

Londrina, PR / Agosto, 2025

Produtividade de grãos da soja em função da semeadura pós-trigo ou pós-milho segunda safra na região de transição climática do Paraná

Henrique Debiasi⁽¹⁾, Alvadi Antonio Balbinot Junior⁽²⁾, Julio Cezar Franchini⁽³⁾, Felipe Kiyoshi Morota⁽⁴⁾, Vanei Tonini⁽⁵⁾, João Maurício Trentini Roy⁽⁶⁾, Ariel Muhl⁽⁷⁾

⁽¹⁾ Engenheiro-agrônomo, doutor em Ciências do Solo, pesquisador da Embrapa Soja, Londrina, PR. ⁽²⁾ Engenheiro-agrônomo, doutor em Produção Vegetal, pesquisador da Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS. ⁽³⁾ Engenheiro-agrônomo, doutor em Ciências, pesquisador da Embrapa Soja, Londrina, PR. ⁽⁴⁾ Engenheiro-agrônomo, mestre em Proteção de Plantas, gerente técnico de difusão de tecnologia da Cocamar Cooperativa Agroindustrial, Floresta, PR. ⁽⁵⁾ Engenheiro-agrônomo, pesquisador do Centro de Pesquisa Agrícola (CPA) da Copacol, Cafelândia, PR. ⁽⁶⁾ Engenheiro-agrônomo, gerente técnico do Centro de Pesquisa Agrícola (CPA) da Copacol, Cafelândia, PR. ⁽⁷⁾ Engenheiro-agrônomo, mestre em Produção Vegetal, agrônomo de campo, Corteva Agriscience, Passo Fundo, RS.

Resumo - O trigo é umas das opções para diversificar a sucessão soja/milho segunda safra na região de transição climática do Paraná. O objetivo deste trabalho foi estabelecer a relação entre a produtividade da soja pós-trigo e pós-milho segunda safra a partir de experimentos conduzidos em diferentes locais e safras na região de transição climática do Paraná, buscando identificar fatores que determinam a variabilidade de resposta da soja à cultura antecessora. Para isso, foram compilados e analisados os dados de sete experimentos conduzidos em diferentes safras nas regiões de Cafelândia, Floresta e Londrina, totalizando 39 casos. A produtividade da soja pós-trigo foi superior ao cultivo pós-milho segunda safra em 77% dos casos avaliados. Intervalos entre a colheita do trigo e a semeadura da soja com duração igual ou inferior a 20 dias, sobretudo quando associados à ocorrência de deficiência hídrica nos estádios iniciais de desenvolvimento, prejudicam o desempenho produtivo da oleaginosa, podendo resultar em produtividades similares ou menores às observadas em cultivo pós-milho segunda safra. Nessas condições, o crescimento inicial da soja pós-trigo pode ser reduzido, limitando o índice de área foliar nas fases de formação de vagens e enchimento de grãos em valores abaixo dos níveis ótimos e dos observados na soja pós-milho segunda safra. A semeadura da soja com intervalos maiores que 20 dias em relação à colheita do trigo e sob disponibilidade adequada de água no perfil de solo, associada ao correto manejo da cultura para que o índice de área foliar no enchimento de grãos atinja níveis ótimos, são estratégias que potencializam a produtividade da soja implantada em sucessão ao trigo.

Termos para indexação: sistema plantio direto, diversificação de culturas, deficit hídrico.

Embrapa Soja
Rod. Carlos João Strass, s/n,
acesso Orlando Amaral
Caixa Postal 4006,
CEP 86085-981
Distrito de Warta
Londrina, PR
(43) 3371 6000
www.embrapa.br/soja
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

Comitê Local de Publicações

Presidente
Roberta Aparecida Carnevalli

Secretária-executiva
Regina Maria Villas Bôas de Campos Leite

Membros
Adônis Moreira, Clara Beatriz Hoffmann-Campo, Claudine Dinali Santos Seixas, Claudio Guilherme Portela de Carvalho, Fernando Augusto Henning, Leandro Eugênio Cardamone Diniz, Liliane Márcia Mertz-Henning, Maria Cristina Neves de Oliveira

Edição executiva
Vanessa Fuzinatto Dall'Agnol

Revisão de texto
Regina Maria Villas Bôas de Campos Leite

Normalização
Valéria de Fátima Cardoso (CRB- 9/1188)

Projeto gráfico
Leandro Sousa Fazio

Diagramação
Marisa Yuri Horikawa
Publicação digital: PDF

Todos os direitos reservados à Embrapa.

Soybean yield after wheat or off-season maize in the climate transition region of Paraná State, southern Brazil

Abstract - Wheat is one of the options for diversifying the soybean/off-season maize double cropping system in the climate transition region of Paraná State, southern Brazil. The objective of this study was to establish the relationship between post - wheat and post off-season maize soybean yields, based on experiments conducted in different locations and growing seasons in the climate transition region of Paraná, aiming to identify factors that determine the variability in soybean response to the preceding crop. Data from seven experiments conducted across different seasons in the regions of Cafelândia, Floresta, and Londrina were compiled and analyzed, totaling 39 cases. Soybean yield following wheat was higher than following off-season maize in 77% of the cases. Intervals of 20 days or less between wheat harvest and soybean sowing, especially when associated with water deficit during the early soybean growth stages, negatively affect soybean performance, potentially resulting in similar or lower yields comparatively to post - off-season maize cultivation. Under these conditions, early soybean growth following wheat may be reduced, thus limiting the leaf area index in the pod formation and grain filling phases to values below the optimal levels and those observed in post - off-season maize. Sowing soybean more than 20 days after wheat harvest, under adequate soil water availability, combined with crop management to ensure that the leaf area index during the grain-filling period reaches optimal values are strategies that enhance soybean yield when cultivated after wheat.

Index terms: no-tillage, diversified cropping systems, water deficit.

Introdução

O modelo de produção de grãos predominante na região de transição climática do estado do Paraná envolve a sucessão milho segunda safra/soja. Conforme as estatísticas do Departamento de Economia Rural (Deral) da Secretaria da Agricultura e do Abastecimento do Estado do Paraná (Seab), na safra 2024/2025, 73% da área cultivada com soja no verão foi ocupada por milho segunda safra no outono-inverno nessa região (Paraná, 2025). A intensificação dos sistemas de produção por meio do crescimento da área de cultivo com milho segunda safra é um dos principais fatores responsáveis pelo aumento da produção de grãos no Paraná, que passou de 25,7 milhões de toneladas em 2003/2004

para 37,3 milhões toneladas em 2023/2024, equivalendo a um aumento de mais de 45% nesses 20 anos (Conab, 2025).

Entretanto, a utilização contínua da sucessão milho segunda safra/soja tem resultado em condições de solo desfavoráveis à expressão do potencial produtivo das culturas. Dados obtidos por Debiasi et al. (2021), por meio do monitoramento de talhões comerciais nas regiões Norte e Noroeste do Paraná, demonstram que a quase totalidade das áreas sob sucessão milho segunda safra/soja apresenta degradação estrutural do solo por compactação excessiva, aliada à baixa cobertura por restos culturais. A produção insuficiente de biomassa da parte aérea e raízes, o longo período sem culturas vivas (pousio) no intervalo entre a colheita do milho e a semeadura da soja, bem como a necessidade de executar operações de colheita e semeadura no período entre o final de janeiro e começo de fevereiro, época em que se concentram os maiores volumes de chuva na maior parte do norte paranaense, estão entre os fatores que explicam a compactação do solo na sucessão milho segunda safra/soja. A compactação excessiva reduz a disponibilidade hídrica às plantas, em função da menor infiltração, condutividade hidráulica e volume de poros que retém água disponível (Moraes et al., 2016). Adicionalmente, a compactação se reflete em impedimento mecânico ao alongamento radicular e, no caso de períodos excessivamente chuvosos, em limitação de suprimento de oxigênio às raízes (Moraes et al., 2018). Portanto, a compactação limita o crescimento das raízes e a produtividade das culturas, sobretudo em anos secos ou com excesso de chuvas (Moraes et al., 2020; Bertollo et al., 2021).

A baixa capacidade dos restos culturais do milho segunda safra em cobrir adequadamente o solo (maior parte da massa acumulada em colmos, que apresentam pouca superfície específica), associada à rápida decomposição da fitomassa e à janela de 80 a 90 dias em pousio até a semeadura da soja, resultam em baixa cobertura do solo. Neste sentido, a cobertura do solo é essencial para reduzir a intensidade dos processos erosivos (Merten et al., 2015) e a infestação de plantas daninhas (Lamego et al., 2013; Wallace et al., 2019). Além disso, a cobertura resulta em maior disponibilidade hídrica no solo, pois proporciona maior taxa de infiltração (Derpsch et al., 1986) e menores perdas de água por evaporação (Debiasi et al., 2022). O regime térmico do solo também é alterado pela cobertura com restos culturais, que atua como um "isolante" (Prevedello, 2010), diminuindo a amplitude térmica e a temperatura média do solo (Derpsch et al.,

1986; Gasparim et al., 2005). Considerando solos de regiões subtropicais e tropicais, o efeito mais importante da cobertura refere-se à redução da magnitude dos picos de temperaturas máximas, que podem limitar a taxa de crescimento radicular (Pushkala; Yagarajarao, 1988) e a eficiência de bioinsumos aplicados à semente ou no sulco de semeadura, como os inoculantes contendo as bactérias fixadoras do N na soja (Munevar e Wollum II, 1981; Hungria et al., 2001).

