

Documentos

Londrina, PR / Agosto, 2025

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



***Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Soja
Ministério da Agricultura e Pecuária***

ISSN 2176-2937

Documentos 476

Agosto, 2025

**Diversificação da sucessão milho segunda
safrá/soja por meio de modelos de
produção intensificados envolvendo cultivo
de trigo associado a culturas graníferas
na janela outonal no norte paranaense**

*Henrique Debiasi
Alvadi Antonio Balbinot Junior
Julio Cezar Franchini*

***Embrapa Soja
Londrina, PR
2025***

Embrapa Soja

Rod. Carlos João Strass, s/n
Acesso Orlando Amaral, Distrito da Warta
CEP 86065-981
Caixa Postal 4006
Londrina, PR
Fone: (43) 3371 6000
www.embrapa.br/soja

www.embrapa.br/fale-conosco/sac

Comitê Local de Publicações da Embrapa Soja

Presidente

Roberta Aparecida Carnevali

Secretária-executiva

Regina Maria Villas Bôas de Campos Leite

Membros

*Adonis 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

Projeto gráfico

Leandro Sousa Fazio

Diagramação

Marisa Yuri Horikawa

Foto da capa

Henrique Debiasi

Publicação digital: PDF

Todos os direitos reservados

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte,
constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Embrapa Soja

Debiasi, Henrique

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 / Henrique Debiasi, Alvadi Antonio Balbinot Junior, Julio Cezar Franchini – Londrina : Embrapa Soja, 2025.

77 p. – (Documentos / Embrapa Soja, ISSN 2176-2937 ; n. 476)

1. Milho. 2. Soja. 3. Trigo. 4. Grão. 5. Granífera. 6. Produção de sementes. 7. Produção vegetal. 8. Diversificação de cultura. 9. Sistema de cultivo. 10. Cultivo sucessivo. I. Balbinot Junior, Alvadi Antonio. II. Franchini, Julio Cezar. III. Título. IV. Série.

CDD (21. ed.) 633.1

Valéria de Fátima Cardoso (CRB-9/1188)

© 2025 Embrapa

Autores

Henrique Debiasi

Engenheiro-agrônomo, doutor em Ciências do Solo, pesquisador da Embrapa Soja, Londrina, PR.

Alvadi Antonio Balbinot Junior

Engenheiro-agrônomo, doutor em Produção Vegetal, pesquisador da Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS.

Julio Cezar Franchini

Engenheiro-agrônomo, doutor em Ciências, pesquisador da Embrapa Soja, Londrina, PR.

Apresentação

Segundo dados da Companhia Nacional de Abastecimento (Conab), a produção de grãos do país quase triplicou em vinte anos, passando de 112 milhões de toneladas na safra 2004/2005 para mais de 332 milhões de toneladas em 2024/2025. A intensificação dos sistemas de produção, principalmente por meio da consolidação e expansão do milho implantado em segunda safra após a soja, tem sido apontada como um dos principais fatores responsáveis por viabilizar esse crescimento e, ao mesmo tempo, aumentar a eficiência da utilização da terra, mão-de-obra e insumos. Ao lado do aumento da produtividade, a intensificação da produção pelo sistema milho segunda safra/soja tem se constituído em um dos principais aspectos associados ao efeito poupa-terra, reduzindo assim a pressão pela conversão de áreas de vegetação nativa em lavouras, com reflexos positivos na preservação do meio ambiente.

Entretanto, diversas pesquisas têm demonstrado que uso contínuo da sucessão milho segunda safra/soja pode prejudicar a qualidade do solo, sobretudo no que diz respeito a sua estrutura física e à atividade e diversidade biológicas. Esses aspectos, associados à cobertura insuficiente do solo, limitam a produtividade da soja e do milho especialmente em safras com baixa disponibilidade hídrica, além de aumentar os custos de produção e os riscos associados à erosão. Diante disso, torna-se necessário desenvolver e validar novas opções de modelos de produção que aprimorem e diversifiquem essa sucessão, conciliando maior diversidade de plantas e maior adição de biomassa vegetal ao solo, com aumento do lucro obtido pelo produtor rural.

Esta publicação apresenta resultados de pesquisa realizada por três anos, em condições de clima e solo representativas da região norte do Paraná, como parte do projeto Diver\$ifique+. Foram avaliados seis modelos de produção, sendo possível indicar um modelo alternativo à sucessão soja/milho segunda safra, que propicia maior lucro operacional e que não apresenta restrições técnicas e

operacionais ao uso em larga escala. Além disso, esses resultados podem ser validados para outras regiões do país.

Esperamos que os resultados ora apresentados sejam úteis para o aprimoramento contínuo dos modelos de produção da região norte do Paraná, proporcionando assim benefícios econômicos, ambientais e sociais para toda a sociedade.

Roberta Aparecida Carnevalli
Chefe-adjunta de Pesquisa e Desenvolvimento
Embrapa Soja

Sumário

Caracterização do problema	7
Ambiente físico e produção de grãos no norte do Paraná	7
Diversificação de culturas em modelos de produção de grãos no norte do Paraná	12
Opções de culturas graníferas para cultivo na janela outonal pré-trigo	15
Hipótese e objetivo	25
Material e métodos	26
Resultados e discussão	34
Indicações técnicas a partir dos resultados obtidos	58
Considerações finais	63
Agradecimentos	64
Referências	64

Caracterização do problema

Ambiente físico e produção de grãos no norte do Paraná

O estado do Paraná ocupa uma posição de destaque no agronegócio brasileiro e mundial, sobretudo no que se refere à produção de grãos. Dados da Conab (2025) revelam que a produção de grãos no estado saltou de 25,7 milhões de toneladas na safra 2003/2004 para 37,3 milhões de toneladas em 2023/2024, o que representa um aumento de mais de 45% em 20 anos. Dentre as culturas com maior crescimento nesse período, destacam-se a soja (10 milhões para 18 milhões de toneladas) e o milho (11,2 milhões para 14,9 milhões de toneladas). O expressivo crescimento da produção de grãos no Paraná é justificado pela expansão da área cultivada e, principalmente, pelo aumento da produtividade e pela intensificação dos sistemas de produção, sendo a expansão do milho na segunda safra, em sucessão à soja, o maior exemplo. Parte significativa da produção de grãos do estado provém da região norte. Considerando as safras de 2020/2021 a 2023/2024, essa região respondeu por aproximadamente 24%; 27% e 33% da produção estadual de soja, trigo e milho segunda safra, respectivamente (Paraná, 2025).

Conforme a Secretaria de Agricultura e do Abastecimento do Estado do Paraná (Paraná, 2024), a região norte compreende 122 municípios agrupados nos núcleos regionais de Apucarana, Cornélio Procopio, Ivaiporã, Jacarezinho, Londrina e Maringá. Essa região apresenta grandes variações de clima, solo e altitude, o que resulta em ampla diversidade de ambientes e determina a composição dos sistemas de produção, o potencial produtivo das culturas e a estabilidade de produção ao longo do tempo. As classes de solos mais frequentes na região são associações entre Latossolos e Nitossolos, que ocupam cerca de 60% da área, e associações com predominância de Argissolos, distribuídos em aproximadamente 20%

da área (Oliveira et al., 2024). Com relação à textura, há predominância de solos argilosos e muito argilosos formados pelo intemperismo de rochas basálticas. Entretanto, uma porção significativa do norte paranaense apresenta solos com textura arenosa a média, originados de arenito vermelho do grupo São Bento Superior, posicionados acima do basalto ou arenito Caiuá (mais a oeste da região), ou de sedimentos paleozoicos, mais a leste da região (Oliveira et al., 2024). A maior parte das áreas agrícolas apresenta altitudes entre 290 m e 1.130 m (IAT, 2009), o que resulta em grande variabilidade espacial de temperaturas mínimas, médias e máximas na região.

De acordo com a classificação de Köppen, o clima predominante no norte do Paraná é do tipo subtropical úmido (Cfa) (Nitsche et al., 2019). Mesmo dentro da mesma classificação, as regiões apresentam diferenças marcantes de clima, conforme demonstrado pela comparação de algumas variáveis climáticas entre os municípios de Mauá da Serra, Londrina e Bandeirantes (Tabela 1). Dos municípios exemplificados, Mauá da Serra é localizado mais ao sul da região e com maior altitude (>1.000 m), apresentando assim menores temperaturas médias, mínimas e, principalmente, máximas. A precipitação total média anual é maior e as chuvas são mais bem distribuídas ao longo do ano, representando assim as áreas mais úmidas e frias da região. Já o município de Bandeirantes exemplifica o microclima das áreas mais secas e quentes da região, localizadas mais ao norte e com menor altitude (<450 m). Em comparação com Mauá da Serra, Bandeirantes apresenta temperatura média anual 3,4 °C mais quente, com as maiores diferenças absolutas na média das temperaturas máximas (+4,7 °C). A precipitação média anual é 453 mm menor em Bandeirantes e o inverno é mais seco e quente, o que limita o crescimento das culturas principalmente nos meses de junho a agosto. Por sua vez, Londrina está localizada numa latitude intermediária comparado aos outros dois municípios e apresenta valores predominantes de altitude variando entre 500 m e 600 m. Consequentemente, Londrina se caracteriza por valores intermediários de precipitação e temperaturas máximas, mínimas e médias.

Não obstante a importância da região norte no contexto da produção agrícola do Paraná, há espaço para melhorar o desempenho produtivo, econômico e ambiental dos sistemas de produção de grãos. Por exemplo, a produtividade média das duas principais espécies graníferas cultivadas no norte paranaense (soja e milho segunda safra) encontra-se significativamente abaixo do potencial genético (Nóia Junior; Sentelhas, 2019). Conforme Sentelhas et al. (2015), aproximadamente 85% da diferença entre a produtividade potencial e a observada deve-se ao não atendimento pleno das necessidades hídricas das plantas. Isso significa que, mesmo em safras consideradas “normais” do ponto vista climático, a produtividade das culturas de grãos tem sido limitada pela ocorrência de déficit hídrico.

Além de limitar a produtividade potencial, a ocorrência de secas tem frequentemente resultado em decréscimos expressivos na produtividade em comparação à média das safras consideradas “normais” no Paraná. No caso da região norte, na Tabela 2, elaborada a partir dos dados disponibilizados pelo Deral (Paraná, 2025), são apresentadas as perdas de produtividade da soja em safras com ocorrência de secas entre 2009/2010 e 2023/2024. Foram observadas perdas significativas de produtividade da soja em seis das 15 safras consideradas (40%). As perdas absolutas de produtividade variaram de 652 kg/ha a 1.442 kg/ha, o que representa uma redução média de quase 30%. A perda acumulada de produção nas seis safras foi de 8,4 milhões de toneladas, representando um prejuízo direto aos produtores de quase US\$ 3,5 bilhões em 15 anos. Salienta-se que os impactos da seca vão além dos produtores, prejudicando a economia dos municípios que, em sua maioria, tem na soja sua principal riqueza.

Tabela 1. Valores médios mensais de precipitação pluviométrica (P) e temperaturas máxima (Tmax), mínima (Tmin) e média (Tmed), nos municípios paranaenses de Mauá da Serra, Londrina e Bandeirantes.

