management in Brazil. **Agronomy Journal**, v. 110, n. 5, p. 1987-1995, 2018.
- CARANHATO, A. L. H.; ANGELOTTI-MENDONÇA, J.; MERTZ-HENNING, L. M.; MARIN, S. R. R.; MELO, C. L. P. D.; FOLONI, J. S. S.; NEUMAIER, N.; FARIAS, J. R. B.; NEPOMUCENO, A. L. Drought tolerance of elite soybean cultivars with the introgression of transgene AtAREB1. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 57, e02656, 2022.
- CONAB. **Boletim da safra de grãos: 12º levantamento - safra 2021/22, set. 2022**. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>. Acesso em: 12 dez. 2022.
- CRUSIOL, L. G. T.; BRAGA, P.; NANNI, M. R.; FURLANETTO, R. H.; SIBALDELLI, R. N. R.; CEZAR, E.; SUN, L.; FOLONI, J. S. S.; MERTZ-HENNING, L. M.; NEPOMUCENO, A. L.; NEUMAIER, N.; FARIAS, J. R. B. Using leaf-based hyperspectral reflectance for genotype classification within a soybean levels of water availability. **International Journal of Remote Sensing**, v. 42, n. 21, p. 8196-8215, 2021b.
- CRUSIOL, L. G. T.; NANNI, M. R.; FURLANETTO, R. H.; SIBALDELLI, R. N. R.; CEZAR, E.; SUN, L.; FOLONI, J. S. S.; MERTZ-HENNING, L. M.; NEPOMUCENO, A. L.; NEUMAIER, N.; FARIAS, J. R. B. Classification of soybean genotypes assessed under different water availability and at different phenological stages using leaf-based hyperspectral reflectance. **Remote Sensing**, v. 13, n. 2, 172, 2021a. 24 p.
- CRUSIOL, L. G. T.; NANNI, M. R.; FURLANETTO, R. H.; SIBALDELLI, R. N. R.; SUN, L.; GONCALVES, S. L.; FOLONI, J. S. S.; MERTZ-HENNING, L. M.; NEPOMUCENO, A. L.; NEUMAIER, N.; FARIAS, J. R. B. Assessing the sensitive spectral bands for soybean water status monitoring and soil moisture prediction using leaf-based hyperspectral reflectance. **Agricultural Water Management**, v. 277, 108089, 2023. 17 p.
- CRUSIOL, L. G. T.; NANNI, M. R.; FURLANETTO, R. H.; SIBALDELLI, R. N. R.; CEZAR, E.; SUN, L.; FOLONI, J. S. S.; MERTZ-HENNING, L. M.; NEPOMUCENO, A. L.; NEUMAIER, N.; FARIAS, J. R. B. Yield prediction in soybean crop grown under different levels of water availability using reflectance spectroscopy and partial least squares regression. **Remote Sensing**, v. 13, n. 977, 2021c. 20 p.
- DEBIASI, H.; FRANCHINI, J. C.; BALBINOT JUNIOR, A. A.; CONTE, O. Diversificação de espécies vegetais em sistemas de produção. In: SEIXAS, C. D. S.; NEUMAIER, N.; BALBINOT JUNIOR, A. A.; KRZYZANOWSKI, F. C.; LEITE, R. M. V. B. de C. (ed.). **Tecnologias de produção de soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2020. p. 93-118. (Embrapa Soja. Sistemas de Produção, 17).