O aporte insuficiente de palha e raízes, em conjunto com a baixa diversidade de espécies vegetais, tem impactado negativamente o funcionamento da microbiota do solo na sucessão milho segunda safra/soja (Tonon-Debiasi et al., 2024). Sendo assim, processos que são dependentes da atividade de microrganismos do solo, como a ciclagem de nutrientes e a formação e estabilização de agregados, são prejudicados em áreas de sucessão milho segunda safra soja, com impactos negativos sobre a qualidade do solo, a produtividade e a estabilidade de produção. Da mesma forma, a baixa diversidade e atividade biológica do solo, associadas à cobertura insuficiente e à degradação da estrutura do solo, aumentam a ocorrência de doenças causadas por fungos e nematoides (Debiasi et al., 2022; Soares et al., 2022). As podridões de *Macrophomina phaseolina* (Almeida et al., 2014), *Phytophthora sojae* (Costamilan et al., 2010) e *Fusarium* spp. (Dianese et al., 2010), assim como os nematoides *Pratylenchus brachyurus*, *Meloidogyne javanica* e *M. incognita* (Dias et al., 2010), estão entre as doenças radiculares mais favorecidas pela sucessão milho/soja.

Diante do exposto, fica evidente que o “gap” entre a produtividade de grãos potencial e os valores reais observados em escala de lavoura (Nóia Júnior; Sentelhas, 2019), a instabilidade de produção face à ocorrência de secas prolongadas (Balbinot Junior et al., 2022; Debiasi et al., 2025a), a intensificação dos processos erosivos (Franchini et al., 2018), o aumento da incidência de plantas daninhas (Gazziero et al., 2020) e dos danos decorrentes de doenças radiculares e nematoides (Soares et al., 2022), são problemas interligados e associados, em grande parte, à pouca diversidade de espécies vegetais, à baixa cobertura do solo e à degradação da sua qualidade biológica e estrutural, resultantes sobretudo da utilização generalizada e contínua da sucessão milho segunda safra/soja.

O cultivo de trigo é umas das opções para diversificar a sucessão soja/milho segunda safra, mantendo a produção de grãos no outono-inverno. Em comparação ao milho, o trigo proporciona maior e mais duradoura porcentagem de cobertura do

solo com palha, além de reduzir a duração da janela de pousio antes da semeadura da soja (Debiasi et al., 2022). Na maioria dos casos, essas melhorias têm resultado em maiores produtividades da soja semeada em sucessão ao trigo, comparativamente ao cultivo pós-milho segunda safra (Debiasi et al., 2023; Balbinot Junior et al., 2024). Entretanto, em algumas safras, a produtividade da soja pós-trigo tem sido igual ou mesmo inferior à observada em cultivo pós-milho (Garbelini et al., 2020). Conhecer os fatores que determinam essa variabilidade de resposta da soja à cultura antecessora pode contribuir na definição de estratégias de manejo do sistema de produção buscando maximizar o desempenho da soja implantada em sucessão ao trigo e, assim, contribuir para consolidar o cereal de inverno como opção para rotação com o milho segunda safra. Nesse sentido, observações de campo na região de transição climática do Paraná têm sugerido que a semeadura da soja muito próxima à colheita do trigo, especialmente em safras com deficiência hídrica na fase de estabelecimento e desenvolvimento inicial das plantas de soja, pode estar entre as causas associadas à eventual ocorrência de menores produtividades da cultura em sucessão ao trigo comparativamente às observadas pós-milho segunda safra.

O presente estudo parte da hipótese de que o intervalo de tempo entre a colheita do trigo e a semeadura da soja, bem como a ocorrência de déficit hídrico durante os estádios iniciais de desenvolvimento da oleaginosa, determinam a relação entre a produtividade da soja cultivada pós-trigo e pós-milho segunda safra. Diante disso, o objetivo desse trabalho foi estabelecer a relação entre a produtividade da soja pós-trigo e pós-milho segunda safra a partir de experimentos conduzidos em diferentes locais e safras na região de transição climática do Paraná, buscando identificar fatores que determinam a variabilidade de resposta da soja à cultura antecessora.

Material e Métodos

O trabalho envolveu a compilação e análise de dados obtidos em experimentos conduzidos pela Embrapa Soja, em diferentes safras e locais da região de transição climática do Paraná. Foram selecionados experimentos envolvendo o cultivo de soja em sucessão ao trigo e ao milho na mesma safra, em que a data de semeadura, a cultivar utilizada e o manejo da soja tenham sido idênticos nas duas situações. Nos casos selecionados, o trigo foi implantado em sucessão à soja, sem cultivo de espécies vegetais para produção de grãos ou

cobertura na janela outonal, ou em terceira safra, na janela entre a colheita do milho segunda safra e a semeadura da soja. Todos os experimentos foram conduzidos em Latossolos Vermelhos (Santos et al., 2018), de textura muito argilosa, com teores de argila (0-20 cm de profundidade) superiores a 750 g/kg, quimicamente corrigidos e manejados sob sistema plantio direto (SPD). O clima das regiões dos experimentos é descrito como subtropical (Cfa),

de acordo com a classificação de Köppen (Nitsche et al., 2019). Para cada safra e experimento, foram utilizadas as médias de produtividade da soja nos tratamentos pós-trigo e pós-milho segunda safra, totalizando 39 casos (pontos). Detalhes dos experimentos utilizados na presente análise encontram-se na Tabela 1, incluindo referências para acesso a informações sobre o local, a condução e a avaliação dos ensaios.

Tabela 1. Local, safras de condução, tratamentos comparados e referências bibliográficas para informações mais detalhadas a respeito dos experimentos compilados.

Ensaio	Local	Safras	Tratamentos comparados	Referências
1	Floresta, PR	2012/2013 a 2023/2024 (12 safras)	Trigo pós soja x milho segunda safra	Garbelini et al. (2020)
2	Cafelândia, PR	2020/2021 a 2024/2025 (5 safras)	Trigo pós soja x milho segunda safra Trigo terceira safra ⁽¹⁾ x milho segunda safra ⁽²⁾⁽³⁾	Debiasi et al. (2023)
3	Londrina, PR	2021/2022 a 2023/2024 (3 safras)	Trigo pós soja x milho segunda safra	Debiasi et al. (2025a)
4	Londrina, PR	2014/2015 a 2016/2017 (3 safras)	Trigo pós soja x milho segunda safra	Bertollo et al. (2021)
5	Londrina, PR	2016/2017 a 2024/2025 (9 safras)	Trigo pós soja x milho segunda safra	Balbinot Junior et al. (2024)
6	Londrina, PR	2017/2018 a 2019/2020 (3 safras)	Trigo pós soja x milho segunda safra	Debiasi et al. (2025b)
7	Londrina, PR	2020/2021 (1 safra)	Trigo pós soja x milho segunda safra	(4)

⁽¹⁾ Trigo semeado após o milho segunda safra; ⁽²⁾ Nessa comparação, o tratamento “milho segunda safra” é o mesmo utilizado na comparação com o trigo pós-soja; ⁽³⁾ A comparação entre o trigo terceira safra e o milho segunda safra ocorreu nas safras 2020/2021, 2022/2023 e 2024/2025; ⁽⁴⁾ Dados não publicados.

As produtividades de soja pós-trigo foram relacionadas às obtidas pós-milho segunda safra por meio de análise de regressão linear com o respectivo cálculo do intervalo de confiança (IC, $p \leq 0,05$) da equação gerada, utilizando o software R versão 4.4.1 (R Core Team, 2024). Adicionalmente, foi calculado histograma de distribuição de frequências para o quociente entre a produtividade da soja pós-trigo e a produtividade da oleaginosa pós-milho segunda safra ($PS_{T/M}$), dividindo os dados obtidos em seis classes ($PS_{T/M} \leq 0,8$; $0,8 < PS_{T/M} \leq 0,9$; $0,9 < PS_{T/M} \leq 1,0$; $1,0 < PS_{T/M} \leq 1,1$; $1,1 < PS_{T/M} \leq 1,2$; $PS_{T/M} > 1,2$), por meio do programa Microsoft Excel®. Tanto para a análise de regressão, quanto para a elaboração do histograma de frequências, foram utilizados dados médios por safra e experimento.

Resultados e Discussão

Com base em todo o conjunto de experimentos e safras (Tabela 1), a Figura 1A mostra que, em relação à reta 1:1 (que representa os casos em que $y = x$, ou seja, as produtividades de soja pós-trigo e pós-milho segunda safra são iguais), a reta que representa a variação da produtividade da soja pós-trigo com os valores pós-milho segunda safra encontra-se deslocada para cima na maior parte da amplitude de variação dos dados, indicando que a cultura do trigo proporcionou maiores produtividades da soja em relação ao milho segunda safra. Na Figura 1B, é possível observar que o limite inferior do IC calculado para a equação da Figura 1A cruza a reta 1:1 em um valor de produtividade da soja pós-milho segunda safra equivalente 2,80 t/ha. Isso significa que, para valores de produtividade da soja em sucessão ao milho segunda safra iguais ou

superiores a 2,80 t/ha, a produtividade da oleaginosa foi significativamente superior (+7,3%, em média) quando cultivada após trigo. Abaixo de 2,80 t/ha, a reta 1:1 encontra-se dentro da área delimitada pelos

limites inferior e superior do IC, indicando assim que não houve diferença significativa de produtividade da soja em função da cultura antecessora (trigo ou milho segunda safra).

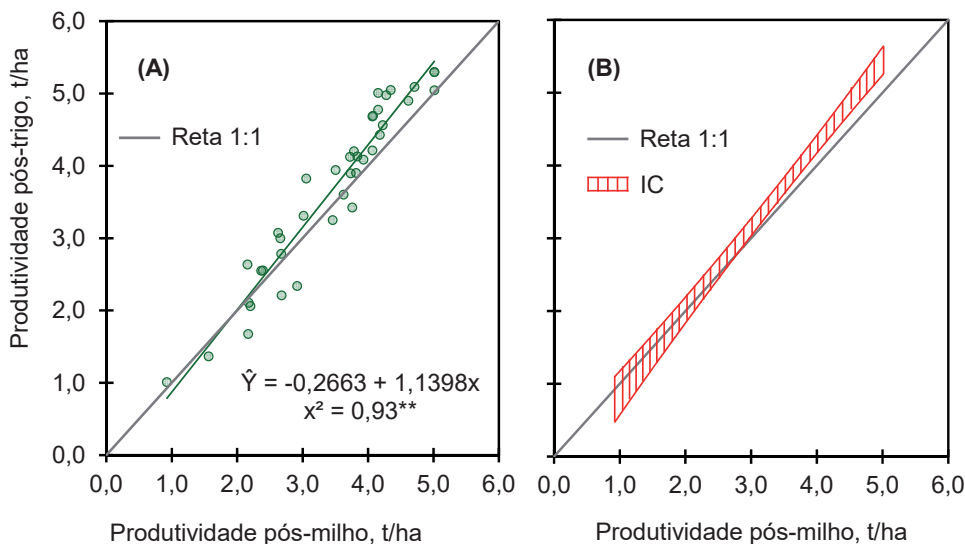


Figura 1. Relação entre a produtividade da soja cultivada pós-trigo e pós-milho segunda safra (A) e intervalo de confiança (IC, $p \leq 0,05$) da respectiva equação (B).