Mês	Mauá da Serra /PR ⁽¹⁾					Londrina/PR ⁽²⁾					Bandeirantes/PR ⁽³⁾				
	Tmax	Tmin	Tmed	P	mm	Tmax	Tmin	Tmed	P	mm	Tmax	Tmin	Tmed	P	mm
Janeiro	26,1	17,6	21,3	217,8	29,5	19,7	23,9	20,4	24,8	201,1	26,1	17,6	21,3	217,8	29,5
Fevereiro	26,1	17,9	21,2	191,1	29,8	19,7	24,0	20,3	24,8	165,5	26,1	17,9	21,2	191,1	29,8
Março	25,8	17,4	20,9	170,0	29,6	18,9	23,5	19,5	24,3	129,7	25,8	17,4	20,9	170,0	29,6
Abril	24,0	15,9	19,2	120,2	28,0	16,8	21,7	17,3	22,5	91,0	24,0	15,9	19,2	120,2	28,0
Mai	20,9	13,4	16,4	195,8	24,4	13,7	18,4	14,2	19,2	106,3	20,9	13,4	16,4	195,8	24,4
Junho	19,4	11,8	14,9	126,6	23,1	12,1	17,0	12,6	17,8	78,9	19,4	11,8	14,9	126,6	23,1
Julho	19,5	11,4	14,7	87,3	23,6	11,7	17,0	12,3	17,9	58,7	19,5	11,4	14,7	87,3	23,6
Agosto	21,9	13,3	16,9	73,5	25,9	12,9	18,8	13,4	19,6	43,4	21,9	13,3	16,9	73,5	25,9
Setembro	22,5	13,1	17,1	144,9	26,9	14,7	20,3	15,3	21,1	102,9	22,5	13,1	17,1	144,9	26,9
Outubro	24,5	15,2	19,3	147,0	28,8	16,9	22,3	17,5	23,1	136,8	24,5	15,2	19,3	147,0	28,8
Novembro	25,4	16,3	20,4	187,7	29,4	18,0	23,2	18,6	23,9	138,4	25,4	16,3	20,4	187,7	29,4
Dezembro	25,4	17,2	20,8	217,1	29,5	19,2	23,8	19,9	24,7	173,4	25,4	17,2	20,8	217,1	29,5
Ano	23,5	15,0	18,6	1.879	27,4	16,2	21,2	16,8	22,0	1.426	23,5	15,0	18,6	1.879	27,4

⁽¹⁾ Dados relativos ao período 1979-1991. Fonte: Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná - Iapar-Emater (IDR/Paraná, 2025a). ⁽²⁾ Dados relativos ao período de 1976-2019. Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná - Iapar-Emater (IDR/Paraná, 2025b). ⁽³⁾ Dados relativos ao período de 1976-2019. Fonte: Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná - Iapar-Emater (IDR/Paraná, 2025c).

Tabela 2. Perdas de produtividade e produção da soja na região norte do Paraná em 15 safras (2009/2010 a 2023/2024).

Safra	Produtividade (kg/ha) ⁽¹⁾			Área de cultivo (mil ha) ⁽¹⁾	Produção perdida (mil t) ⁽⁴⁾
	Observada	Esperada ⁽²⁾	Perda ⁽³⁾		
2011/2012	1.879	3.321	1.442 (-43)	1.218	1.757
2013/2014	2.459	3.321	862 (-26)	1.390	1.197
2015/2016	2.669	3.321	652 (-20)	1.443	955
2018/2019	2.779	3.587	807 (-23)	1.541	1.244
2021/2022	2.470	3.587	1.117 (-32)	1.453	1.623
2023/2024	2.490	3.587	1.097 (-31)	1.466	1.608

⁽¹⁾ Dados do Deral (Paraná, 2025). ⁽²⁾ A produtividade esperada representa a produtividade média da soja (excetuando-se a observada nos anos secos) nos períodos de 2009/2010 a 2015/2016 e 2016/2017 a 2023/2024, levantadas junto ao Deral (Paraná, 2025). Dentro de cada um dos períodos, a produtividade se manteve estável sem aumentos significativos ao longo do tempo. ⁽³⁾ Números entre parênteses representam a perda percentual de produtividade em relação ao valor esperado. ⁽⁴⁾ Perda de produção obtida a partir da multiplicação da área de cultivo pela perda de produtividade em kg/ha.

Diante do exposto anteriormente, o desenvolvimento, a adaptação e a posterior utilização de práticas e tecnologias que aumentem a disponibilidade de água às plantas, é essencial para a sustentabilidade dos sistemas de grãos na região norte do Paraná. Nesse sentido, o foco deve ser a construção de um perfil de solo sem impedimentos físicos (compactação), químicos (acidez excessiva, com baixos teores de cálcio e presença de alumínio tóxico) e/ou biológicos (nematoides e fungos fitopatogênicos) ao crescimento radicular, possibilitando assim um maior volume de solo explorado em busca de água, sobretudo nas camadas mais profundas. Com base em modelos de crescimento radicular da soja, Debiasi et al. (2022) concluíram que a redução das limitações físicas, químicas e biológicas do solo tem potencial para aumentar a profundidade efetiva do sistema radicular da soja de valores entre 37 cm-61 cm (condições predominantes nas lavouras da região) para 92 cm-107 cm (sistemas com manejo aprimorado). Esse maior aprofundamento radicular pode duplicar o

volume de água disponível para a soja em solo muito argiloso (60 mm para 120 mm). A melhoria da estrutura do solo, além de favorecer o crescimento radicular (Bertollo et al., 2021), proporciona maior taxa de infiltração e armazenamento de água disponível às plantas, bem como otimiza os fluxos de água, oxigênio e nutrientes do solo para as raízes (Moraes et al., 2016, 2018).

Um outro aspecto que tem preocupado produtores e técnicos de todo o Paraná é a intensificação da erosão hídrica, o que tem levado ao aumento das perdas de solo e água com consequências negativas para a produção agrícola e o ambiente. Em alguns casos, a magnitude das perdas de água e solo por erosão é comparável à observada nas décadas de 1970 e 1980, quando predominavam sistemas de preparo com intenso revolvimento convencional do solo (Franchini et al., 2018). A perda da camada mais fértil do solo diminui a produtividade das culturas (Gaertner et al., 2003) e, considerando apenas a reposição dos nutrientes perdidos, representa prejuízos financeiros de até US\$ 108/ha/ano (Dechen et al., 2015). Além disso, a erosão gera impactos negativos sobre o ambiente, como a poluição e a alteração do regime de cursos de água superficiais (Lipiec et al., 2003).

Diversificação de culturas em modelos de produção de grãos no norte do Paraná

O sistema plantio direto (SPD), quando corretamente implantado e manejado de acordo com suas premissas (mínimo revolvimento, cobertura permanente do solo e diversificação de culturas), é uma das chaves para a construção de um perfil de solo com alta fertilidade física, química e biológica, o que resulta em redução da erosão hídrica, favorecimento do crescimento das raízes e maior disponibilidade de água, nutrientes e oxigênio às plantas (Debiasi et al., 2022). Além disso, a cobertura viva e/ou morta proporcionada pelo SPD protege a superfície do solo contra o impacto das gotas da chuva, evitando a formação de crostas superficiais e, assim, diminuindo as perdas de água e solo por erosão. A cobertura do solo beneficia tanto o

crescimento das raízes quanto os fluxos e o armazenamento de água disponível às plantas. Em clima tropical, a temperatura máxima de camadas superficiais descobertas do solo pode chegar a mais de 50 °C, o que paralisa o crescimento e o funcionamento das raízes, principalmente nos estádios iniciais da cultura (Pushkala; Yagarajarao, 1988). Outro efeito positivo da cobertura com palha é a redução das perdas de água por evaporação, aumentando assim a disponibilidade hídrica às plantas. Nesse sentido, Debiasi et al. (2022) relatam que as perdas de água por evaporação até o fechamento das entrelinhas de diferentes culturas são reduzidas a uma taxa de 6,6% a cada tonelada de palha sobre o solo.

A produção de palha e raízes e a diversidade de plantas são fatores-chave para que os benefícios potenciais do SPD sejam alcançados, sendo determinados pelo arranjo temporal e espacial das espécies vegetais e animais que compõem os sistemas agrícolas em modelos de produção (Denardin; Kochhann, 2007; Hirakuri et al., 2012). No entanto, o modelo de produção predominante na região norte envolve o uso contínuo da sucessão milho segunda safra/soja, cuja produção de biomassa da parte aérea e das raízes não é suficiente para manter ou melhorar a fertilidade física, química e biológica do solo no médio e longo prazos. Adicionalmente, 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 existência de um intervalo de 80 a 90 dias sem culturas vivas até a semeadura da soja, resultam em baixa cobertura do solo. Todos esses fatores, em conjunto com a baixa diversidade de espécies vegetais, prejudicam também o funcionamento da biota do solo (Tonon-Debiasi et al., 2024). Outra característica da sucessão milho segunda safra/soja é a necessidade de executar operações de colheita e semeadura no final de janeiro/começo de fevereiro, época em que se concentram os maiores volumes de chuva na maior parte do norte paranaense. Isso significa intensificação do tráfego de máquinas sob solo úmido, aumentando o potencial de compactação. O conjunto desses efeitos pode limitar a produtividade das culturas, aumentar os riscos de perdas de produtividade por estresses hídricos e intensificar os processos erosivos.

O cultivo de trigo é uma das opções para diversificar a sucessão milho segunda safra/soja, 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 pós-trigo, comparativamente ao cultivo pós-milho segunda safra (Garbelini et al., 2020; Debiasi et al., 2023; Balbinot Junior et al., 2024).

Os efeitos positivos da rotação do milho segunda safra com o trigo podem ser potencializados caso a janela outonal, correspondente ao intervalo de tempo entre a colheita da soja e a semeadura do trigo, seja cultivada com espécies vegetais de ciclo curto, que proporcionem maior adição de palha e raízes e maior diversidade biológica (Debiasi et al., 2025a). Dependendo do microclima, do ano, da data de semeadura, do ciclo da cultivar de soja e da época de semeadura do trigo, a duração da janela outonal pode chegar a 100 dias, tornando possível, inclusive, a produção de grãos de culturas de interesse comercial e ciclo compatível nesse período. O cultivo de uma espécie vegetal na entressafra soja/trigo que, além de aumentar o aporte de fitomassa da parte aérea e da raiz e a diversidade de plantas, permita agregar renda pela produção de grãos, pode viabilizar economicamente a rotação trigo/milho segunda safra como alternativa para diversificar e intensificar os modelos de produção no norte do Paraná. Entre as espécies vegetais com potencial para produção de grãos na janela soja/trigo na região norte do Paraná, destacam-se o trigo-mourisco (*Fagopyrum esculentum* Moench), cultivares híbridas de milheto granífero [*Cenchrus americanus* (L.) Morrone [syn. *Pennisetum glaucum* (L.) R.Br.], o feijão-caupi [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.] e cultivares ultraprecoces de cevada forrageira (*Hordeum vulgare* L.). Além da precocidade e da facilidade de cultivo, essas espécies utilizam estrutura já existente de máquinas e equipamentos em propriedades que produzem soja, milho e trigo, sem necessidade de investimentos adicionais.

Opções de culturas graníferas para cultivo na janela outonal pré-trigo

Trigo mourisco

O trigo-mourisco ou trigo-sarraceno é uma espécie vegetal dicotiledônea de primavera-verão pertencente à família das polygonáceas, rústica, de crescimento indeterminado e ciclo curto (70 dias a 90 dias). Por sua tolerância à acidez (Dwivedi, 1996) e capacidade de utilização de sais de fósforo e potássio pouco solúveis no solo (Magalhães et al., 1991), o trigo-mourisco é considerado uma planta de baixa exigência nutricional e com potencial de uso para melhorar a qualidade de solos degradados. Com relação às exigências climáticas, o trigo-mourisco se desenvolve melhor sob temperaturas amenas (18 °C a 25 °C), não tolerando geadas ou temperaturas inferiores a 3 °C (Carvalho et al., 2022). Para germinar, o trigo-mourisco necessita de temperaturas do solo acima de 18 °C (Fabian et al., 2021). Esses requerimentos de temperatura são compatíveis com as normais climáticas do norte paranaense (Tabela 1), para cultivo na janela outonal (fevereiro a abril).