- DEBIASI, H.; FRANCHINI, J. C.; BALBINOT JUNIOR, A. A.; CONTE, O. **Diversificação de espécies vegetais como fundamento para a sustentabilidade da cultura da soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2015. 60 p. (Embrapa Soja. Documentos, 366).
- DEBIASI, H.; MONTEIRO, J. E. B. de A.; FRANCHINI, J. C.; FARIAS, J. R. B.; CONTE, O.; CUNHA, G. R. da; MORAES, M. T. de; BALBINOT JUNIOR, A. A.; SILVA, F. A. M. da; EVANGELISTA, B. A.; MARAFON, A. C. **Níveis de manejo do solo para avaliação de riscos climáticos na cultura da soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2022. 137 p. (Embrapa Soja. Documentos, 447).
- DIAS-PINTO, L. F. **Distribuição, intensidade e frequência de precipitação pluvial e veranico no estado do Paraná**. 2021. 180 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Estadual de Londrina, Londrina.
- ESTADOS UNIDOS. United States Department of Agriculture. Economy Research Service. **See the latest soybeans & oil crops outlook report**. 2022. Disponível em: <https://www.ers.usda.gov/topics/crops/soybeans-and-oil-crops/market-outlook/>. Acesso em: 08 dez. 2022.
- FOLONI, J. S. S.; ABATI, J.; HENNING, F. A. Soybean cultivars subjected to narrow row spacing and plant populations in early sowing in subtropical region in southern Brazil. **Brazilian Journal of Development**, v. 8, p. 56221-56238, 2022.
- FOLONI, J. S. S.; SILVA, S. R.; ABATI, J.; OLIVEIRA JUNIOR, A. de; CASTRO, C. de; OLIVEIRA, F. A. de; NOGUEIRA, M. A.; BASSOI, M. C. Yield of soybean-wheat succession in no-tillage system and soil chemical properties affected by liming, aluminum tolerance of wheat cultivars, and nitrogen fertilization. **Soil & Tillage Research**, v. 226, p. 105576, 2023.
- FUGANTI-PAGLIARINI, R.; FERREIRA, L. C.; RODRIGUES, F. A.; MOLINARI, H. B.; MARIN, S. R.; MOLINARI, M. D. C.; MARCOLINO-GOMES, J.; MERTZ-HENNING, L. M.; FARIAS, J. R. B.; OLIVEIRA, M. C. N.; NEUMAIER, N.; KANAMORI, N.; FUJITA, Y.; MIZOI, J.; NAKASHIMA, K.; YAMAGUCHI-SHINOZAMI, K.; Nepomuceno, A. L. Characterization of soybean genetically modified for drought tolerance in field conditions. **Frontiers in Plant Science**, v. 8, p. 448, 2017.
- GHANEM, M. E.; MARROU, H.; SINCLAIR, T. R. Physiological phenotyping of plants for crop improvement. **Trends in Plant Science**, v. 20, n. 3, p. 139-144, 2015.
- HONSDORF, N.; MARCH, T. J.; BERGER, B.; TESTER, M.; PILLEN, K. High-throughput phenotyping to detect drought tolerance QTL in wild barley introgression lines. **PLoS One**, v. 9, n. 5, e97047, 2014.
- IPEA. **Macroeconômico: séries históricas - taxa de câmbio R\$ / US\$ comercial - venda - média**. 2022. Disponível em: <https://www.ipeadata.gov.br/exibeserie>. Acesso em: 03 dez. 2022.
- JINEK, M.; CHYLINSKI, K.; FONFARA, I.; HAUER, M.; DOUDNA, J. A.; CHARPENTIER, E. A programmable dual-RNA-guided DNA endonuclease in adaptive bacterial immunity. **Science**, v. 337, n. 6096, p. 816-821, 2012.
- KEMPSTER, R.; BARAT, M.; BISHOP, L.; RUFINO, M.; BORRAS, L.; DODD, I. C. Genotype and cytokinin effects on soybean yield and biological nitrogen fixation across soil temperatures. **Annual Applied Biological**, v. 178, p. 341-354, 2021.
- KOTHARI, K.; BATTISTI, R.; BOOTE, K. J.; ARCHONTOULIS, S. V.; CONFALONE, A.; CONSTANTIN, J.; CUADRA, S. V.; DEBAEKE, P.; FAYE, B.; GRANTI, B.; HOOGENBOOM, G.; JING, Q.; LAAN, M. V. D.; SILVA, F. A. M. D.; MARIN, F. R.; NEHBANDANI, A.; NENDEL, C.; PURCELL, L. C.; QIAN, B.; RUANE, A. C.; SCHOVING, C.; SILVA, E. H. F. M.; SMITH, W.; SOLTANI, A.; SRIVASTAVA, A.; VIEIRA JUNIOR, N. A.; SLONE, S.; SALMERON, M. Are soybean models ready for climate change food impact assessments? **European Journal of Agronomy**, v. 135, e126482, 2022.
- KROSS, A.; ZNOJ, E.; CALLEGARI, D.; KAUR, G.; SUNOHARA, M.; LAPEN, D. R.; MCNAIRN, H. Using artificial neural networks and remotely sensed data to evaluate the relative importance of variables for prediction of within-field corn and soybean yields. **Remote Sensing**, v. 12, n. 14, p. 2230, 2020.
- LACERDA JUNIOR, G. V.; MELO, I. S. Bactérias envolvidas na mitigação do estresse hídrico. In: MEYER, M. C.; BUENO, A. de F.; MAZARO, S. M.; SILVA, J. C. da. (ed.). **Bioinsumos na cultura da soja**. Brasília, DF: Embrapa, 2022. p. 199-214.