Para testar a hipótese de que um dos fatores determinantes da variabilidade de resposta da soja ao cultivo pós-trigo em relação ao cultivo pós-milho segunda safra é a duração do intervalo entre a colheita do trigo e a semeadura da oleaginosa, o conjunto de dados foi dividido em dois grupos: ≤ 20 dias e > 20 dias de intervalo. A relação entre as produtividades de soja pós-trigo e pós-milho segunda safra para o grupo de experimentos e safras com intervalo ≤ 20 dias é apresentada na Figura 2. Verifica-se que a reta que representa a variação de produtividade da soja pós-trigo em

função da produtividade da soja pós-milho segunda safra está próxima à reta 1:1 em todo o intervalo de variação dos dados (Figura 2A). A análise do IC para a equação da Figura 2A confirma esse resultado, uma vez que a reta 1:1 ficou dentro da área definida pelos limites inferior e superior do IC em todo o intervalo de variação dos dados (Figura 2B). Isso indica que as produtividades da soja pós-trigo e pós-milho segunda safra foram similares entre si quando o intervalo entre a colheita do cereal de inverno e a semeadura da oleaginosa foi ≤ 20 dias.

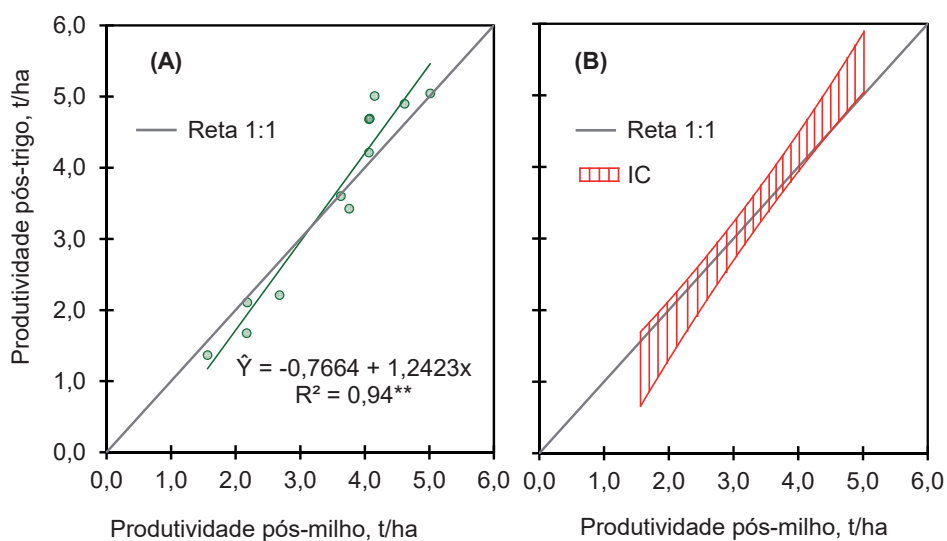


Figura 2. Relação entre a produtividade da soja cultivada pós-trigo e pós-milho segunda safra (A) e intervalo de confiança (IC, $p \leq 0,05$) da respectiva equação (B), considerando apenas os casos em que o intervalo entre a colheita do trigo e a semeadura da soja foi igual ou inferior a 20 dias.

Quando o tempo entre a colheita do trigo e a semeadura da soja foi superior a 20 dias (Figura 3), os resultados obtidos assemelharam-se aos observados para o conjunto total de dados (Figura 1). Assim, a reta que representa a relação entre a produtividade da soja pós-trigo e pós-milho segunda safra para intervalos ≥ 20 dias foi deslocada para cima da reta 1:1 na maior parte do intervalo de variação dos dados (Figura 3A). Similarmente ao conjunto total de dados (Figura 1B), o limite inferior do IC cruza a reta 1:1 em um valor de produtividade

pós-milho segunda safra correspondente a 2,79 t/ha (Figura 3B). Isso demonstra que, para valores de acima de 2,79 t/ha pós milho segunda safra, a produtividade da oleaginosa foi significativamente maior (+7,6%) quando cultivada em sucessão ao trigo. Para produtividades pós-milho segunda safra inferiores a 2,79 t/ha, a reta 1:1 encontra-se dentro da área delimitada pelos limites inferior e superior do IC, indicando assim que não houve diferença significativa de produtividade da soja em função da cultura de outono-inverno.

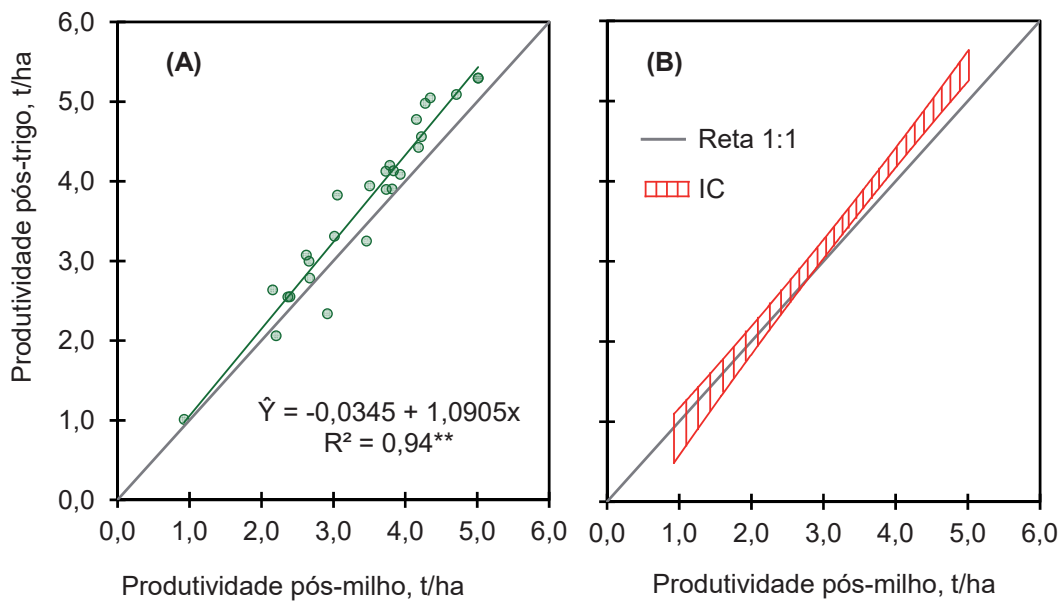


Figura 3. Relação entre a produtividade da soja cultivada pós-trigo e pós-milho segunda safra (A) e intervalo de confiança (IC, $p \leq 0,05$) da respectiva equação (B), considerando apenas os casos em que o intervalo entre a colheita do trigo e a semeadura da soja foi superior a 20 dias.

Na Figura 4, é apresentada a distribuição relativa (histograma) dos casos estudados em classes estabelecidas com base no quociente entre a produtividade da soja pós-trigo e pós-milho segunda safra ($PS_{T/M}$). Valores de $PS_{T/M} > 1$ indicam que a produtividade da soja foi maior quando cultivada em sucessão ao trigo, comparativamente ao milho segunda safra. Considerando o conjunto total de experimentos e safras, observa-se que o $PS_{T/M}$ foi superior a 1 em 77% dos casos (Figura 4A). Similarmente, em 34% dos casos, o $PS_{T/M}$ foi igual

ou superior a 1,1, demonstrando que a produtividade da soja cultivada em sucessão ao trigo superou a produtividade pós-milho segunda safra em mais de 10%. Para os casos em que o intervalo entre a colheita do trigo e a semeadura da soja foi ≤ 20 dias, o $PS_{T/M}$ foi superior a 1 em 50% de casos (Figura 4B) enquanto que, para intervalos maiores que 20 dias, a proporção de experimentos e safras em que a produtividade da soja pós-trigo foi maior subiu para 89% (Figura 4C).

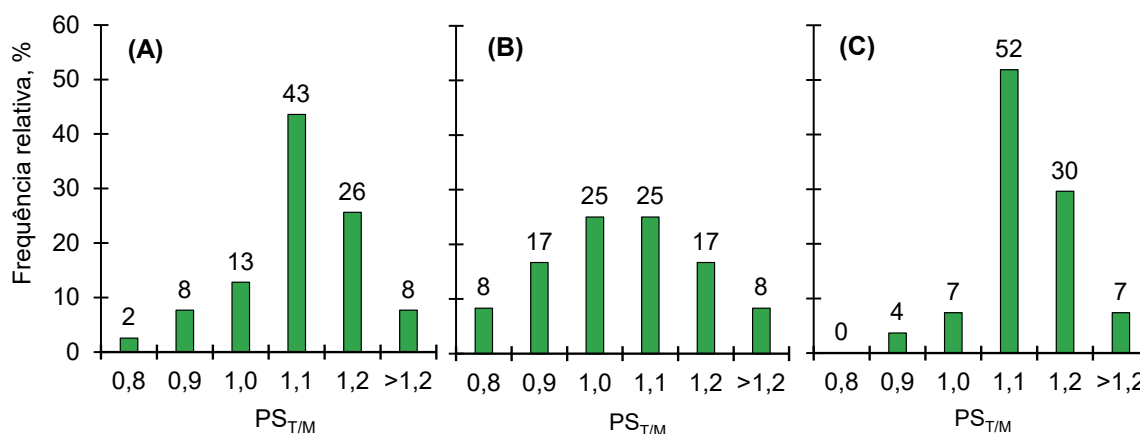


Figura 4. Distribuição relativa dos casos estudados em seis classes definidas pelo quociente entre a produtividade da soja pós-trigo e pós milho segunda safra ($PS_{T/M}$), para todo o conjunto de dados (A) e somente para os casos em que o intervalo entre a colheita do trigo e semeadura da soja foi ≥ 20 dias (B) ou < 20 dias (C). Classes: $PS_{T/M} \leq 0,8$; $0,8 < PS_{T/M} \leq 0,9$; $0,9 < PS_{T/M} \leq 1,0$; $1,0 < PS_{T/M} \leq 1,1$; $1,1 < PS_{T/M} \leq 1,2$; $PS_{T/M} > 1,2$.