Entre as limitações de cultivo do trigo-mourisco, destacam-se as perdas de grãos por causa da deiscência natural e do florescimento e da maturação desuniformes resultantes do crescimento indeterminado (Funatsuki et al., 2000). As plantas de trigo-mourisco têm um período longo de floração, começando a partir de 35 dias-50 dias após a semeadura (Carvalho et al., 2022). Ao mesmo tempo, as sementes amadurecem 10 dias após a floração e caem da planta em seguida, o que reduz a produtividade e causa potenciais problemas de plantas invasoras para as culturas seguintes (Pavek, 2016). Portanto, a dessecação pré-colheita, realizada no momento certo, é alternativa para solucionar esse problema, o que requer estudos específicos para as condições brasileiras. Guimarães et al. (2021), em experimento conduzido no município de Dois Vizinhos, sudoeste do Paraná, com o trigo-mourisco implantado no período da entressafra soja-trigo, concluíram que as maiores produtividades da cultura ocorreram

quando a dessecação foi realizada de três a seis dias após a data em que as plantas apresentavam no caule principal, em média, 70% dos grãos maduros, o que ocorreu aos 63 dias após a semeadura.

As principais cultivares utilizadas no Brasil são a IPR-91 (Baili) e IPR-92 (Altar), sendo a primeira de ciclo mais curto e de menor porte. A produtividade de grãos obtida experimentalmente tem sido amplamente variável, com valores entre 600 kg/ha e 4.000 kg/ha (Silva et al., 2002; Fabian et al., 2021). Em cultivos de outono, a produtividade é menor, variando entre 500 kg/ha e 2.000 kg/ha (Fabian et al., 2021; Guimarães et al., 2021).

Os grãos podem ser destinados à alimentação animal e humana, sendo nesse último caso, geralmente utilizados na produção de farinha sem glúten, destinada principalmente ao consumo por celíacos (Silva et al., 2002). Da mesma forma, os grãos apresentam alta concentração de proteína de alto valor biológico, com elevados teores de lisina (Kunachowicz et al., 1996).

As flores do trigo-mourisco são autoestéreis e, assim, requerem polinização por insetos ou vento para fertilização (Myers; Meinke, 1994). Portanto, a presença de insetos polinizadores é fator primordial para a produtividade da cultura (Goodman et al., 2001), o que deve ser levado em consideração no manejo químico de pragas e doenças da cultura, no sentido de permitir a convivência da cultura com os insetos polinizadores. É uma espécie grande produtora de néctar, apresentando elevado potencial para produção de mel e, também, como fonte de alimentação para insetos polinizadores (Wutke et al., 2023). No leste europeu, há relatos de uma produção média de 70 kg a 100 kg de mel por hectare de trigo-mourisco, chegando a um máximo de quase 260 kg/ha (Taranenko et al., 2016).

A maior parte da produção de trigo-mourisco é destinada ao mercado exterior, principalmente, para países asiáticos e europeus. Por apresentar múltiplos usos e possuir grande potencial como alimento nutracêutico, dietético e medicinal, a cultura vem atraindo cada vez mais interesse no mercado mundial de alimentos saudáveis, sendo considerado um alimento funcional, conforme definição da Fufose (The European Commission Concerted Action on Functional Food Science in Europe) (Górecka et al., 2009).

Milheto granífero

O milheto é uma planta anual de clima tropical pertencente à família das poáceas (gramíneas), de crescimento rápido, rústica e adaptada a solos de baixa fertilidade, apresentando média tolerância à acidez e ao alumínio (Wutke et al., 2023). Um aspecto interessante dessa cultura é a capacidade de se desenvolver e produzir grãos mesmo em condições de baixa disponibilidade hídrica, o que a torna excelente opção para cultivo na segunda safra na região Centro-Oeste do País (Durães et al., 2016). Nesse sentido, o milheto necessita de 280 g a 300 g de água para produzir um grama de matéria seca (Landau; Pereira Filho, 2009), o que significa que são necessários de 28 mm a 30 mm de água para cada tonelada de matéria seca produzida.

A temperatura base inferior do milheto é de, aproximadamente, 10 °C (Norman et al., 1995), sendo as condições térmicas ideais caracterizadas por temperaturas médias diurnas e noturnas de 28 °C a 32 °C e 15 °C a 28 °C, respectivamente (Landau; Pereira Filho, 2009). Portanto, é uma planta que se adapta às condições de clima na janela outonal (fevereiro a abril) presentes na maior parte da região norte do Paraná (Tabela 1). Por ser uma planta de dias curtos, a duração do ciclo do milheto até o florescimento diminui com o avanço da semeadura do verão para o outono, quando o fotoperíodo diminui (Durães et al., 2016), o que conseqüentemente também diminui a duração total do ciclo. Portanto, nas condições do norte do Paraná durante a janela outonal, o florescimento do milheto é antecipado com a conseqüente redução do ciclo, da altura das plantas e do acúmulo de massa seca da parte aérea.

Além da elevada produção de fitomassa da parte aérea (até 15 t/ha em cultivares forrageiras ou para cobertura do solo), o milheto se caracteriza por um sistema radicular abundante e profundo, contribuindo assim para a melhoria da estrutura do solo (Carvalho et al., 2022). O milheto é também uma espécie com grande capacidade de reciclar nutrientes, especialmente o potássio (Boer et al., 2007) e, dependendo da cultivar, pode reduzir a população de fitonematoides como *Pratylenchus brachyurus* e *Meloidogyne* spp. (Inomoto, 2011; Gabriel et al., 2018). Desse modo, o milheto tem sido tradicionalmente

utilizado como planta de cobertura do solo, em cultivo solteiro ou consociado com outras espécies, bem como para pastejo direto ou produção de forragem conservada (Wutke et al., 2023). O cultivo do milho para cobertura do solo ou produção de forragem na janela entre a colheita da soja e a semeadura do trigo já é uma realidade na região Sul do Brasil, com resultados positivos para o desempenho do sistema de produção (Debiasi et al., 2025b).

Recentemente, a utilização do milho, para produção de grãos, tem sido impulsionada pela necessidade de ampliar fontes de matéria-prima para a fabricação de rações, para aves e suínos, a fim de suprir a crescente demanda do mercado consumidor por esses produtos. Em comparação ao milho, os grãos de milho apresentam menor valor energético (Pinheiro et al., 2003), porém o teor de proteína é 50% superior (Bastos et al., 2005). Adicionalmente, o milho não possui nenhum fator antinutricional, como os taninos presentes no sorgo (Durães et al., 2016). Com isso, algumas empresas de melhoramento genético investiram na obtenção de híbridos de milho de porte baixo e com maior potencial de produção de grãos. O ciclo desses híbridos varia de 90 dias a 110 dias, com relatos de produtividades ao redor de 3.000 kg/ha. Assim, dependendo da extensão da janela outonal, é possível posicionar esses híbridos de milho granífero na entressafra soja/trigo, aliando aumento da adição de fitomassa da parte aérea e das raízes com geração de renda.

Feijão-caupi

Uma outra opção com potencial para encaixe na entressafra soja/trigo visando à produção de grãos e ao aumento do aporte de palha e raízes ao solo é o feijão-caupi, também conhecido por outros nomes como feijão-de-corda, feijão-miúdo e feijão-fradinho. O feijão-caupi é uma espécie anual de clima tropical pertencente à família das fabáceas, resistente ao calor e adaptada a solos quimicamente pobres e a condições de baixa disponibilidade hídrica (Wutke et al., 2023). A duração do ciclo do feijão-caupi varia, na maioria dos casos, entre 60 dias a 90 dias, dependendo da cultivar (Freire Filho et al., 2005),

do regime térmico (Moura et al., 2012) e do fotoperíodo (Andrade Junior et al., 2002). As temperaturas basais inferior e superior foram estimadas em 8,5 °C e 38 °C, respectivamente, sendo a soma térmica necessária para complementar o ciclo, ao redor de 1.100 graus-dia (GD) (Moura et al., 2012; Farias et al., 2015). A ocorrência de temperaturas inferiores a 19 °C retarda o aparecimento de flores e aumenta o ciclo da cultura, reduzindo a produtividade (Roberts et al., 1978; Summerfield et al., 1978). Por outro lado, temperaturas superiores a 35 °C durante o florescimento também podem reduzir a produtividade de grãos da cultura (Bastos et al., 2000). A sensibilidade do feijão-caupi ao fotoperíodo é variável em função da cultivar, existindo materiais sensíveis e não sensíveis (Andrade Junior et al., 2002). Em cultivares sensíveis, o feijão-caupi é classificado como uma espécie de dias curtos, atingindo a fase reprodutiva quando o fotoperíodo atinge um valor menor do que o considerado crítico.

O feijão-caupi é cultivado em uma ampla faixa ambiental, desde a latitude 40°N até a 30°S (Rachie, 1985), sendo uma espécie adaptada às condições tropicais e subtropicais (Singh, 2006) e, dessa forma, com potencial de cultivo em todas as regiões brasileiras (Freire Filho et al., 2011). Entretanto, o cultivo de feijão-caupi em toda a região Sul e nos estados de São Paulo e do Rio de Janeiro, não está contemplado no Zoneamento Agrícola de Risco Climático (Zarc) (Brasil, 2025). Por outro lado, o cultivo do feijão-caupi em Mato Grosso do Sul, em regiões que apresentam normais climatológicas de temperatura e precipitação comparáveis com as regiões mais quentes do norte paranaense (Inmet, 2025), é permitido com risco aceitável durante o mês de fevereiro para genótipos com ciclo menor que 85 dias, época que coincide com a entressafra soja/trigo.

Assim como outras espécies da família das fabáceas (leguminosas), o feijão-caupi tem capacidade de fixar o nitrogênio atmosférico (N_2), via simbiose com bactérias do gênero *Bradyrhizobium* (Andrade Junior et al., 2002). Entre as estirpes recomendadas para inoculação em feijão-caupi, destacam-se a UFLA 3-84 (= SEMIA 6461), BR 3267 (= SEMIA 6462), INPA 03-11B (= SEMIA 6463) e BR 3262 (= SEMIA 6464). Embora a eficiência da fixação biológica de nitrogênio (N) no

feijão-caupi, mesmo quando inoculado com estirpes recomendadas, seja relativamente baixa, ao redor de 45% nas melhores situações (Silva Junior, 2012), diversos trabalhos de pesquisa mostram que a adubação com nitrogênio mineral na cultura pode ser totalmente substituída pela inoculação sem prejuízos à produtividade (Melo; Zilli, 2009; Costa et al., 2011; Silva Neto et al., 2013; Marinho et al., 2014). O teor de nitrogênio nos grãos de feijão-caupi é de aproximadamente 3,8% (Silva Junior, 2012), o que resulta em uma exportação de 38 kg de nitrogênio por tonelada de grãos. Com base nos dados de Silva Junior (2012), a quantidade fixada de nitrogênio, para a produção de 3 toneladas de fitomassa da parte área, pode ser estimada em, aproximadamente, 50 kg/ha, de forma que o balanço de nitrogênio no sistema pode se tornar negativo a partir de uma produção de cerca de 1.300 kg/ha de grãos.