- LEITE, J. P.; BARBOSA, E. G. G.; MARIN, S. R. R.; MARINHO, J. P.; CARVALHO, J. F. C.; PAGLIARINI, R. F.; CRUZ, A. S.; OLIVEIRA, M. C. N.; FARIAS, J. R. B.; NEUMAIER, N.; MARCELINO-GUIMARÃES, F. C.; YOSHIDA, T.; KANAMORI, N.; FUJITA, Y.; NAKASHIMA, K.; YAMAGUCHI-SHINOZAKI, K.; DESIDÉRIO, J.; NEPOMUCENO A. L. Overexpression of the activated form of the AtAREB1 gene (AtAREB1 Δ QT) improves soybean responses to water deficit. **Genetics and Molecular Research**, v. 13, n. 3, p. 6272-6286, 2014.
- MAIMAITIJIANG, M.; SAGAN, V.; SIDIKE, P.; HARTLING, S.; ESPOSITO, F.; FRITSCHI, F. B. Soybean yield prediction from UAV using multimodal data fusion and deep learning. **Remote Sensing of Environment**, v. 237, p. 111599, 2020.
- MARINHO, J. P.; COUTINHO, I. D.; LAMEIRO, R. D. F.; MARIN, S. R. R.; COLNAGO, L. A.; NAKASHIMA, K.; YAMAGUCHI-SHINOZAKI, K.; NEPOMUCENO, A. L.; MERTZ-HENNING, L. M. Metabolic alterations in conventional and genetically modified soybean plants with GmDREB2A;2 FL and GmDREB2A;2 CA transcription factors during water deficit. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 140, p. 122-135, 2019.
- MARINHO, J. P.; KANAMORI, N.; FERREIRA, L. C.; FUGANTI-PAGLIARINI, R.; CARVALHO, J. D. F. C.; FREITAS, R. A.; MARIN, S. R. R.; RODRIGUES, F. A.; MERTZ-HENNING, L. M.; FARIAS, J. R. B.; NEUMAIER, N.; OLIVEIRA, M. C. N.; MARCELINO-GUIMARÃES, F. C.; YOSHIDA, T.; FUJITA, Y.; YAMAGUCHI-SHINOZAKI, K.; NAKASHIMA, K.; NEPOMUCENO, A. L. Characterization of molecular and physiological responses under water deficit of genetically modified soybean plants overexpressing the AtAREB1 transcription factor. **Plant Molecular Biology Reporter**, v. 34, n. 2, p. 410-426, 2016.
- MARINHO, J. P.; PAGLIARINI, R. F.; MOLINARI, M. D. C.; MARCOLINO-GOMES, J.; CARANHATO, A. L. H.; MARIN, S. R. R.; OLIVEIRA, M. C. N.; FOLONI, J. S. S.; MELO, C. L. P.; KIDOKORO, S.; MIZOI, J.; KANAMORI, N.; YAMAGUCHI-SHINOZAKI, K.; NAKASHIMA, K.; NEPOMUCENO, A. L.; MERTZ-HENNING, L. M. Overexpression of full-length and partial DREB2A enhances soybean drought tolerance. **Agronomy Science and Biotechnology**, v. 8, p. 1-21, 2022.
- MAROUELLI, W. A.; OLIVEIRA, A. S. de; COELHO, E. F.; NOGUEIRA, L. C.; SOUSA, V. F. de. Manejo da água de irrigação. In: SOUSA, V. F. de; MAROUELLI, W. A.; COELHO, E. F.; PINTO, J. M.; COELHO FILHO, M. A. (ed.). **Irrigação e fertirrigação em fruteiras e hortaliças**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2011. Cap. 5, p. 158-232.
- MIR, R. R.; ZAMAN-ALLAH, M.; SREENIVASULU, N.; TRETOWAN, R.; VARSHNEY, R. K. Integrated genomics, physiology and breeding approaches for improving drought tolerance in crops. **Theoretical and Applied Genetics**, v. 125, n. 4, p. 625-645, 2012.
- MORAES, M. T. de; GUSMÃO, A. G. How do water, compaction and heat stresses affect soybean root elongation? A review. **Rizosphere**, v. 19, 100493, 2021.
- ODERICH, E. H. **Dinâmicas socioeconômicas da expansão agrícola no Brasil**: situações e tendências dos municípios e regiões da soja e da cana-de-açúcar. 2020. 131 f. Tese (Doutorado) - Programa de Desenvolvimento Rural. Faculdade de Ciências Econômicas. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- OLIVEIRA JUNIOR, A. de; CASTRO, C. de; OLIVEIRA, F. A. de; KLEPKER, D. Fertilidade do solo e avaliação do estado nutricional da soja. In: SEIXAS, C. D. S.; NEUMAIER, N.; BALBINOT JUNIOR, A. A.; KRZYZANOWSKI, F. C.; LEITE, R. M. V. B. de C. (ed.). **Tecnologias de produção de soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2020. p. 133-184. (Embrapa Soja. Sistemas de Produção, 17).
- OLIVEIRA, F. G.; REIS, J. B. R. da S. Análise da viabilidade econômica para irrigação. In: PAOLINELLI, A. C.; DOURADO-NETO, D.; MANTOVANI, E. C. (org.). **Agricultura irrigada no Brasil**: história e economia. Piracicaba: ESALQ; Viçosa: ABID, 2022. p. 107-121.
- RALISCH, R.; DEBIASI, H.; FRANCHINI, J. C.; TOMAZI, M.; HERNANI, L. C.; MELO, A. da S.; SANTI, A.; MARTINS, A. L. da S.; DE BONA, F. D. **Diagnóstico rápido da estrutura do solo - DRES**. Londrina: Embrapa Soja, 2017. 63 p. (Embrapa Soja. Documentos, 390).
- RODRIGUES, L. N.; ALVES, M. E. B.; ZOBY, J. L. G.; BELÉM, F. C.; ITABORAHY, C. R.; AUGUSTO, V. A. **Uso eficiente de água na agricultura irrigada bases para elaboração de estratégias e programas**. Brasília, DF: Embrapa, 2022. 105 p.