Os resultados obtidos neste trabalho demonstraram que, na maioria dos casos, a soja apresenta maior produtividade de grãos quando cultivada após trigo, em comparação ao cultivo pós-milho segunda safra, o que contribui para viabilizar economicamente o uso de sistemas de rotação envolvendo as duas culturas no outono-inverno na região de transição climática do Paraná. Da mesma forma, o presente estudo comprova que a duração do intervalo entre a colheita do trigo e a semeadura da soja é fator determinante no desempenho produtivo da oleaginosa. Intervalos ≤ 20 dias diminuem significativamente a probabilidade de maiores produtividades pós-trigo em relação ao cultivo pós-milho segunda safra. Mais estudos são necessários para esclarecer as causas desse comportamento. Porém, a existência de efeito alelopático da palhada de trigo sobre a soja (Wu et al., 2001), retardando o seu desenvolvimento e diminuindo o seu crescimento, pode ser uma causa da limitação de produtividade da soja em função da semeadura da cultura em intervalos ≤ 20 dias após a colheita do trigo. Outra possível explicação envolve uma eventual redução no volume de água disponível armazenada no perfil do solo em função do consumo pelas plantas de trigo, uma vez que o ciclo desta cultura avança nos meses de julho, agosto e, em alguns casos, parte de setembro, período em que o volume de chuvas é reduzido, levando à ocorrência de déficit hídrico (Debiasi et al., 2023; Sibaldelli et al., 2025). Esse efeito seria de menor magnitude nas áreas cultivadas com milho segunda safra, cuja colheita é realizada geralmente em meados de junho até o final de julho, dependendo da região. Em estudo conduzido na região centro-oeste da província de Buenos

Aires, Argentina, com precipitação média anual de 1060 mm, Rillo et al. (2013) encontraram que os tratamentos envolvendo o uso do solo no inverno com aveia ou azevém diminuíram o volume de água disponível no perfil do solo (2 m de profundidade) no momento da semeadura da soja em 32 mm e 54 mm, respectivamente, quando comparados à testemunha (pousio), na média de cinco safras (2005 a 2009). A maior redução ocorreu no ano com inverno mais seco (2008), ocasião em que o volume de água armazenada no momento da semeadura da soja foi 54 mm e 106 mm menor nas parcelas pós-aveia e pós-avevém em relação ao pousio, respectivamente.

As condições ambientais e de manejo também são fatores importantes na determinação da resposta da soja ao cultivo do trigo. Os resultados obtidos neste trabalho mostraram que, em safras e experimentos onde a produtividade da soja é mais elevada, o que normalmente ocorreu em função da combinação entre clima favorável e práticas adequadas de manejo da cultura, o desempenho produtivo da soja foi melhor em cultivo pós-trigo, mesmo que o intervalo entre a colheita do cereal e a implantação da oleaginosa tenha sido ≤ 20 dias. Dentro do conjunto de dados utilizado para este trabalho, houve 25 casos em que a produtividade da soja pós-milho segunda safra foi superior a 3,0 t/ha, dos quais em 21 (87,5%) as maiores produtividades foram obtidas pela soja em sucessão ao trigo. Nos 14 casos em que a produtividade da soja pós-milho foi igual ou inferior a 3,0 t/ha, a proporção de situações em que a produtividade da oleaginosa foi maior em sucessão ao trigo caiu para 57,1%. Provavelmente, melhores condições climáticas e de manejo, incluindo posicionamento de cultivares e

época de semeadura, diminuem o impacto negativo do menor crescimento inicial da soja em sucessão ao trigo, mesmo quando o intervalo entre a colheita do trigo e a semeadura da soja é ≤ 20 dias.

O ensaio 7 (Tabela 1), conduzido em Londrina, PR na safra 2020/2021, contribui para demonstrar a redução do crescimento e o atraso do desenvolvimento da soja pós-trigo em relação ao cultivo pós-milho segunda safra, bem como os respectivos impactos negativos sobre a produtividade da cultura em condições de déficit hídrico. Nesse experimento, a soja cultivar BRS

1061 IPRO (grupo de maturidade relativa - GMR 6.1) foi semeada no dia 02/10/2020, em parcelas cultivadas no outono-inverno com trigo e com milho segunda safra. O trigo foi colhido em 16/09/2020, ou seja, 16 dias antes da semeadura da soja. O balanço hídrico decendial (Figura 5) mostra a ocorrência de um longo período de deficiência hídrica que vai de setembro até dezembro de 2020, coincidindo com os estádios vegetativos e parte dos reprodutivos (até R5.1, aproximadamente) da soja. Isso teve um grande impacto negativo na produtividade do ensaio, que em média foi de 2.522 kg/ha.

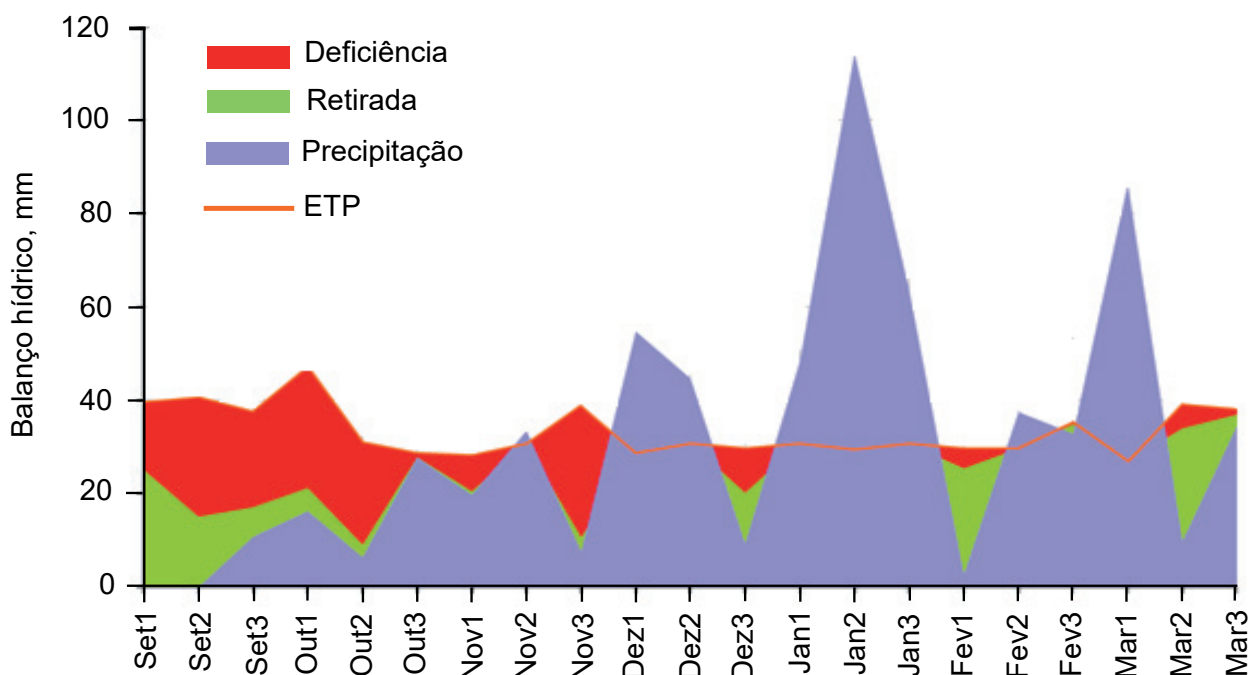
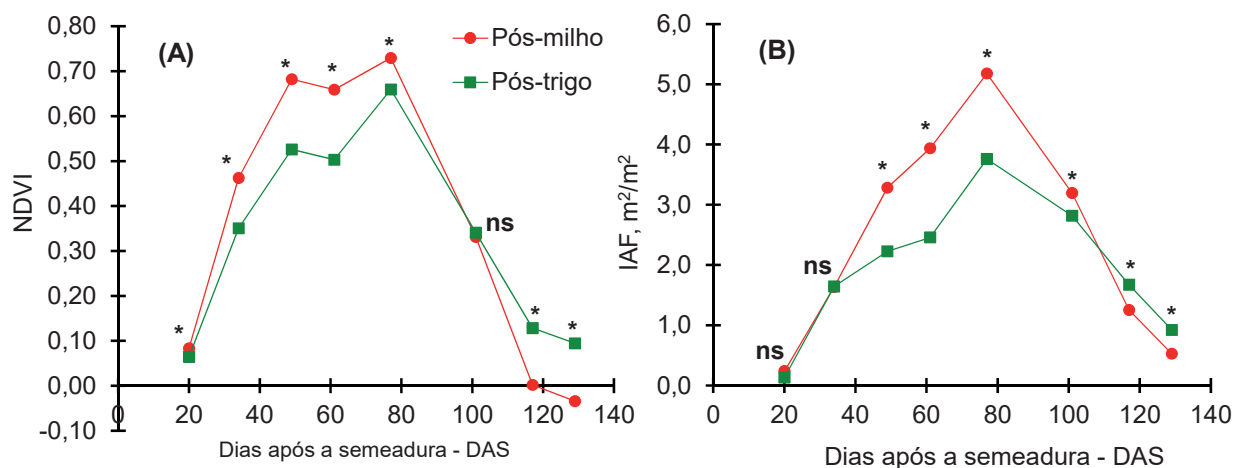


Figura 5. Balanço hídrico sequencial (método de Thornthwaite e Mather, 1955) por decêndio na safra 2020/2021, na Fazenda Experimental da Embrapa Soja, Londrina, PR.