O feijão-caupi é um alimento rico em proteínas (23%-25% em média) e apresenta todos os aminoácidos essenciais, carboidratos (62%, em média), vitaminas e minerais, constituindo-se em componente básico da dieta das populações rurais e urbanas das regiões Norte e Nordeste do Brasil (Andrade Junior et al., 2002; Freire Filho et al., 2011). A produção de feijão-caupi no Brasil ocorre especialmente em primeira e segunda safras nas regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste. Na safra 2023/2024 foram cultivados, aproximadamente, 1,28 milhões de hectares, com uma produção total de 647,1 mil toneladas (Conab, 2025). O pico de área cultivada e produção ocorreu na safra 2017/2018, com valores de 1,5 milhões de hectares cultivados e 790 mil toneladas produzidas (Conab, 2025), resultado do crescimento do cultivo e da produtividade em Mato Grosso. A partir de 2018/2019, a área cultivada e a produção de feijão-caupi diminuíram, alcançando valores similares aos observados na safra 2015/2016 e, desde então, mantiveram-se estáveis, com médias ao redor de 1,3 milhões de hectares e 640 mil toneladas produzidas. A exceção ocorre para o estado da Bahia, onde a área cultivada e a produção de feijão-caupi têm crescido de forma constante, passando de 149,5 mil hectares e 36,9 mil toneladas em 2015/2016, para 224,1 mil hectares (+50%) e 156,7 mil toneladas (+424%) em 2023/2024. Esse crescimento

do feijão-caupi na Bahia está diretamente associado à inserção da cultura em sistemas de produção de soja de larga escala, em função de seu ciclo curto, compatível com a duração da estação chuvosa no estado (o que não ocorre com outras opções, como o milho segunda safra), bem como a proximidade do principal mercado consumidor do grão no Brasil.

Na safra 2023/2024, os cinco estados maiores produtores, que juntos respondem por cerca de 80% da produção nacional do grão, foram Bahia (156,7 mil toneladas), Ceará (120,4 mil toneladas), Mato Grosso (101,6 mil toneladas), Piauí (83,6 mil toneladas) e Tocantins (76,4 mil toneladas) (Conab, 2025). A produtividade média brasileira ainda é muito baixa, equivalente a 542 kg/ha na safra 2023/2024, com valores variando entre 488 kg/ha na região Nordeste e 1.120 kg/ha na região Centro-Oeste, onde o cultivo é realizado predominantemente em propriedades mais estruturadas e com maior uso de tecnologia, dentro de sistemas de produção de soja, milho e algodão. Destaca-se que não há registro oficial de produção de feijão-caupi na região Sul, incluindo o estado do Paraná.

A maior parte da produção de feijão-caupi tem sido comercializada no mercado interno brasileiro, sobretudo na região Nordeste, principal consumidora do grão (Silva et al., 2016). Não existem dados oficiais a respeito da demanda específica por feijão-caupi no Brasil, porém, com base em um consumo per capita de feijão (preto + cores + caupi) de 12,8 kg/ano (Embrapa Arroz e Feijão, 2024) e assumindo coeficientes de participação do feijão-caupi no consumo total de feijões em diferentes regiões brasileiras (Freire Filho et al., 2011), estima-se uma demanda de cerca de 680 mil toneladas do grão por ano. Com relação ao mercado externo, a soma das importações de todos os países em 2023 atingiu 150 mil toneladas, com a China e a Índia sendo os maiores compradores (FAO, 2024). Embora ainda pequeno, comparativamente a *commodities* como a soja e o milho, o mercado internacional se apresenta como uma grande oportunidade para a comercialização da produção brasileira de feijão-caupi, tendo em vista o grande número de países que o consomem (Singh, 2006), a sua excelente qualidade nutricional, a escassez de

alimentos no mundo, sobretudo aqueles de origem vegetal, ricos em proteínas de alto valor biológico e de baixo custo. Em 2023, o Brasil exportou quase 54 mil toneladas de feijão-caupi (apenas 8% do total produzido), gerando uma receita próxima a US\$ 40 milhões (Comex Stat, 2025) e atendendo a 36% do mercado externo. Cerca de 95% das exportações brasileiras em 2023 tiveram como destino cinco países: Índia (26,3 mil toneladas), Egito (14,7 mil toneladas), Paquistão (6,9 mil toneladas), Portugal (2,1 mil toneladas) e Turquia (1,3 mil toneladas).

O feijão-caupi também pode ser utilizado como planta de cobertura do solo, em cultivo solteiro ou consorciado a outras espécies, buscando aumentar a adição de palha e raízes e, principalmente, de nitrogênio ao solo. São produzidos de 3 t/ha a 5 t/ha de massa seca da parte aérea, o que pode resultar em um aporte de nitrogênio total ao solo de 120 kg/ha a 200 kg/ha (Melo; Zilli, 2009; Silva Junior, 2012; Wutke et al., 2023). Considerando uma eficiência de fixação biológica ao redor de 45%, quando devidamente inoculado com estirpes recomendadas de *Bradyrhizobium* (Silva Júnior, 2012), pode-se estimar um potencial de adição de nitrogênio atmosférico ao solo de 50 kg/ha a 90 kg/ha. Apresenta ainda sistema radicular pivotante e vigoroso, que contribui para a melhoria da estrutura do solo por meio de bioporos.

Um aspecto importante que deve ser levado em consideração no cultivo de feijão-caupi, em sistemas de produção de soja, seja para cobertura do solo ou produção de grãos, é a reação das cultivares selecionadas às principais espécies de nematoides. Embora existam genótipos resistentes, a maioria dos materiais de feijão-caupi apresenta reação de suscetibilidade ao nematoide de galhas (*Meloydogine javanica* e *M. incognita*), com fatores de reprodução (FR) de até 15 para ambas as espécies (Wickert, 2022). Em estudo envolvendo seis cultivares de feijão-caupi, Favoreto et al. (2022) concluíram que todos os genótipos avaliados foram capazes de multiplicar populações do nematoide da haste verde (*Aphelenchoides besseyi*) provenientes de soja e algodão. O feijão-caupi também apresenta suscetibilidade ao nematoide das lesões radiculares (*Pratylenchus brachyurus*), com FR

variando de 1,7 a 26,2 dependendo da população do nematoide e da cultivar (Siqueira; Inomoto, 2006), mas é resistente ao nematoide de cisto da soja (Riggs, 1987). *Scutellonema brachyurus* (Kraus; Lewis, 1979; Sawadogo et al., 2009) e *Rotylenchulus reniformis* (Gardiano et al., 2012) são outras duas espécies de nematoides importantes em sistemas de produção de soja e que são capazes de se multiplicar e causar danos às raízes do feijão-caupi. Adicionalmente, o feijão-caupi é hospedeiro de fungos causadores de importantes doenças na soja, como *Macrophomina phaseolina* (fungo causador da podridão de carvão) e *Sclerotium rolfsii* (podridão de Sclerotium) (Athayde Sobrinho, 2016).

Cevada forrageira

A cevada (*Hordeum distichum* L.) é uma espécie de inverno que pertence à família das poáceas, sendo uma excelente opção para compor modelos de produção de grãos em razão da sua precocidade, o que permite a liberação antecipada das áreas para os cultivos de verão (Árias, 1995). Tradicionalmente, a cevada é cultivada com o objetivo de produzir grãos destinados à malteação, segundo padrões mínimos de qualidade estabelecidos em contrato. Os grãos não classificados para produção de malte podem ser utilizados na produção de farinhas, biscoitos e outras bebidas destinadas à alimentação humana, bem como à fabricação de rações para alimentação animal.

Existem também cultivares destinadas à produção de forragem conservada (pré-secada ou silagem), com elevado valor nutricional (proteína bruta entre 10% e 13%), ciclo mais precoce, comparativamente a outros cereais de inverno, e produtividade de até 10 t/ha de massa seca (A inovação..., 2023; Produtividade..., 2023). De acordo com Fontaneli et al. (2012), em geral, as cultivares forrageiras apresentam seis fileiras de grãos na espiga, ao passo que as destinadas à produção de malte apresentam duas fileiras, menor produção de biomassa e menor teor de proteína nos grãos. As cultivares forrageiras podem também ser utilizadas para cobertura

do solo em cultivo solteiro ou consorciado a outras espécies, sobretudo da família Fabaceae (Carvalho et al., 2022; Wutke et al., 2023).

Independentemente da finalidade, a cevada é uma espécie exigente em fertilidade do solo, apresentando elevada sensibilidade à acidez e ao alumínio (Fontaneli et al., 2012). A temperatura ótima para o desenvolvimento da cevada varia entre 20 °C-25 °C, apresentando alta sensibilidade a solos mal drenados e à ocorrência de geadas no florescimento (Carvalho et al., 2022). A exemplo de outros cereais de inverno, temperaturas mais elevadas aceleram o desenvolvimento da cevada, com efeitos, por exemplo, na data de floração e duração do ciclo (Brasil, 2024). Em temperaturas acima da ótima, a redução da duração das fases de desenvolvimento pode reduzir o acúmulo de biomassa e, conseqüentemente, a produção de grãos (Miroslavjevic et al., 2018). Estresses por temperatura excessiva durante a fase de enchimento de grãos diminuem o tamanho e o peso de grãos da cevada, especialmente quando associados à deficit hídrico (Savin; Nicolas, 1996). Conforme esses autores, a ocorrências de curtos períodos com temperaturas máximas elevadas (>35 °C), associada à deficit hídrico, pode resultar em perdas de 30% no peso de grãos. Dessa forma, a ocorrência de altas temperaturas e, em algumas safras, de deficit hídrico, pode limitar a produtividade de grãos e a produção de biomassa da cevada forrageira na janela outonal nas regiões mais baixas e quentes do norte do Paraná.

Recentemente, a Embrapa Trigo lançou uma cultivar de cevada forrageira de ciclo ultraprecoce, a BRS Entressafras (BRS CVA118) (A inovação..., 2023). Em função de seu ciclo curto (90 dias a 100 dias nas condições climáticas do Rio Grande Sul), a BRS Entressafras pode ser utilizada para o cultivo outonal entre a colheita da soja e a semeadura do trigo, com o objetivo de produção de grãos ou silagem. Nas condições da janela outonal do norte paranaense, em função das maiores temperaturas, é esperada redução da duração do ciclo desta cultivar, viabilizando o seu encaixe para produção de grãos entre a colheita da soja e a semeadura do trigo.

Dados obtidos pela Embrapa Trigo indicam, como referencial de produtividade de grãos da cevada BRS Entressafras, valores entre

2 a 3,5 t/ha para cultivo outonal (março), com um teor de proteína bruta de 13%-14% (A inovação..., 2023). Para a produção de silagem, também em cultivo outonal, a referência de produção é de 3-6 t/ha de massa seca, com 12% de proteína bruta e de 65%-70% de nutrientes digestíveis totais. Similarmente, sob condições de clima subtropical (oeste de Santa Catarina), Vogt et al. (2024) obtiveram uma produção de 5,9 t/ha de massa seca da cevada BRS Entressafras, com um ciclo de 85 dias para produção de silagem. Nesse mesmo estudo, o teor de proteína bruta na massa seca da BRS Entressafras foi de, aproximadamente, 15%, valores superiores a outros cereais de inverno avaliados no experimento (aveia, tritcale e trigo).

Um aspecto relevante no que se refere ao cultivo da cevada forrageira na janela outonal pré-trigo são as doenças comuns aos dois cereais, cujos agentes causais sobrevivem no solo e/ou nos restos culturais. Sob condições ambientais favoráveis, o cultivo da cevada na janela outonal pode aumentar a quantidade de inóculo inicial de fungos causadores de doenças importantes para o trigo implantado na sequência, tais como: giberela (*Fusarium graminearum*), mal-do-pé (*Gaeumannomyces tritici*), podridão comum das raízes e mancha-marrom (*Bipolaris sorokiniana*) e brusone (*Piricularia oryzae*) (Reunião..., 2023), limitando assim a sua produtividade.