SAKAMOTO, T. Incorporating environmental variables into a MODIS-based crop yield estimation method for United States corn and soybeans through the use of a random forest regression algorithm. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 160, p. 208-228, 2020.

SÁNCHEZ-BERMÚDEZ, M.; DEL POZO, J. C.; PERNAS, M. Effects of Combined Abiotic Stresses Related to Climate Change on Root Growth in Crops. **Frontiers in Plant Science**, p. 2087, 2022.

SEIXAS, C. D. S.; SOARES, R. M.; GODOY, C. V.; MEYER, M. C.; COSTAMILAN, L. M.; DIAS, W. P.; ALMEIDA, A. M. R. Manejo de doenças. In: SEIXAS, C. D. S.; NEUMAIER, N.; BALBINOT JUNIOR, A. A.; KRZYZANOWSKI, F. C.; LEITE, R. M. V. B. de C. (ed.). **Tecnologias de produção de soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2020. p. 227-263. (Embrapa Soja. Sistemas de Produção, 17).

SILVA JUNIOR, A. G. da; MANTOVANI, E. C. Situação e potencial da irrigação sustentável na agricultura familiar. In: PAOLINELLI, A.; DOURADO-NETO, D.; MANTOVANI, E. C. (org.). **Agricultura irrigada no Brasil: história e economia**. Piracicaba: ESALQ; Viçosa: ABID, 2022. p. 89-103.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. (ed.). **Plant physiology and development**. 6th ed. Sunderland: Sinauer Associates, 2015. 761 p.

THOMPSON, N. M.; LARSON, J. A.; LAMBERT, D. M.; ROBERTS, R. K.; MENGISTU, A.; BELLALLOUI, N.; WALKER, E. R. Mid-south soybean yield and net return as affected by plant population and row spacing. **Agronomy Journal**, v. 107, p. 979-989, 2015.

ZHAI, Z.; MARTINEZ, J. F.; BELTRAN, V.; MARTINEZ, N. L. Decision support systems for agriculture 4.0: survey and challenges. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 170, 105256, 2020.

ZHANG, X.; ZHAO, J.; YANG, G.; LIU, J.; CAO, J.; LI, C.; ZHAO, X.; GAI, J. Establishment of plot-yield prediction models in soybean breeding programs using UAV-based hyperspectral remote sensing. **Remote Sensing**, v. 11, n. 23, 2752, 2019.

Exemplares desta edição
podem ser adquiridos na:

Embrapa Soja

Rodovia Carlos João Strass, s/nº Acesso
Orlando Amaral, Distrito de Warta
Caixa Postal: 4006
CEP 86085-981
Londrina, PR
(43) 3371-6000
www.embrapa.br/soja
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

1ª edição

PDF digitalizado (2023)



MINISTÉRIO DA
**AGRICULTURA E
PECUÁRIA**



Comitê Local de Publicações
da Embrapa Soja

Presidente

Adeney de Freitas Bueno

Secretária-Executiva

Regina Maria Villas Bôas de Campos Leite

Membros

*Claudine Dinali Santos Seixas, Edson Hirose,
Ivani de Oliveira Negrão Lopes, José de Barros
França Neto, Leandro Eugênio Cardamone
Diniz, Marco Antonio Nogueira, Mônica Juliani
Zavaglia Pereira e Norman Neumaier*

Supervisão editorial

Vanessa Fuzinato Dall'Agnol

Normalização

Valéria de Fátima Cardoso

Projeto gráfico da coleção

Carlos Eduardo Felice Barbeiro

Editoração eletrônica

Marisa Yuri Horikawa

Fotos da capa

José Salvador Simonetto Foloni