Fonte: Sibaldelli et al. (2022, 2023).

Ao longo do ciclo da soja no ensaio 7 (Tabela 1), foram realizadas oito avaliações do crescimento da cultura, envolvendo a determinação do índice de vegetação por diferença normalizada (*Normalized Difference Vegetation Index* - NDVI), por meio do sensor óptico portátil GreenSeeker®, e do índice de área foliar (IAF), obtido indiretamente com uso do analisador de dossel vegetativo LI-COR® LAI 2200. Os resultados obtidos (Figura 6) demonstraram que o crescimento da soja, estimado pelo NDVI e pelo IAF, foi significativamente maior quando cultivada em sucessão ao milho segunda safra nas seis primeiras avaliações, sendo as maiores diferenças observadas aos 49, 61 e 77 dias após a semeadura (DAS). Nas duas últimas avaliações (117 e 129

DAS), os valores de NDVI e IAF passaram a ser maiores na soja pós-trigo, evidenciando o alongamento do ciclo da cultura nessa condição. Observa-se ainda que os valores máximos de IAF da soja, obtidos aos 77 DAS, foram equivalentes a 3,8 e 5,0 para as parcelas com cultivo pós-trigo e pós-milho segunda safra, respectivamente (Figura 6B). Independentemente do tratamento, o IAF da soja foi substancialmente inferior aos valores de referência para altas produtividades nas condições de solo e clima da região de Londrina, PR, variáveis entre 6,5 e 7,0 nos subperíodos de enchimento de grãos (Balbinot Junior et al., 2018).



* Diferenças entre médias estatisticamente significativas (teste t-Student, $p \leq 0,05$). ns = diferenças não significativas (teste t-Student, $p \leq 0,05$).

Figura 6. Índice de vegetação por diferença normalizada (*Normalized Difference Vegetation Index - NDVI*) (A) e índice de área foliar (IAF) (B) da soja (BRS 1061 IPRO) cultivada após o milho segunda safra e após o trigo, avaliados em oito épocas durante a safra 2020/2021, em ensaio conduzido na Fazenda Experimental da Embrapa Soja, Londrina, PR.

A produtividade da soja cultivada após milho segunda safra no ensaio 7 foi de, em média, 2.714 kg/ha, contra 2.392 kg/ha em sucessão ao trigo. Isso significa que o menor crescimento das plantas de soja em cultivo pós-trigo resultou em uma redução de produtividade de 322 kg/ha (-11,8%) em relação ao cultivo pós-milho segunda safra. Esse valor é coerente com os dados obtidos por Balbinot Junior et al. (2018), que mostraram uma perda média de produtividade da soja de 373 kg/ha para cada unidade de redução no IAF durante o enchimento de grãos. Portanto, os resultados obtidos no ensaio 7 indicaram que a semeadura da soja pós-trigo, em condições de deficit hídrico e com um intervalo menor que 20 dias após a colheita do cereal de inverno, diminui o seu crescimento em relação ao cultivo após milho segunda safra, resultando em menores produtividades.

Com base no monitoramento do IAF no ensaio 5 (Tabela 1), Yokoyama et al. (2018) encontraram que, na safra 2016/2017, quando a soja foi semeada 31 dias após a colheita do trigo, o crescimento inicial da oleaginosa foi menor após o trigo em relação ao milho segunda safra (Figura 7A). Porém, a partir do enchimento de grãos, não houve diferenças nos valores do IAF entre os tratamentos. Já na safra seguinte, quando a semeadura foi realizada 57 dias após a colheita do trigo, o IAF da soja em sucessão ao cereal de inverno não diferiu do observado pós-milho segunda safra durante todo o ciclo da cultura (Figura 7B). Em ambas as safras, as condições climáticas e de manejo foram favoráveis à soja, com o IAF no enchimento de grãos atingindo valores próximos aos considerados ótimos (Balbinot Junior

et al., 2018) e produtividades médias de 4.393 kg/ha e 4.697 kg/ha em 2016/2017 e 2017/2018, respectivamente. A produtividade da soja pós-trigo foi superior ao tratamento pós-milho segunda safra nas duas safras, com diferenças de 337 kg/ha (+8%) e 700 kg/ha (+16%), em 2016/2017 e 2017/2018, respectivamente. Os resultados deste trabalho mostram que, em situações onde o IAF da soja pós-trigo iguala o observado pós-milho segunda safra, a produtividade da oleaginosa é maior após o cereal de inverno, mesmo que o crescimento inicial seja menor, como ocorreu em 2016/2017.

Ainda com relação aos dados da Figura 7, o crescimento inicial da soja foi menor pós-trigo na safra 2016/2017, o que não se repetiu na safra seguinte, quando o crescimento da oleaginosa foi similar entre os tratamentos. O maior intervalo entre a colheita do trigo e a semeadura da soja (57 dias na safra 2017/2018, contra 31 dias na safra 2016/2017), é um dos fatores que pode explicar essas diferenças de resposta aos tratamentos entre as duas safras avaliadas. Além disso, a disponibilidade hídrica nas fases iniciais de crescimento da soja foi maior na safra 2017/2018, comparativamente à safra 2016/2017, o que pode ter atenuado os possíveis efeitos alelopáticos da palhada de trigo sobre a soja, e/ou contribuindo para maior disponibilidade de água no perfil de solo. Nesse sentido, considerando o período compreendido entre 14 dias antes da semeadura da soja até 35 dias após essa operação, a precipitação acumulada foi de 284 mm em 2016/2017, contra 379 mm em 2017/2018 (Sibaldelli; Farias, 2017, 2018).

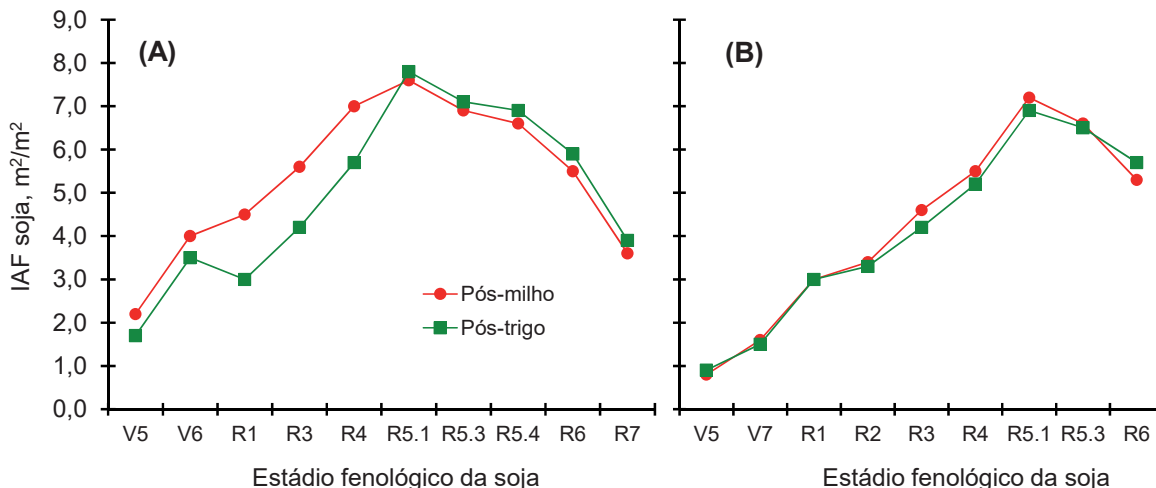


Figura 7. Índice de área foliar (IAF) da soja (BRS 1010 IPRO) cultivada após o milho segunda safra e após o trigo, avaliado em diferentes estádios fenológicos da cultura nas safras 2016/2017 (A) e 2017/2018 (B), em ensaio conduzido na Fazenda Experimental da Embrapa Soja, Londrina, PR.

Fonte: adaptado de Yokoyama et al. (2018).

Os resultados da safra 2020/2021 do ensaio 2 (Tabela 1), conduzido em Cafelândia, PR, também contribuem para esclarecer o efeito conjunto da disponibilidade hídrica e do intervalo entre a colheita do trigo e da semeadura da soja sobre o crescimento inicial e a produtividade da oleaginosa. A soja foi semeada em todos os tratamentos no dia 07/10/2020, correspondendo a um intervalo de 17

dias e 38 dias após a colheita do trigo terceira safra (cultivado após o milho segunda safra) e do trigo safra normal (semeado pós-soja), respectivamente (Debiasi et al., 2023). O desenvolvimento inicial da soja (estádios vegetativos) ocorreu sob intenso déficit hídrico (Figura 8), resultando em diferenças consideráveis no crescimento da soja em resposta aos tratamentos (Figuras 9 e 10).

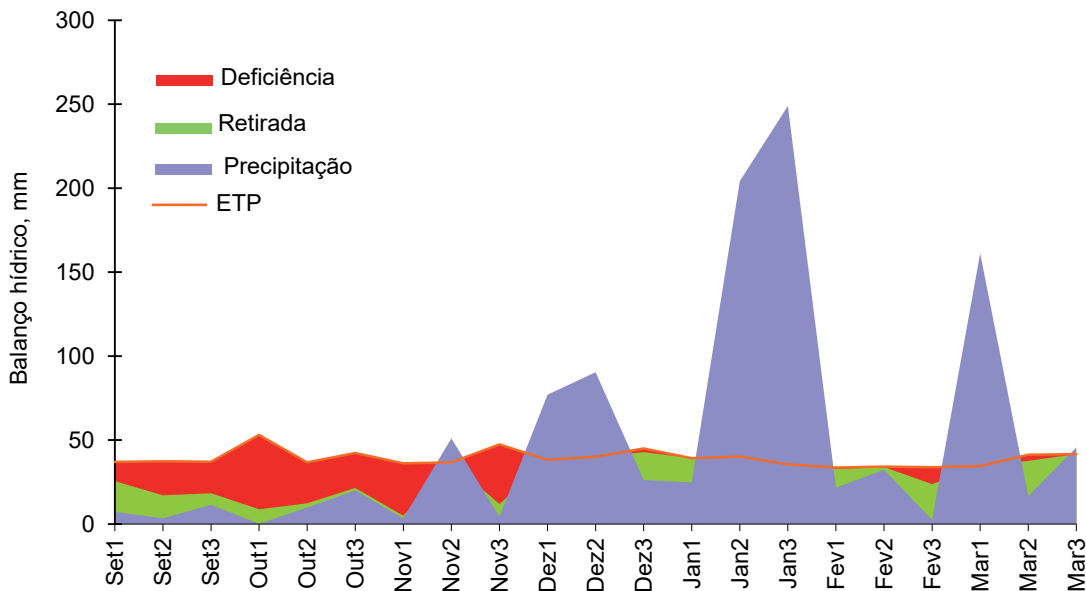


Figura 8. Balanço hídrico sequencial (método de Thornthwaite e Mather, 1955) por decêndio na safra 2020/2021, no Centro de Pesquisa Agrícola (CPA) da Copacol, em Cafelândia, PR.