Hipótese e objetivo

O presente trabalho parte da hipótese de que a diversificação de espécies vegetais no modelo milho segunda safra/soja, por meio do cultivo de trigo associado a espécies de ciclo curto, para produção de grãos na janela outonal, aumenta a produtividade das culturas e o lucro operacional do sistema de produção. Assim, o objetivo desse estudo foi avaliar o impacto de diferentes modelos de produção na produtividade de grãos das culturas envolvidas e no lucro operacional do sistema, na região norte do Paraná.

Material e métodos

O experimento foi conduzido nas safras de 2021/2022, 2022/2023 e 2023/2024, na Embrapa Soja, em Londrina, PR (23° 12' 01" S, 51° 10' 40" O e altitude de 572 m). O clima é descrito como subtropical (Cfa), de acordo com a classificação de Köppen (Nitsche et al., 2019), sendo os dados de balanço hídrico das três safras apresentados na Figura 1 (Sibaldelli et al., 2022, 2023, 2024). O solo foi classificado como Latossolo Vermelho eutroférico (Santos et al., 2018), de textura muito argilosa (780 g/kg de argila, 147 g/kg de silte e 73 g/kg de areia na camada de 0-20 cm). A caracterização inicial do solo apontou os seguintes atributos químicos médios na camada de 0-20 cm: pH CaCl_2 = 5,6; carbono orgânico total (Walkley-Black) = 17,8 g/kg; P (Mehlich-1) = 13 mg/dm³; K⁺ (Mehlich-1) = 0,71 cmol_c/dm³; Ca²⁺ (KCl) = 3,8 cmol_c/dm³; Mg²⁺ (KCl) = 2,1 cmol_c/dm³; CTC a pH 7,0 = 10,0 cmol_c/dm³; e saturação por bases (V%) = 66.

Antes da implantação do experimento, em fevereiro de 2018, a área foi submetida à calagem (calcário dolomítico, na dose de 3,5 t/ha PRNT 100%) com incorporação na camada de 0-20 cm por meio de aração com arado de discos, seguida de duas gradagens com grade niveladora de discos. Em seguida, procedeu-se a semeadura de braquiária ruziziensis [*Urochloa ruziziensis* (R. Germ & Evrard) Crins] para cobertura do solo. Em outubro de 2019, a braquiária foi dessecada quimicamente visando à semeadura em SPD de crotalaria ochroleuca (*Crotalaria ochroleuca* G. Don), que permaneceu na área experimental até fevereiro de 2020. Na safra 2020/2021 a área foi cultivada com milho e trigo no outono-inverno e soja no verão, em SPD.

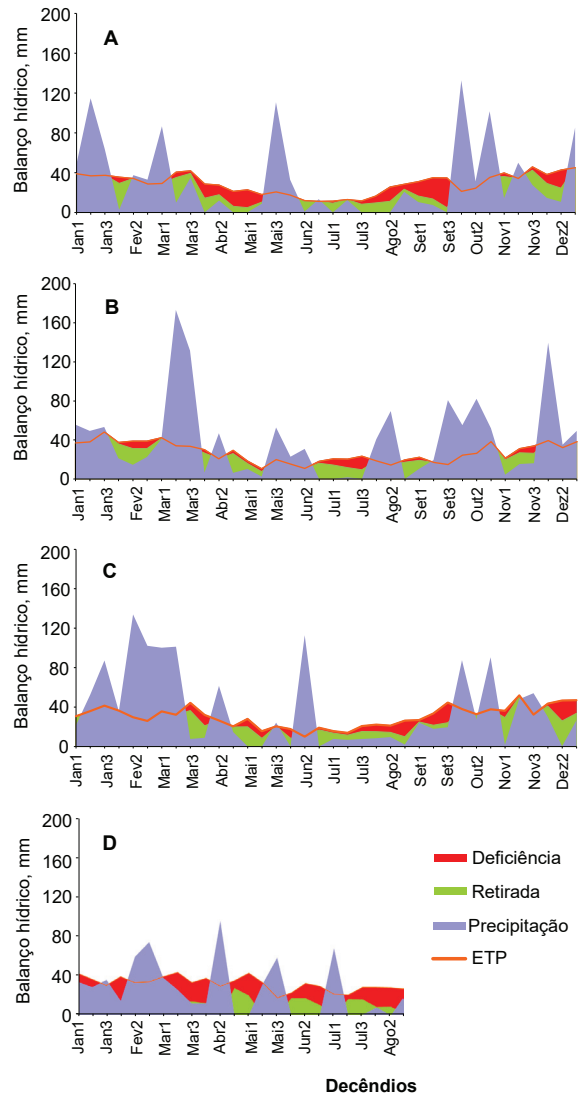


Figura 1. Balanço hídrico sequencial (método de Thornthwaite; Mather, 1955) por decêndio, nos anos de 2021 (A), 2022 (B), 2023 (C) e 2024 (D). Fonte: Sibaldelli et al. (2022, 2023, 2024).

O delineamento experimental foi em blocos completos casualizados, com quatro repetições e parcelas de 40 m² de área total (5 m x 8 m). Os tratamentos envolveram seis modelos de produção (MP) estabelecidos a partir do outono-inverno de 2021: MP1 = sucessão milho segunda safra/soja; MP2 = sucessão trigo/soja; MP3 = cevada-forrageira – trigo/soja; MP4 = feijão-caupi – trigo/soja; MP5 = milheto-granífero –trigo/soja; e MP6 = trigo-mourisco – trigo/soja. As culturas da cevada forrageira (MP3), do feijão-caupi (MP4), do milheto granífero (MP5) e do trigo-mourisco (MP6) foram semeadas para produção de grãos na janela entre a colheita da soja e a semeadura do trigo, correspondente ao período de meados de fevereiro até meados de maio. A Figura 2 ilustra o desenvolvimento das culturas implantadas na janela outonal de 2021. Detalhes sobre a condução das culturas no experimento (datas de semeadura, colheita ou manejo, cultivares e adubação) são apresentados na Tabela 3.

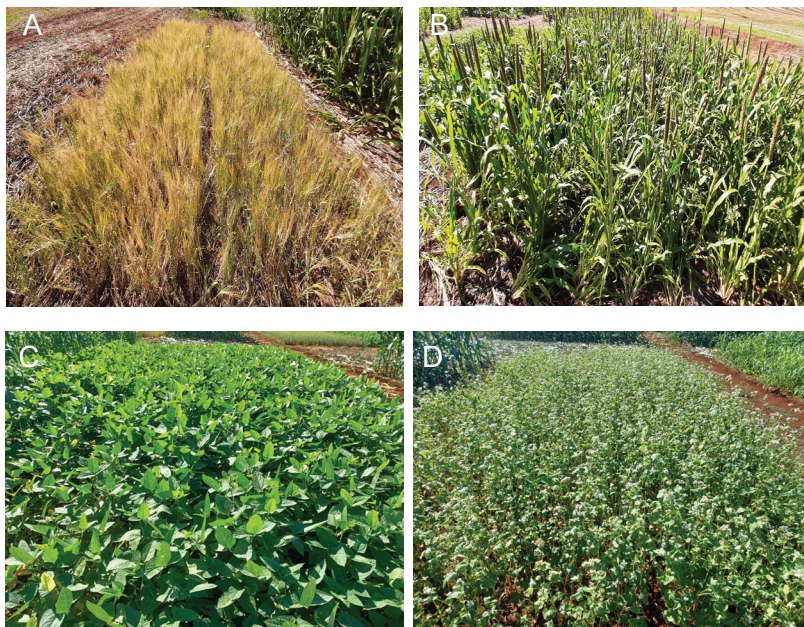


Figura 2. Aspecto visual das culturas para produção de grãos implantadas na janela outonal (período entre a colheita da soja e a semeadura do trigo) da safra 2021: cevada forrageira (A), milheto granífero (B), feijão-caupi (C) e trigo-mourisco (D).

Tabela 3 Continuação.

Cultura	Safr	Datas		Cultivar	Adubação de base		Adubação de cobertura	
		Semeadura	Colheita/ manejo		Fertilizante	Dose	Fertilizante	Dose
Cevada forrageira	2021/2022	17/02/2021	10/05/2021	BRS Entressafras	-	-	Nitrato de amônio	150
	2022/2023	24/02/2022	16/05/2022	BRS Entressafras	-	-	Ureia	110
	2023/2024	21/03/2023	07/06/2023	BRS Entressafras	-	-	Ureia	90
Milheto granífero	2021/2022	17/02/2021	17/05/2021	ADG 9060	-	-	Nitrato de amônio	150
	2022/2023	25/02/2022	23/05/2022 ⁽³⁾	ADG 9070	-	-	Ureia	110
	2023/2024	22/03/2023	30/05/2023 ⁽³⁾	ADG 9060	-	-	Ureia	90
Trigo- mourisco	2021/2022	17/02/2021	10/05/2021	IPR 91	-	-	-	-
	2022/2023	25/02/2022	16/05/2022	IPR 91	-	-	-	-
	2023/2024	22/03/2023	06/06/2023	IPR 91	-	-	-	-

⁽¹⁾ 27% de N; ⁽²⁾ 45% de N; ⁽³⁾ Data referente ao manejo da biomassa das respectivas culturas, por meio de dessecação + rolagem, já que as plantas não completaram o ciclo até a colheita dos grãos.

A soja foi implantada por meio de semeadora-adubadora tratorizada com linhas espaçadas 45 cm entre si, equipada com haste sulcadora e dosador rosca sem-fim para os fertilizantes e sulcadores de discos duplos defasados e dosadores de discos horizontais perfurados para as sementes, respectivamente. A semeadora foi regulada para o estabelecimento de 280 mil plantas de soja por hectare. As sementes foram previamente tratadas com piraclostrobina (2,5 g de ingrediente ativo - i.a por 100 kg de sementes), tiofanato metílico (22,5 g i.a por 100 kg de sementes), fipronil (25 g i.a por 100 kg de sementes) e inoculante líquido contendo *Bradyrhizobium elkanii* estirpes SEMIA 587 e SEMIA 5019 (200 mL por 100 kg de sementes). A semeadura do milho segunda safra foi realizada com a mesma semeadora-adubadora empregada para a soja, porém com espaçamento entrelinhas de 50 cm, regulada para atingir uma população de 55 mil plantas por hectare. As sementes de milho foram tratadas com tiametoxan (42 g i.a. por 60.000 sementes). Para ambas as culturas, a profundidade média de semeadura foi de 4 cm, sendo o fertilizante aplicado 5 cm abaixo das sementes, nas doses indicadas na Tabela 3. No caso do milho, a adubação nitrogenada de cobertura foi realizada a lanço em área total quando as plantas se encontravam nos estádios V4-V5, com os fertilizantes e as doses constantes na Tabela 3.

Na janela outonal, as culturas da cevada-forrageira e do trigo-mourisco foram semeadas em linhas espaçadas 17 cm entre si, por meio de semeadora tratorizada equipada com dosadores tipo rotor acanalado para deposição das sementes em sulcos abertos por discos duplos defasados, a uma profundidade média de 3 cm. A semeadora foi regulada visando o estabelecimento de 120 plantas por metro quadrado para o trigo-mourisco e de 350 plantas por metro quadrado para a cevada-forrageira. A semeadura do milheto e do feijão-caupi foi realizada em linhas com espaçamento de 50 cm entre si, utilizando-se semeadora tratorizada equipada com dosadores pneumáticos de sementes, distribuídas em sulcos abertos por discos duplos defasados. Os sulcos para deposição de sementes foram abertos sobre o solo movimentado por disco de corte de palha + haste sulcadora, componente da mesma linha de semeadura,

sem aplicação de fertilizante. A semeadora foi regulada visando a obtenção de 25 e 30 plantas por metro quadrado para o feijão-caupi e o milheto, respectivamente. A profundidade média de semeadura foi de 2 cm para o milheto e 4 cm para o feijão-caupi. Para as culturas da cevada-forrageira e do milheto-granífero, o nitrogênio em cobertura (Tabela 3) foi aplicado aos 15 dias e aos 21 dias após a emergência, respectivamente.