Fonte: Debiasi et al. (2023).

Na Figura 9, são apresentados os valores do índice de reflectância fotoquímica modificado (*Modified Photochemical Reflectance Index* -MPRI), determinado a partir de imagens aéreas georreferenciadas obtidas com o uso de veículo aéreo não tripulado (VANT), em três épocas durante o ciclo da soja. O MPRI é um índice de vegetação baseado na relação entre as bandas no comprimento de onda do verde e do vermelho. Na prática, quanto maior o MPRI, maior a proporção de verde em relação ao vermelho, o que indica maior desenvolvimento vegetativo da cultura. Aos 75 DAS, observa-se que o MPRI da soja foi expressivamente

maior em cultivo pós-milho segunda safra, demonstrando novamente menor crescimento vegetativo da oleaginosa implantada em sucessão ao trigo. Comparando os tratamentos pós-trigo, verifica-se que o menor MPRI e, conseqüentemente, o menor crescimento vegetativo da soja aos 75 DAS, ocorreu nas parcelas de trigo terceira safra, onde o intervalo entre a colheita do cereal e a semeadura da oleaginosa foi de apenas 17 dias. O aspecto visual das plantas de soja aos 70 DAS comprova o crescimento da soja nessa ordem de grandeza: pós-milho segunda safra > pós-trigo safra normal > pós-trigo terceira safra (Figura 10).

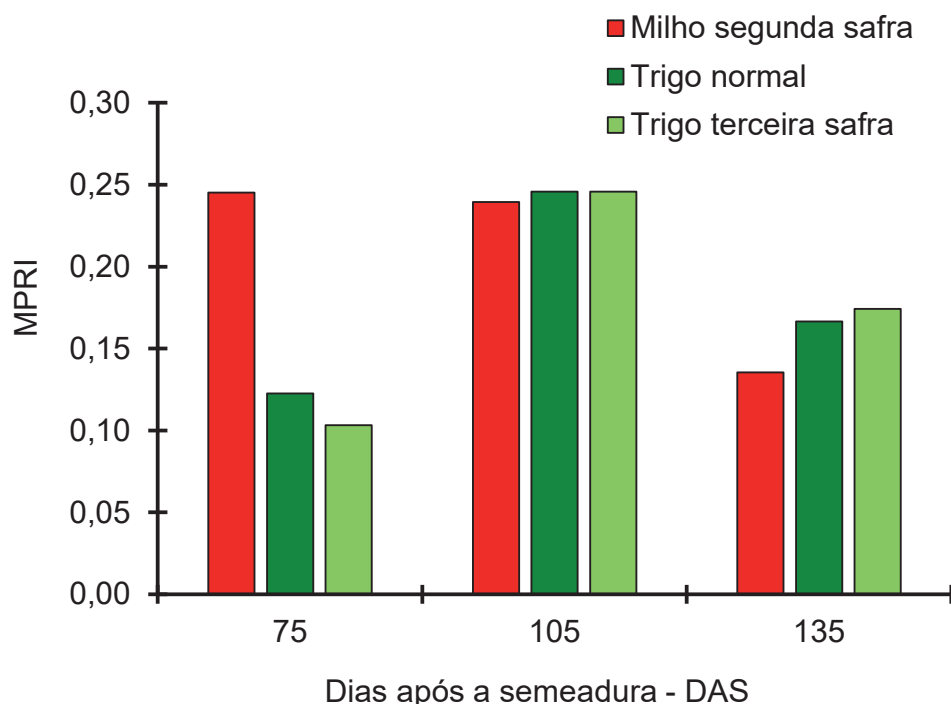


Figura 9. Índice de reflectância fotoquímica modificado (*Modified Photochemical Reflectance Index* - MPRI) em três épocas durante o ciclo de desenvolvimento da soja safra 2020/2021, cultivada após milho segunda safra, trigo safra normal e trigo terceira safra, em experimento conduzido no Centro de Pesquisa Agrícola (CPA) da Copacol, em Cafelândia, PR.

No estágio de enchimento de grãos (105 DAS), os valores de MPRI foram iguais entre os tratamentos, demonstrando que o crescimento da soja nas parcelas sob trigo tornou-se similar ao observado em cultivo pós-milho segunda safra (Figura 9). Isso pode ser atribuído à adequada disponibilidade hídrica a partir de dezembro (Figura 8), o que, associado ao adequado manejo da

cultura no experimento, permitiu a recuperação do crescimento da soja nas parcelas pós-trigo. Na terceira avaliação (135 DAS), os maiores valores de MPRI passaram a ser observados nos tratamentos com trigo no outono/inverno ou terceira safra, evidenciando aumento da duração do ciclo da soja.

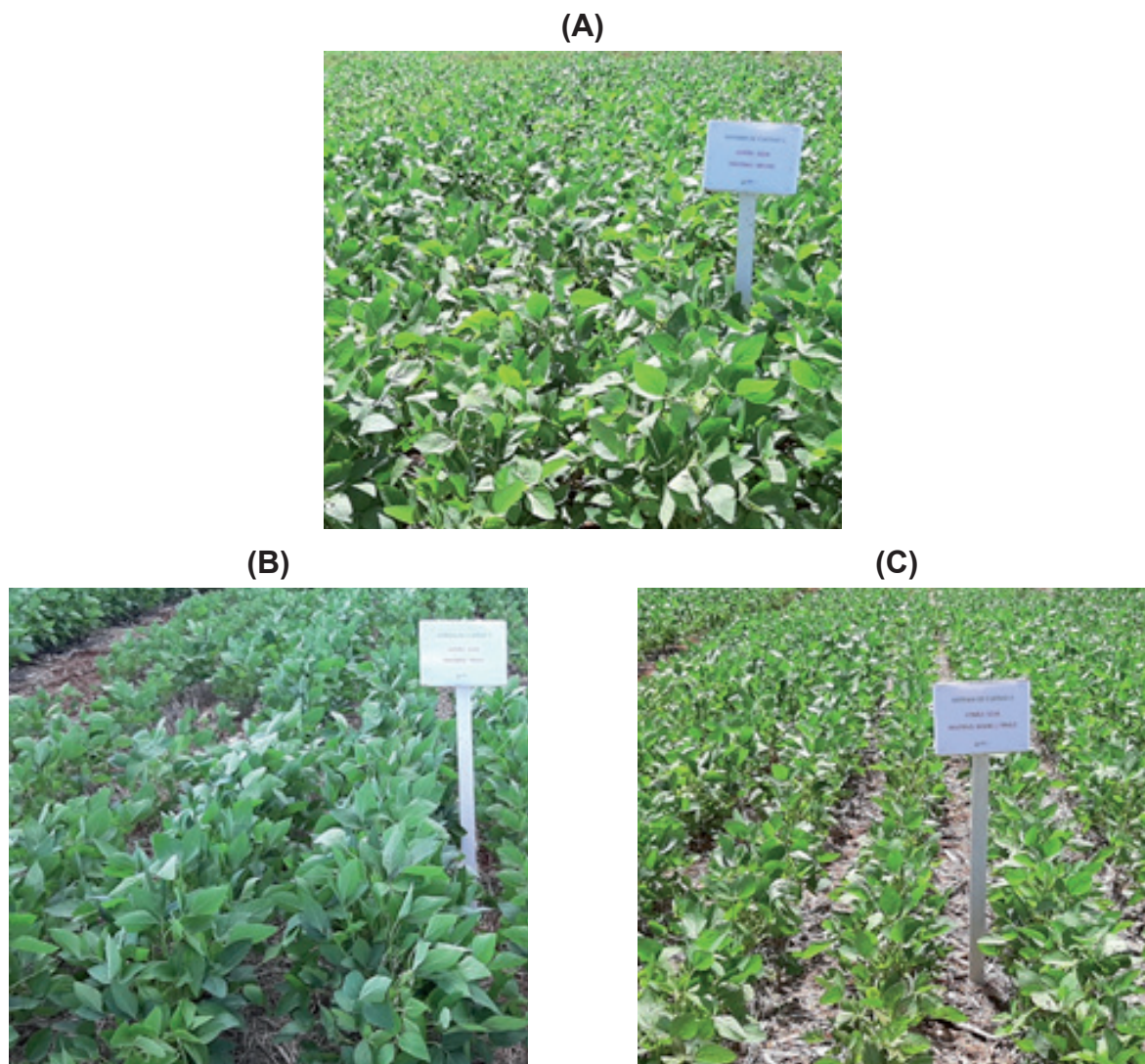


Figura 10. Aspecto visual da soja aos 70 dias após a semeadura na safra 2020/2021 do ensaio 2, conduzido no Centro de Pesquisa Agrícola da Copacol, em Cafelândia, PR, nas parcelas cultivadas no outono-inverno com milho segunda safra (A), trigo safra normal (B) e trigo terceira safra (C).

A recuperação do crescimento da soja pós-trigo no ensaio 2 é reforçada pelos dados de produtividade de grãos da cultura (Debiasi et al., 2023). Nas parcelas cultivadas com milho segunda safra, a produtividade média da soja foi de 5.012 kg/ha, valor similar ao obtido no tratamento com trigo terceira safra (5.020 kg/ha). Por outro lado, a produtividade da soja pós-trigo safra normal foi de 5.296 kg/ha o que corresponde a um incremento de 284 kg/ha (+5,7%) em relação à sucessão milho segunda safra/soja. Assim, mesmo sob um longo período de déficit hídrico na fase vegetativa da soja, a ocorrência de condições climáticas favoráveis nos estádios fenológicos subsequentes, associada a um intervalo entre a colheita do trigo e semeadura da soja superior a 20 dias, proporcionaram maiores produtividades da oleaginosa em cultivo pós-trigo comparativamente ao cultivo pós-milho segunda safra.

O efeito da disponibilidade hídrica sobre a resposta da produtividade da soja ao intervalo entre a colheita do trigo e a semeadura da oleaginosa fica mais evidente quando se compara a safra 2020/2021 com a 2022/2023 no ensaio 2. Na safra 2022/2023, a soja foi semeada em 17/10/2022, correspondendo a um intervalo de 7 e 37 dias após a colheita do trigo terceira safra e safra normal, respectivamente. Ao contrário do observado na safra 2020/2021 (Figura 8), o período pré-semeadura da soja e os estádios iniciais de desenvolvimento da cultura na safra 2022/2023 coincidiram com altos volumes de precipitação (Figura 11). No intervalo compreendido entre 14 dias antes e 35 dias após a semeadura da soja, o volume de chuvas foi de 497,8 mm em 2022, contra apenas 47 mm no mesmo período em 2020. Sob as condições de alta disponibilidade hídrica no perfil do solo durante os estádios iniciais

de desenvolvimento da soja na safra 2022/2023, a maior produtividade da cultura ocorreu após o trigo terceira safra (5.009 kg/ha), seguido da semeadura pós trigo safra normal (4.776 kg/ha) e pós-milho segunda safra (4.153 kg/ha) (Debiasi et al., 2023). As diferenças em relação ao cultivo pós-milho segunda safra foram de +856 kg/ha (+20,6%) e +623 kg/ha (+15,0%) quando a soja foi implantada

em sucessão ao trigo terceira safra e ao trigo safra normal, respectivamente. Assim, esses resultados demonstraram que, sob adequada disponibilidade hídrica no perfil de solo durante a fase inicial de desenvolvimento da soja, o trigo proporciona maiores produtividades de grãos mesmo quando o intervalo entre a colheita do trigo e a semeadura da oleaginosa é pequeno.

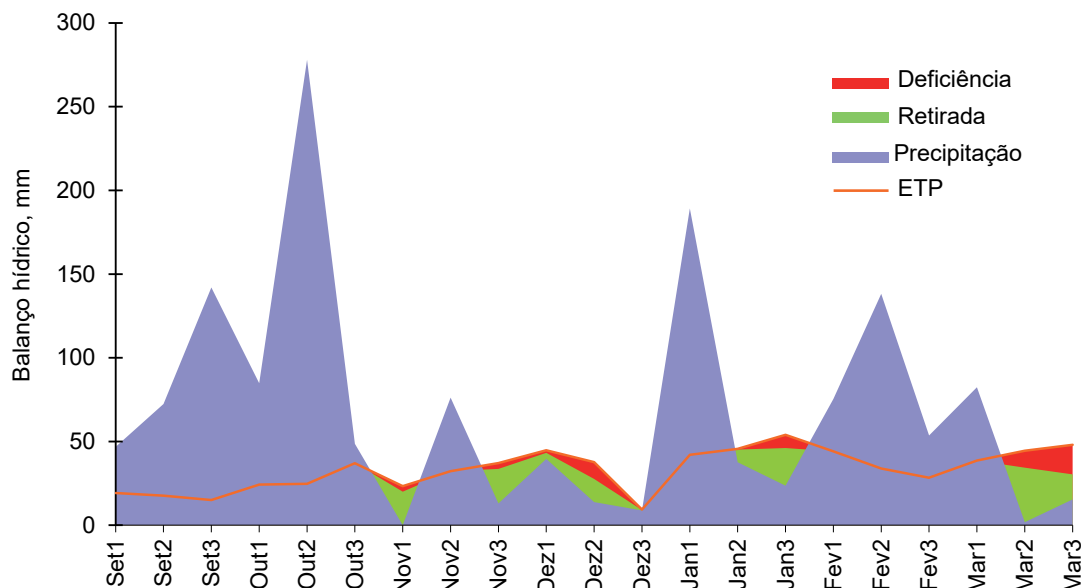


Figura 11. Balanço hídrico sequencial (método de Thornthwaite e Mather, 1955) por decêndio na safra 2022/2023, no Centro de Pesquisa Agrícola (CPA) da Copacol, em Cafelândia, PR.

Fonte: Debiasi et al. (2023).

Conclusões

- O cultivo de trigo no outono-inverno resulta em maiores produtividades de soja comparativamente ao milho segunda safra na maioria das situações.

- A duração do período entre a colheita do trigo e a semeadura da soja, a disponibilidade de água no perfil de solo durante as fases iniciais de desenvolvimento da cultura, e as condições de clima e de manejo durante todo o ciclo da oleaginosa, são os principais aspectos que determinam a relação entre a produtividade da soja pós-trigo e pós-milho segunda safra.

- A semeadura da soja com intervalos maiores que 20 dias em relação à colheita do trigo e sob condições de disponibilidade adequada de água no perfil de solo, associada ao correto manejo da cultura para que o índice de área foliar no subperíodo de enchimento de grãos atinja os valores ótimos, são estratégias que potencializam a produtividade da soja implantada em sucessão ao trigo.

Agradecimentos

À Embrapa, pelo financiamento do projeto Diver\$ifique+ - Diversificação da matriz produtiva na sucessão milho segunda safra/soja com base em modelos de produção intensificados (SEG 20.19.03.007.00.00.00).

À Itaipu Binacional, pelo financiamento parcial dos ensaios 2, 3, 5 e 6 (Tabela 1), por meio do projeto 725 - FAPED/ITAIPU/EMBRAPA SOJA - CONVÊNIO N° 4500059808, denominado "Inovações na abordagem temática para a conservação de solo e água em bacias hidrografias no entorno da Represa de Itaipu".

À Unidade de Demonstração de Tecnologias (UDT) da Cocamar Cooperativa Agroindustrial, em Floresta, PR, pela implantação, condução e avaliação do ensaio 1 (Tabela 1), cujos resultados foram utilizados na elaboração deste trabalho.

Ao Centro de Pesquisas Agrícolas (CPA) da Copacol, em Cafelândia, PR, pela implantação, condução e avaliação do ensaio 2 (Tabela 1), cujos resultados foram utilizados na elaboração deste trabalho.

Referências

- ALMEIDA, A. M. R.; SEIXAS, C. D. S.; FARIAS, J. R. B.; OLIVEIRA, M. C. N. de; FRANCHINI, J. C.; DEBIASI, H.; COSTA, J. M. da; GAUDÊNCIO, C. de A. **Macrophomina phaseolina em soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2014. 55 p. (Embrapa Soja. Documentos, 346).
- BALBINOT JUNIOR, A. A.; DEBIASI, H.; FRANCHINI, J. C.; OLIVEIRA, M. A. de; COELHO, A. E.; MORAES, M. T. de. Soybean yield, seed protein and oil concentration, and soil fertility affected by off-season crops. **European Journal of Agronomy**, v. 153, 127039, 2024.
- BALBINOT JUNIOR, A. A.; FERREIRA, A. S.; WERNER, F.; SILVA, M. A. de A. e; ZUCARELI, C. **Índice de área foliar da soja em função da redução da densidade de semeadura**. Londrina: Embrapa Soja, 2018. 18 p. (Embrapa Soja. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 17).
- BALBINOT JUNIOR, A. A.; NEPOMUCENO, A. L.; HIRAKURI, M. H.; FRANCHINI, J. C.; DEBIASI, H.; COELHO, A. E. **Análise da produção, área cultivada, produtividade e estabilidade produtiva da soja nos estados brasileiros em 25 safras (1996/1997 a 2020/2021)**. Londrina: Embrapa Soja, 2022. 20 p. (Embrapa Soja. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 27).
- BERTOLLO, A. M.; MORAES, M. T.; FRANCHINI, J. C.; SOLTANGHEISI, A.; BALBINOT JUNIOR, A. A.; LEVIEN, R.; DEBIASI, H. Precrops alleviate soil physical limitations for soybean root growth in an Oxisol from southern Brazil. **Soil & Tillage Research**, v. 206, 104820, 2021.
- CONAB. **Séries históricas**: grãos. 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/conab/pt-br/atuacao/informacoes-agropecuarias/safras/series-historicas>. Acesso em: 7 ago. 2025.
- COSTAMILAN, L. M.; SOARES, R. M.; BERTAGNOLLI, P. F. Podridão radicular de fitóftora. In: ALMEIDA, A. M. R.; SEIXAS, C. D. S. (ed.). **Soja: doenças radiculares e de hastes e inter-relações com o manejo do solo e da cultura**. Londrina: Embrapa Soja, 2010. p. 105-126.
- DEBIASI, H.; BALBINOT JUNIOR, A. A.; FRANCHINI, J. C. **Diversificação da sucessão milho segunda safra/soja por meio de modelos de produção intensificados envolvendo cultivo de trigo associado a culturas graníferas na janela outonal no norte paranaense**. Londrina: Embrapa Soja, 2025a. 80 p. (Embrapa Soja. Documentos, 476).
- DEBIASI, H.; BALBINOT JUNIOR, A. A.; FRANCHINI, J. C.; TONINI, V.; ROY, J. M.; MUHL, A. **Modelos de produção intensificados para diversificação da matriz produtiva para além da sucessão milho segunda safra/soja nas regiões Centro-oeste e Oeste do Paraná**. Londrina: Embrapa Soja, 2023. 72 p. (Embrapa Soja. Documentos, 459).
- DEBIASI, H.; FRANCHINI, J. C.; COELHO, A. E.; BALBINOT JUNIOR, A. A. Cover crops increase the yield and profitability of soybean-wheat cropping systems in Southern Brazil. **International Journal of Plant Production**, v. 19, p. 183-195, 2025b.
- DEBIASI, H.; FRANCHINI, J. C.; SANTOS, E. L. dos; CECCATTO, S. el K.; BALBINOT JUNIOR, A. A.; CONTE, O.; NUNES, E. da S.; FURLANETTO, R. H. **Diagnóstico da qualidade do manejo e impacto de modelos de produção aprimorados sobre a fertilidade do solo nas regiões Norte e Noroeste do Paraná**. Londrina: Embrapa Soja, 2021. 69 p. (Embrapa Soja. Documentos, 441).
- 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).
- DERPSCH, R.; SIDIRAS, N.; ROTH, C. H. Results of studies made from 1977 to 1984 to control erosion by cover crops and no-tillage techniques in Paraná, Brazil. **Soil & Tillage Research**, v. 8, p. 253-263, 1986.
- DIANESE, A. C.; FARIAS NETO, A. L.; OLIVEIRA, P. R. P. M.; ALMEIDA, A. M. R.; SEIXAS, C. D. S. Podridão radicular de fitóftora. In: ALMEIDA, A. M. R.; SEIXAS, C. D. S. (ed.). **Soja: doenças radiculares e de hastes e inter-relações com o manejo do solo e da cultura**. Londrina: Embrapa Soja, 2010. p. 29-47.
- DIAS, W. P.; ASMUS, G. L.; SILVA, J. F. V.; GARCIA, A.; CARNEIRO, G. E. S. Nematoides. In: ALMEIDA, A. M. R.; SEIXAS, C. D. S. (ed.). **Soja: doenças radiculares e de hastes e inter-relações com o manejo do solo e da cultura**. Embrapa Soja: Londrina, 2010. p. 173-206.
- FRANCHINI, J. C.; BALBINOT JUNIOR, A. A.; JORGE, L. A. de C.; DEBIASI, H.; DIAS, W. P.; GODOY, C. V.; OLIVEIRA JUNIOR, A. de; CORREA, F. B.; OLIVEIRA, M. C. N. de. **Uso de imagens aéreas obtidas com drones em sistemas de produção de soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2018. 39 p. (Embrapa Soja. Documentos, 408).