A cultura do trigo foi semeada com espaçamento entrelinhas de 17 cm, por meio de semeadora-adubadora tratorizada equipada com dosadores do tipo rotor acanalado e rosca sem-fim para as sementes e fertilizantes, respectivamente. Tanto as sementes quanto o fertilizante foram depositados em sulcos abertos por discos duplos defasados, a uma profundidade média de 5 cm. A semeadora foi regulada para o estabelecimento de 300 plantas por metro quadrado, sendo as sementes tratadas com imidacloprido (45 g i.a. por 100 kg de sementes) e tiodicarbe (135 g i.a. por 100 kg de sementes). O nitrogênio em cobertura foi aplicado a lanço no início do perfilhamento da cultura.

O manejo de plantas daninhas em pré-emergência das culturas (dessecação) variou conforme as particularidades dos modelos de produção avaliados. Os demais tratos culturais, incluindo o controle de pragas, doenças e plantas daninhas, foram realizados de maneira uniforme entre os tratamentos e parcelas experimentais, conforme as indicações técnicas para as culturas.

Para implantação das culturas na janela outonal, as parcelas foram dessecadas imediatamente após a colheita da soja, com a aplicação do herbicida glifosato (1,44 kg/ha de equivalente ácido – e.a.) em mistura com carfentrazone (16 g/ha i.a.) na safra 2021/2022, ou isolado, nas demais safras. Antes da semeadura do trigo, o manejo da dessecação variou conforme a safra e os tratamentos avaliados. Nas parcelas relativas aos MPs envolvendo a implantação de culturas na janela outonal, a dessecação pré-trigo envolveu a aplicação do herbicida glifosato (1,08 kg/ha e.a.) em mistura com 2,4-D (1,34 kg/ha e.a.) na safra 2021/2022 ou carfentrazone (8 g/ha i.a.) na safra 2023/2024, imediatamente após a colheita ou dois dias antes do manejo da biomassa com rolo-faca, quando a espécie vegetal não

completou o seu ciclo e, assim, não foi colhida (Tabela 3). Na safra 2022/2023, a dessecação pré-trigo nos MPs envolvendo culturas na janela não foi realizada. Na sucessão trigo/soja (MP2), com pousio na janela outonal, a dessecação pré-trigo nas safras 2021/2022 e 2023/2024 foi realizada da mesma forma que para os tratamentos com culturas de janela, porém as parcelas foram dessecadas também na safra 2022/2023, por meio da aplicação do herbicida glifosato na dose de 1,44 g/ha e.a. No MP1 (sucessão milho segunda safra/soja), a dessecação pré-semeadura do milho foi igual a utilizada em pré-semeadura das culturas de janela.

Para todas as culturas, a produtividade de grãos foi determinada pela colheita mecânica (colhedora de parcelas) da área útil da parcela, equivalente a 8,1 m² (1,35 m x 6 m) para a soja; 9 m² (1,5 m x 6 m) para o milho e o feijão caupi; 6 m² (1 m x 6 m), para o milho segunda safra; e 7,2 m² (1,2 m x 6 m) para o trigo, o trigo-mourisco e a cevada-forrageira. Após a pesagem, os valores de produtividade foram corrigidos para 13% de umidade e extrapolados para quilogramas por hectare. Para estimar a produção de massa seca da parte aérea (MS) das culturas, a biomassa vegetal presente em uma amostra por parcela foi cortada rente ao solo, acondicionada em sacos de papel e submetida à secagem em estufa de circulação forçada de ar a 65 °C por 96 h. A área de coleta de cada amostra foi de 0,51 m² para a cevada-forrageira, o trigo-mourisco e o trigo; 1,5 m² para o milho-granífero e o feijão-caupi; 1,35 m² para a soja; e 1 m² para o milho segunda safra.

Os dados de produção de MS e de produtividade da soja e do trigo foram submetidos à análise de variância e ao teste F ($p \leq 0,05$). Quando constatado efeito significativo dos tratamentos, as médias foram comparadas pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$). Todas as análises estatísticas foram realizadas por meio do programa Sisvar (Ferreira, 2008).

A análise econômica foi realizada mediante o cálculo do lucro operacional, estimado pela renda bruta subtraída dos custos operacionais, variáveis e fixos. A receita bruta por cultura foi obtida multiplicando-se a produtividade de grãos na safra avaliada, pela

média dos preços calculada do mês da colheita até o final do respectivo ano. Os preços médios mensais foram obtidos junto à Conab (2024a). No cálculo da receita bruta da soja e do trigo utilizou-se, como critério, diferenciar as produtividades entre os tratamentos somente em caso de diferenças estatisticamente significativas. Para tratamentos sem diferenças significativas entre si, a produtividade considerada foi a média dos mesmos. Visando o cálculo dos custos de produção, todas as informações referentes às operações realizadas e aos insumos agrícolas utilizados foram registradas e organizadas. Para as operações mecanizadas, a estimativa dos custos foi realizada conforme os coeficientes técnicos disponibilizados pela Fundação ABC (Povh; Flugel, 2023). Além das operações e dos insumos, foram estimados os custos com transporte externo, assistência técnica, seguro agrícola (Proagro), encargos e impostos. O transporte externo e o Funrural (imposto) foram calculados de forma proporcional à receita bruta, enquanto que o valor do seguro agrícola foi estimado com base nos custos de produção. O preço dos insumos (exceto diesel) no Paraná foi obtido junto ao banco de dados disponibilizado pela Conab (2024b), sendo considerados os valores referentes ao mês em que o insumo foi utilizado. Já o preço do diesel foi levantado junto às séries históricas disponibilizadas pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (2024), sendo computados os valores médios para o município de Londrina, referentes ao mês de realização da operação mecanizada. Os preços dos insumos e dos grãos produzidos foram corrigidos para abril/2024 com base no Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IPCA-IBGE).

Resultados e discussão

Independentemente da safra, o milheto-granífero apresentou a maior produção de MS na janela outonal (Tabela 4), correspondendo a uma média de aproximadamente 6,2 t/ha. Isso confirma a grande

capacidade de acúmulo de MS do milheto em um curto período de tempo, conforme relatado em outros estudos (Boer e al., 2007; Pacheco et al., 2013; Ruaro et al., 2023). O desempenho relativo das demais culturas de janela em termos de produção de MS da parte aérea variou conforme a safra considerada. Em média, a produção de MS da cevada-forrageira foi de 3,2 t/ha, valor aproximadamente 33% maior do que a média para o feijão-caupi e o trigo-mourisco (~2,5 t/ha). Outro aspecto importante a considerar é a amplitude de variação entre a maior e a menor produção de MS entre as safras avaliadas. A amplitude absoluta foi de 0,75 t/ha; 2,01 t/ha; 2,71 t/ha; e 2,84 t/ha para o trigo-mourisco, o feijão-caupi, o milheto e a cevada, respectivamente, o que corresponde a um valor relativo à média de 30,5%; 81,9%; 43,8%; e 87,9%. Isso significa que a cevada-forrageira e o feijão-caupi apresentam desempenho menos estável na janela outonal em termos de produção de MS, possivelmente em função da maior sensibilidade às variações anuais de temperatura do ar e de disponibilidade hídrica, comuns nesse período do ano na região norte do Paraná (Sibaldelli et al., 2022, 2023, 2024).

Tabela 4. Produção de massa seca (MS) das culturas semeadas na janela outonal antes do trigo nas safras 2021/2022, 2022/2023 e 2023/2024, nos seis modelos de produção (MP) avaliados.

Modelos de produção ⁽¹⁾	Cultura	Produção de MS		
		2021/2022	2022/2023	2023/2024
		-----	kg/ha	-----
MP2	Pousio	0 e	0 e	0 e
MP3	Cevada-forrageira	2.937 b	1.960 c	4.805 b
MP4	Feijão-caupi	1.638 d	2.065 c	3.645 c
MP5	Milheto-granífero	4.418 a	7.129 a	6.983 a
MP6	Trigo-mourisco	2.139 c	2.892 b	2.372 d
-	Média	2.226	2.809	3.561
-	CV (%)	13,6	18,9	13,3

⁽¹⁾MP2 = sucessão trigo/soja; MP3 = cevada-forrageira – trigo/soja; MP4 = feijão-caupi–trigo/soja; MP5 = milheto-granífero –trigo/soja; e MP6 = trigo-mourisco – trigo/soja. Médias seguidas por letras iguais na mesma coluna não diferem significativamente pelo teste Scott-Knott a 5% de probabilidade de erro.

A produção de MS da parte aérea do trigo não foi influenciada significativamente pelo uso do solo na janela outonal na safra 2021/2022 (Tabela 5). Nas safras seguintes, a produção de MS do trigo foi significativamente maior nos tratamentos envolvendo pousio (MP2) ou o cultivo de feijão-caupi (MP4) e milheto (MP5) na janela outonal. Por sua vez, o trigo-mourisco (MP6) não diferiu significativamente dos melhores tratamentos na safra 2023/2024, mas resultou em valores significativamente inferiores na safra 2022/2023. O pior tratamento sob o ponto de vista de produção de MS do trigo foi o MP3, caracterizado pelo cultivo de cevada-forrageira na janela outonal. Nesse sentido, a cevada-forrageira reduziu a produção de MS do trigo em 29,8% comparativamente aos demais tratamentos, na média das safras 2022/2023 e 2023/2024, o que pode ser atribuído, principalmente, a maior ocorrência de doenças e à competição exercida por plantas voluntárias de cevada estabelecidas a partir de grãos perdidos na colheita.

Tabela 5. Produção de massa seca (MS) do trigo nas safras 2021/2022, 2022/2023 e 2023/2024, nos seis modelos de produção (MP) avaliados.

Modelos de produção ⁽¹⁾	Produção de MS		
	2021/2022	2022/2023	2023/2024
	----- kg/ha -----		
MP2	2.936 ^{n.s}	3.773 a	3.155 a
MP3	2.652	2.603 c	2.020 b
MP4	3.300	3.726 a	3.236 a
MP5	3.187	3.540 a	2.803 a
MP6	2.854	3.137 b	3.000 a
Média	2.986	3.356	3.356
CV (%)	10,8	6,5	7,4

¹⁾ MP1 = sucessão milho segunda safra/soja; MP2 = sucessão trigo/soja; MP3 = cevada-forrageira – trigo/soja; MP4 = feijão-caupi– trigo/soja; MP5 = milheto-granífero –trigo/soja; e MP6 = trigo-mourisco – trigo/soja.

Médias seguidas por letras iguais dentro da mesma coluna não diferem significativamente pelo teste Scott-Knott a 5% de probabilidade de erro; n.s. = diferenças não significativas (teste F, a 5% de probabilidade de erro).