- GARBELINI, L. G.; FRANCHINI, J. C.; DEBIASI, H.; BALBINOT JUNIOR, A. A.; BETOLI JUNIOR E.; TELLES, T. S. Profitability of soybean production models with diversified crops in the autumn-winter. **Agronomy Journal**, v. 112, p. 4092-4103, 2020.
- GASPARIM, E.; RICIERI, R. P.; SILVA, S. de L.; DALLACORT, R.; GNOATTO, E. Temperatura no perfil do solo utilizando duas densidades de cobertura e solo nu. **Acta Scientiarum**, v. 27, p. 107-115, 2005.
- GAZZIERO, D. L. P.; ADEGAS, F. S.; VOLL, E. Plantas daninhas e seu controle. 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. 265-280. (Embrapa Soja. Sistemas de Produção, 17).
- HUNGRIA, M.; CAMPO, R. J.; MENDES, I. C. **Fixação biológica do nitrogênio na cultura da soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2001. 48 p. (Embrapa Soja. Circular Técnica, 35).
- LAMEGO, F. P.; KASPARY, T. E.; RUCHEL, Q.; GALLON, M.; BASSO, C. J.; SANTI, A. L. Manejo de *Conyza bonariensis* resistente ao glyphosate: coberturas de inverno e herbicidas em pré-semeadura da soja. **Planta Daninha**, v. 31, p. 433-442, 2013.
- MERTEN, G. H.; ARAÚJO, A. G.; BISCAIA, R. C. M.; BARBOSA, G. M. C.; CONTE, O. No-till surface runoff and soil losses in southern Brazil. **Soil & Tillage Research**, v. 152, p. 85-93, 2015.
- MORAES, M. T. de; BENGOUGH, A. G.; DEBIASI, H.; FRANCHINI, J. C.; LEVIEN, R.; SCHNEPF, A.; LEITNER, D. Mechanistic framework to link root growth models with weather and soil physical properties, including example applications to soybean growth in Brazil. **Plant and Soil**, v. 428, p. 1-26, 2018.
- MORAES, M. T. de; DEBIASI, H.; CARLESSO, R.; FRANCHINI, J. C.; SILVA, V. R. da; LUZ, F. B. da. Soil physical quality on tillage and cropping systems after two decades in the subtropical region of Brazil. **Soil & Tillage Research**, v. 155, p. 351-362, 2016.
- MORAES, M. T. de; DEBIASI, H.; FRANCHINI, J. C.; MASTROBERTI, A. A.; LEVIEN, R.; LEITNER, D.; SCHNEPF, A. Soil compaction impacts soybean root growth in an Oxisol from subtropical Brazil. **Soil & Tillage Research**, v. 200, 104611, 2020.
- MUNEVAR, F.; WOLLUM II, A. G. Effect of high root temperature and *Rhizobium* strain on nodulation, nitrogen fixation, and growth of soybeans. **Soil Science Society of America Journal**, v. 45, p. 1113-1120, 1981.
- NITSCHKE, P. R.; CARAMORI, P. H.; RICCE, W. da S.; PINTO, L. F. D. **Atlas climático do Estado do Paraná**. Londrina: IAPAR, 2019. 210 p.
- NÓIA JUNIOR, R. de S.; SENTELHAS, P. C. Soybean-maize succession in Brazil: Impacts of sowing dates on climate variability, yields and economic profitability. **European Journal of Agronomy**, v. 103, p.140-151, 2019.
- PARANÁ. Secretaria da Agricultura e do Abastecimento. **Estimativa de safra: resumo estadual**. 2025. Disponível em: <https://www.agricultura.pr.gov.br/safras>. Acesso em: 09 abr. 2025.
- PREVEDELLO, C. L. Energia térmica do solo. In: van LIER, Q. de J. (ed.). **Física do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2010. p. 177-211.
- PUSHKALA, S.; YAGARAJARAO, Y. Influence of different soil temperatures on water use, growth and internal water status of soybean. **Plant and Soil**, v. 109, p. 288-290, 1988.
- R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2024. Disponível em: <https://www.R-project.org>. Acesso em: 26 abr. 2024.
- RILLO, S.; ÁLVAREZ, C.; BAGNATO, R.; NOELLEMEYER, E. Cultivos de cobertura: gramíneas y leguminosas en el Centro Oeste de la provincia de Buenos Aires. In: ÁLVAREZ, C.; QUIROGA, A.; SANTOS, D.; BODRERO, M. **Contribuciones de los cultivos de coberturas a la sostenibilidad de los sistemas de producción**. La Pampa: Ediciones INTA, 2013. p. 58-68.
- SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; ARAUJO FILHO, J. C. de; OLIVEIRA, J. B. de; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2018. E-book.
- SIBALDELLI, R. N. R.; FARIAS, J. R. B. **Boletim agrometeorológico da Embrapa Soja Londrina, PR - 2016**. Londrina: Embrapa Soja, 2017. 30 p. (Embrapa Soja. Documentos, 382).
- SIBALDELLI, R. N. R.; FARIAS, J. R. B. **Boletim agrometeorológico da Embrapa Soja Londrina, PR - 2017**. Londrina: Embrapa Soja, 2018. 29 p. (Embrapa Soja. Documentos, 399).
- SIBALDELLI, R. N. R.; CRUSIOL, L. G. T.; SILVA, B. M. da; GONCALVES, S. L.; FARIAS, J. R. B. **Boletim agrometeorológico da Embrapa Soja, Londrina, PR - 2022**. Londrina: Embrapa Soja, 2023. 28 p. (Embrapa Soja. Documentos, 452).

SIBALDELLI, R. N. R.; CRUSIOL, L. G. T.; SILVA, B. M. da; GONCALVES, S. L.; FARIAS, J. R. B. **Boletim agrometeorológico da Embrapa Soja, Londrina, PR - 2024**. Londrina: Embrapa Soja, 2025. 35 p. (Embrapa Soja. Documentos, 471).

SIBALDELLI, R. N. R.; GONCALVES, S. L.; FARIAS, J. R. B. **Boletim agrometeorológico da Embrapa Soja, Londrina, PR - 2021**. Londrina: Embrapa Soja, 2022. 29 p. (Embrapa Soja. Documentos, 445).

SOARES, R. M.; DEBIASI, H.; MEYER, M. C.; LOBO JUNIOR, M. Manejo de doenças em sistema plantio direto. In: SISTEMA Plantio Direto no Brasil. Passo Fundo: Aldeia Norte Editora, 2022. p. 119-143.

THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. **The water balance**. New Jersey: Drexel Institute of Technology, 1955. 104 p. (Climatology, v. 8, n. 1). 104 p.

TONON-DEBIASI, B. C.; DEBIASI, H.; RONDINA, A. B. L.; MORAES, M. T. de; FRANCHINI, J. C.; BALBINOT JUNIOR, A. A.; HUNGRIA, M.; NOGUEIRA, M. A. Microbial attributes as structural quality index for physical health of an Oxisol under compaction levels. **Soil and Tillage Research**, v. 235, 105872, 2024.

WALLACE, J. M.; CURRAN, W. S.; MORTENSEN, D. A. Cover crop effects on horseweed (*Erigeron canadensis*) density and size inequality at the time of herbicide exposure. **Weed Science**, v. 67, p. 327-338, 2019.

WU, H.; PRATLEY, J.; LEMERLE, D.; HAIG, T. Allelopathy in wheat (*Triticum aestivum*). **Annals of Applied Biology**, v. 139, p. 1-9, 2001.

YOKOYAMA, A.; RIBEIRO, R. H.; BALBINOT JUNIOR, A. A.; FRANCHINI, J. C.; DEBIASI, H.; ZUCARELI, C. Índices de área foliar e SPAD da soja em função de culturas de entressafra e nitrogênio e sua relação com a produtividade. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 41, p. 953-962, 2018.