Houve efeito significativo dos tratamentos sobre a produção de MS total do período de outono-inverno em todas as safras (Tabela 6). Independentemente da safra, a maior produção de MS no outono-inverno ocorreu no tratamento MP5, envolvendo o cultivo de trigo associado ao milheto-granífero na janela outonal. Comparativamente à sucessão milho segunda safra/soja, o modelo milheto-trigo/soja resultou em um aumento médio de 52,7% no aporte de biomassa vegetal ao solo. Por outro lado, a menor produção de MS total no outono-inverno, nas três safras de condução experimental, foi observada no MP2, caracterizado pelo pousio na janela outonal pré-trigo. O desempenho relativo dos demais tratamentos variou em função da safra. Em 2021/2022, os modelos de produção MP3, MP4 e MP6 apresentaram valores intermediários de produção de MS total no outono-inverno, sem diferir significativamente da sucessão milho/soja. Na safra seguinte, os tratamentos MP4 e MP6 apresentaram maiores valores de produção de MS total em relação ao MP3 e à sucessão milho/soja que, por sua vez, não diferiram entre si. Já na safra 2023/2024, a sucessão milho/soja resultou na segunda maior adição de biomassa no outono-inverno, inferior apenas ao MP5. Os modelos MP3 e MP4 não diferiram entre si, mas foram superiores ao MP6. Na média das três safras, a produção de MS total no outono-inverno seguiu a ordem decrescente: milheto-trigo/soja (9,4 t/ha) > milho/soja ~ caupi-trigo/soja (6,0 t/ha) > cevada-trigo/soja ~ mourisco-trigo/soja (5,5 t/ha) > pousio-trigo/soja (3,3 t/ha).

Tabela 6. Produção de massa seca (MS) total no outono-inverno nas safras 2021/2022, 2022/2023 e 2023/2024, em função dos modelos de produção (MP) avaliados.

Modelos de produção ⁽¹⁾	Produção de MS		
	2021/2022	2022/2023	2023/2024
	----- kg/ha -----		
MP1	4.666 b	4.823 c	8.885 b
MP2	2.936 c	3.773 d	3.155 e
MP3	5.590 b	4.563 c	6.825 c
MP4	4.939 b	5.791 b	6.881 c
MP5	7.605 a	10.670 a	9.786 a
MP6	4.993 b	6.029 b	5.373 d
Média	5.121	5.941	6.818
CV (%)	9,2	7,8	8,7

⁽¹⁾MP1 = sucessão milho segunda safra/soja; MP2 = sucessão trigo/soja; MP3 = cevada-forrageira – trigo/soja; MP4 = feijão-caupi– trigo/soja; MP5 = milheto-granífero –trigo/soja; e MP6 = trigo-mourisco – trigo/soja.

Médias seguidas por letras iguais dentro da mesma coluna não diferem significativamente pelo teste Scott-Knott a 5% de probabilidade de erro.

Em geral, os resultados apresentados nas Tabelas 4 a 6 mostraram que a inclusão de espécies vegetais graníferas na janela outonal aumenta significativamente o aporte de biomassa vegetal em relação ao modelo pousio-trigo/soja, além de diminuir significativamente o tempo em que a área permanece sem cobertura viva, em pousio. O uso de culturas na janela outonal compensa, total ou parcialmente, a maior produção de MS do milho segunda safra em relação ao trigo, o que certamente contribui para melhorar os efeitos positivos da rotação entre milho segunda safra e trigo para o sistema de produção, sobretudo no médio e no longo prazo. Salienta-se ainda que, no caso específico do tratamento milheto-trigo/soja, o aporte de MS no outono-inverno foi, inclusive, superior ao proporcionado pela sucessão milho

segunda safra/soja, modelo de produção predominante na região norte do Paraná.

É importante salientar que a maior produção de biomassa vegetal e o maior tempo com cobertura viva reduzem as perdas de água e solo por erosão (Derpsch et al., 1986; Merten et al., 2015) e a infestação de plantas daninhas (Lamego et al., 2013; Wallace et al., 2019), além de contribuir para a melhoria da qualidade química, física e biológica do solo (Debiasi et al., 2022). Adicionalmente, a maior adição de biomassa vegetal é requisito básico para a manutenção ou aumento do teor de matéria orgânica do solo (Locatelli et al., 2025), componente essencial para melhorar a qualidade do solo (Goldchin et al., 1997; Ramos et al., 2018; Mendes et al., 2019) e o desempenho agrônomo das culturas (Mendes et al., 2021).

A produtividade do milho segunda safra no MP1 variou amplamente entre as safras (Tabela 7) em resposta, principalmente, a variações na disponibilidade hídrica no solo em função da distribuição de chuvas e da época de semeadura da cultura. Esse resultado reflete o elevado risco associado ao cultivo do milho na segunda safra nas regiões norte e noroeste do Paraná, conforme destacado por Garbelini et al. (2020). Ressalta-se que a média de produtividade no experimento (5.496 kg/ha) foi superior à média da região de Londrina (4.218 kg/ha) (Paraná, 2025) nas três safras avaliadas, evidenciando a ocorrência de estresses ambientais para o milho em escala regional.

Tabela 7. Produtividade média de grãos e respectivo desvio padrão para o milho segunda safra (MP1) e demais culturas implantadas na janela outonal, entre a colheita da soja e a semeadura do trigo (MPs 3 a 6).

Cultura (modelos de produção) ⁽¹⁾	Produtividade de grãos		
	2021/2022	2022/2023	2023/2024
	----- kg/ha -----		
Milho segunda safra (MP1)	3.698 ± 161	3.542 ± 277	9.248 ± 952
Cevada-forrageira (MP3)	649 ± 227	705 ± 227	2.303 ± 469
Feijão-caupi (MP4)	805 ± 107	1.440 ± 93	Não colhido ⁽²⁾
Milheto-granífero (MP5)	1.432 ± 137	Não colhido ⁽²⁾	Não colhido ⁽²⁾
Trigo-mourisco (MP6)	1.071 ± 157	1.721 ± 300	2.248 ± 176

⁽¹⁾MP1 = sucessão milho segunda safra/soja; MP2 = sucessão trigo/soja; MP3 = cevada-forrageira – trigo/soja; MP4 = feijão-caupi– trigo/soja; MP5 = milheto-granífero –trigo/soja; e MP6 = trigo-mourisco – trigo/soja.

⁽²⁾ Colheita não realizada, pois a cultura outonal não completou o ciclo a tempo de viabilizar o cultivo de trigo em sequência.

Das culturas graníferas avaliadas para cultivo na janela entre a colheita da soja e a semeadura do trigo, somente a cevada-forrageira e o trigo-mourisco produziram nas três safras (Tabela 7), apresentando assim ciclo coerente com a duração da janela outonal (Tabela 8). A produtividade média do trigo-mourisco nas três safras foi de 1.550 kg/ha, similar aos valores de referência para condições de outono no Paraná (Fabian et al., 2021; Guimarães et al., 2021). Por outro lado, a produtividade média da cevada (1.348 kg/ha) foi bastante inferior ao potencial da cultivar para semeadura no outono (2.000 kg/ha-3.500 kg/ha) (A inovação..., 2023), evidenciando que o ambiente do norte do Paraná não foi adequado a essa espécie, provavelmente, em função das altas temperaturas comumente observadas nessa região no período de fevereiro a abril (Sibaldelli et al., 2022, 2023, 2024). O milheto-granífero completou o ciclo com produção de grãos apenas na primeira safra (Tabelas 7 e 8), com produtividade inferior ao potencial (2.400 kg/ha-3.000 kg/ha) declarado pelo obtentor do

híbrido utilizado nesse trabalho (Híbridos..., 2023). A grande limitação para o cultivo do milheto granífero no intervalo entre a colheita da soja e a semeadura do trigo no norte do Paraná é o ciclo relativamente longo (cerca de 90 dias-110 dias, dependendo da temperatura e da data de semeadura) em comparação com a duração do período de cultivo disponível na janela. Assim, nas safras 2021/2022 e 2022/2023, a janela disponível não foi suficiente para que o milheto completasse o ciclo até a colheita dos grãos.

Tabela 8. Duração do ciclo das culturas implantadas na janela outonal, entre a colheita da soja e a semeadura do trigo (MPs 3 a 6).

Cultura (modelos de produção) ⁽¹⁾	Duração do ciclo ⁽²⁾		
	2021/2022	2022/2023	2023/2024
	----- dias -----		
Cevada forrageira (MP3)	82	81	78
Feijão-caupi (MP4)	83	89	69 ⁽³⁾
Milheto granífero (MP5)	89	87 ⁽³⁾	69 ⁽³⁾
Trigo-mourisco (MP6)	82	80	76

⁽¹⁾ MP3 = cevada-forrageira – trigo/soja; MP4 = feijão-caupi– trigo/soja; MP5 = milheto-granífero –trigo/soja; e MP6 = trigo-mourisco – trigo/soja.

⁽²⁾ Ciclo: intervalo de tempo entre a semeadura e a colheita ou entre a semeadura e o manejo.

⁽³⁾ Nesses casos, o ciclo se refere ao período entre a semeadura e o manejo, em parcelas onde a colheita não foi possível.

O feijão-caupi apresentou desempenho promissor na janela soja-trigo, com produtividade média (1.122 kg/ha) similar aos valores observados para a cultivar utilizada em regiões tradicionais de cultivo (1.081 kg/ha) (Freire Filho et al., 2008). Das três safras avaliadas, o feijão-caupi não completou o ciclo até a colheita em uma (2023/2024), quando foi semeado durante o mês de março, condição em que apresentou alongamento do ciclo, provavelmente em função das menores temperaturas, já que o feijão-caupi requer uma soma térmica de, aproximadamente, 1.100 graus-dia para completar o ciclo

(Moura et al., 2012; Farias et al., 2015). Adicionalmente, a ocorrência de temperaturas inferiores a 19 °C retarda o aparecimento de flores e aumenta o ciclo da cultura, reduzindo a produtividade (Roberts et al., 1978; Summerfield et al., 1978). Nesse sentido, a média das temperaturas mínimas no mês de abril e maio de 2023 foram de 16,8 °C e 15,4 °C, com mínima absoluta de 11,1 °C e 10,9 °C, respectivamente (Sibaldelli et al., 2024), o que explica o alongamento do ciclo do feijão-caupi de forma a impedir a colheita.

O cultivo de trigo-mourisco e, sobretudo, de feijão-caupi, para produção de grãos na janela entre a colheita da soja e a semeadura do trigo na região norte do Paraná, são alternativas inovadoras e com grandes oportunidades de melhorias tecnológicas nos respectivos sistemas de cultivo, o que pode resultar em aumentos consideráveis na produtividade de grãos. Nesse sentido, existem relatos de produtividades de feijão-caupi próximas a 2.000 kg/ha (Andrade Junior et al., 2002), o que representa um potencial de aumento de produtividade de quase 80% em relação aos valores observados nesse estudo. Para o trigo-mourisco, produtividades de até 3.900 kg/ha, em condições experimentais no Brasil, são reportadas na literatura (Silva et al., 2002), o que equivale a, aproximadamente, o dobro da produtividade média observada nas três safras de condução desse experimento (Tabela 7). Assim, a consolidação dessas duas espécies como opções para cultivo na janela outonal requer a realização de novos trabalhos de pesquisa para a indicação de práticas de manejo do solo e da cultura que permitam aproximar as produtividades obtidas das potenciais.

A produtividade média do trigo nas três safras de condução do experimento foi de 3.229 kg/ha (Tabela 9), cerca de 18% superior à média obtida na região de Londrina no mesmo período (2.733 kg/ha) (Paraná, 2025). No experimento, a menor produtividade ocorreu na safra 2023/2024, quando a semeadura do trigo ocorreu em época desfavorável e de maior risco climático, no primeiro decêndio de junho (Tabela 3). Com o atraso na semeadura, o trigo foi submetido a condições de déficit hídrico durante praticamente todo o ciclo de desenvolvimento (Figura 1C), de modo que a produtividade média

no experimento especificamente nessa safra foi cerca de 15% menor que a média regional.

Conforme os dados da Tabela 9, houve efeito significativo dos tratamentos sobre o desempenho produtivo do trigo nas três safras avaliadas (2021/2022, 2022/2023 e 2023/2024). Nas safras 2021/2022 e 2023/2024, a menor produtividade foi observada para o trigo cultivado após a cevada-forrageira (MP3), com perdas médias em torno de 30% em relação aos demais tratamentos, que não diferiram significativamente entre si. Na safra 2022/2023, a menor produtividade de trigo foi novamente observada após a cevada-forrageira (MP3), enquanto que os tratamentos envolvendo pousio (MP2) e o cultivo de feijão-caupi (MP4) ou milheto (MP5) na janela outonal proporcionaram os maiores valores. Por sua vez, o cultivo de trigo-mourisco na janela outonal resultou em valores intermediários de produtividade do trigo, cerca de 20% superior ao tratamento MP3, mas 15% inferior aos melhores tratamentos (MP2, MP4 e MP5).

Tabela 9. Produtividade de grãos de trigo nas safras 2021/2022, 2022/2023 e 2023/2024, nos modelos de produção que envolvem o cultivo do cereal.

Modelos de produção ⁽¹⁾	Produtividade de grãos de trigo		
	2021/2022	2022/2023	2023/2024
	----- kg/ha -----		
MP2	3.627 a	4.484 a	2.429 a
MP3	2.618 b	3.093 c	1.555 b
MP4	3.910 a	4.427 a	2.491 a
MP5	3.597 a	4.207 a	2.158 a
MP6	3.792 a	3.727 b	2.310 a
Média	3.509	3.988	2.189
CV (%)	7,7	6,4	7,5

⁽¹⁾ MP2 = sucessão trigo/soja; MP3 = cevada-forrageira – trigo/soja; MP4 = feijão-caupi – trigo/soja; MP5 = milheto-granífero – trigo/soja; e MP6 = trigo-mourisco – trigo/soja.

Médias seguidas por letras iguais na mesma coluna não diferem significativamente pelo teste Scott-Knott a 5% de probabilidade de erro.

De maneira similar à justificativa dada para a redução da produção de MS da parte aérea do trigo (Tabela 5), as perdas expressivas de produtividade do trigo quando cultivado em sequência à cevada podem ser atribuídas, principalmente, a maior ocorrência de doenças foliares e da espiga. Além disso, parte da redução da produtividade do trigo no MP3 pode ser associada à competição exercida por plantas voluntárias de cevada, estabelecidas a partir de grãos perdidos na colheita. Nesse sentido, não existem herbicidas registrados que sejam seletivos ao trigo e controlem a cevada. Ao mesmo tempo, não há tempo hábil para postergar a semeadura do trigo, o que viabilizaria a germinação dos grãos perdidos de cevada e, desse modo, o controle por meio da pulverização de herbicidas não-seletivos.

A exemplo do observado para o milho segunda safra e para o trigo, a produtividade média da soja no experimento (3.275 kg/ha) foi superior (+6,4%) à média regional nas mesmas safras, equivalente a 3.079 kg/ha (Paraná, 2025). A menor produtividade da soja no experimento ocorreu na safra 2023/2024 (Tabela 10), com valores muito baixos [36 sacas (60 kg) por hectare] considerando o potencial produtivo das cultivares atuais. Essa baixa produtividade é explicada pelo déficit hídrico expressivo em períodos de desenvolvimento críticos à produtividade da cultura, que persistiu durante todos os decêndios dos meses de dezembro e janeiro (Figuras 1C e 1D). Soma-se ao déficit hídrico a ocorrência de temperaturas mais altas que as médias históricas em todo o ciclo, o que intensificou o estresse ao qual a planta foi submetida (Sibaldelli et al., 2024).

A produtividade da soja não foi influenciada pelos tratamentos na safra 2023/2024 (Tabela 10). Nas safras 2021/2022 e 2022/2023, a produtividade da soja no MP4 (caupi-trigo/soja) foi significativamente inferior aos demais modelos de produção. Em relação aos melhores tratamentos, o MP4 resultou em um decréscimo médio na produtividade da soja de 14% e 17% nas safras 2021/2022 e 2022/2023, respectivamente. Os demais modelos de produção envolvendo trigo (MP2, MP3, MP5 e MP6) não proporcionaram aumentos significativos de produtividade da soja em relação à sucessão milho segunda safra/soja em duas das três safras (2021/2022 e 2023/2024). Entretanto, na

safra 2022/2023, a produtividade da soja foi significativamente maior nos tratamentos MP2 (pousio outonal), MP5 (milheto-granífero) e MP6 (trigo-mourisco) em relação ao modelo de produção predominante na região norte paranaense (MP1). Nessa safra, a diferença média pró MP2, MP5 e MP6 foi de 395 kg/ha, equivalente a um aumento de 10,4%. Por outro lado, não houve diferença significativa também na safra 2022/2023 entre os modelos MP3 (cevada–trigo/soja) e a sucessão milho segunda safra/soja. Destaca-se ainda que, similarmente ao observado para o trigo (Tabela 9), o preenchimento da janela outonal com culturas graníferas não melhorou o desempenho produtivo da soja em relação ao MP2 (pousio), resultando inclusive em perdas de produtividade dependendo da safra e da espécie vegetal utilizada (Tabela 10).

Tabela 10. Produtividade de grãos de soja nas safras 2021/2022, 2022/2023 e 2023/2024, em função dos seis modelos de produção (MP) avaliados.

Modelos de produção ⁽¹⁾	Produtividade de grãos de soja		
	2021/2022	2022/2023	2023/2024
	----- kg/ha -----		
MP1	3.817 a	3.784 b	2.202 ^{n.s}
MP2	3.903 a	4.201 a	2.060
MP3	3.858 a	3.759 b	2.003
MP4	3.292 b	3.474 c	2.250
MP5	3.633 a	4.255 a	2.299
MP6	3.919 a	4.080 a	2.148
Média	3.737	3.926	2.161
CV (%)	5,7	4,5	16,6

⁽¹⁾MP1 = sucessão milho segunda safra/soja; MP2 = sucessão trigo/soja; MP3 = cevada-forrageira – trigo/soja; MP4 = feijão-caupi– trigo/soja; MP5 = milheto-granífero –trigo/soja; e MP6 = trigo-mourisco – trigo/soja.
Médias seguidas por letras iguais na mesma coluna não diferem significativamente pelo teste Scott-Knott a 5% de probabilidade de erro; n.s = diferenças não significativas (teste F, a 5% de probabilidade de erro).

No presente estudo, não foi possível determinar as causas associadas às perdas de produtividade da soja ocasionadas pelo cultivo do feijão-caupi na janela outonal pré-trigo (Tabela 10). A multiplicação de fitonematoídes e de fungos causadores de doenças radiculares estão entre as possíveis explicações para o efeito negativo do cultivo do feijão-caupi na janela outonal sobre a produtividade da soja. Em amostras de solo e raízes de soja coletadas na área experimental na safra 2020/2021, foram encontradas altas populações de *Meloidogyne* spp., *Scutellonema brachyurus* e, sobretudo, *Rotylenchulus reniformis*. Nesse sentido, a maioria das cultivares de feijão-caupi apresenta reação de suscetibilidade ao nematoíde de galhas (*Meloidogyne javanica* e *M. incognita*) (Wickert, 2022). Por sua vez, Gardiano et al. (2012) concluíram que o feijão-caupi foi suscetível a *R. reniformis*, com FR similar ao algodoeiro. Nematoides do gênero *Scutellonema* estão entre os principais problemas fitossanitários do caupi em diversas regiões produtoras (Baujard; Martiny, 1995; Sawadogo et al., 2009; Claudius-Cole; Fawole, 2016), sendo relatado um FR de 1,7 para a espécie *S. brachyurus* (Kraus; Lewis, 1979). O feijão-caupi também apresenta suscetibilidade ao nematoíde das lesões radiculares (*Pratylenchus brachyurus*), com FR variando de 1,7 a 26,2 (Siqueira; Inomoto, 2006). O feijão-caupi também é hospedeiro de fungos causadores de doenças na soja, como *Macrophomina phaseolina* (podridão de carvão) e *Sclerotium rolfsii* (podridão de Sclerotium) (Athayde Sobrinho, 2016).

Caso a hipótese de que a redução de produtividade da soja no modelo de produção envolvendo o cultivo de feijão-caupi seja ocasionada por nematoides se confirme em novos estudos, seria possível mitigar o problema por meio da utilização de: a) cultivares de feijão-caupi com menor FR; b) cultivares de soja tolerantes/resistentes; c) rotação anual com espécies não hospedeiras ou redutoras da densidade populacional da(s) espécie(s) de nematoíde(s) associada(s) ao problema. Nesse caso, o cultivo do feijão-caupi na janela outonal para diversificação da matriz produtiva milho segunda safra/soja na região norte do Paraná poderia ser viabilizado, o que requer a continuidade das pesquisas nessa linha.

Em diversas pesquisas tem sido demonstrado melhor desempenho produtivo da soja em sucessão ao trigo, comparativamente ao milho segunda safra, o que é explicado, sobretudo, pela maior cobertura do solo por palha e pela melhoria da qualidade do solo em função da redução do período sem culturas vivas antes da semeadura da oleaginosa (Garbelini et al., 2020; Debiasi et al., 2023; Balbinot Junior et al., 2024). Entretanto, no presente estudo, a produtividade da soja pós-trigo foi superior à observada pós-milho segunda safra apenas em uma das três safras avaliadas. Conforme Debiasi et al. (2025a), o crescimento inicial da soja pós-trigo é, geralmente, menor do que o observado para o cultivo pós-milho segunda safra. Porém, sob condições favoráveis de manejo e de clima, o índice de área foliar (IAF) da soja pós-trigo se recupera e atinge valores no período de enchimento de grãos similares aos observados em sucessão ao milho segunda safra. Nessa situação, a produtividade da soja pós-trigo tende a ser maior comparativamente ao milho segunda safra. Em contrapartida, a ocorrência de déficit hídrico no início do desenvolvimento da soja, associado à implantação da oleaginosa em um intervalo ≤ 20 dias após a colheita do trigo, pode intensificar o sintoma de redução de crescimento inicial em uma magnitude tal que o IAF no enchimento de grãos seja inferior ao valor ótimo, prejudicando, assim, a produtividade da soja implantada em sucessão. No presente estudo, observou-se a ocorrência de déficit hídrico no início de desenvolvimento da soja justamente nas duas safras (2021/2022 e 2023/2024, Figuras 1A e 1C) em que a produtividade da cultura pós-trigo e pós-milho segunda safra não diferiu significativamente (Tabela 10). Já na safra 2022/2023, não ocorreu déficit hídrico nos estádios iniciais de desenvolvimento da soja (Figura 1B), o que pode explicar a maior produtividade da oleaginosa em cultivo pós-trigo nessa safra.

À exceção do MP3 (cevada-trigo/soja), todos os demais tratamentos envolvendo o cultivo de trigo no outono-inverno aumentaram o lucro operacional do sistema em relação à sucessão milho segunda safra/soja (MP1), na safra 2021/2022 (Tabela 11). O lucro operacional dos tratamentos MP2, MP4, MP5 e MP6 foi, em média, R\$ 898,21 por hectare (+9,4%) superior ao modelo de produção predominante no norte do Paraná. O melhor desempenho

econômico desses modelos na safra 2021/2022 é explicado pelo maior lucro operacional no outono-inverno, sobretudo quando o trigo foi associado ao cultivo de feijão-caupi, milheto ou trigo-mourisco na janela outonal. Nesse sentido, o aumento do lucro no período de outono-inverno proporcionado pelos modelos MP2, MP5, MP6 e MP4 em relação à sucessão milho segunda safra/soja foi de R\$ 768,68; R\$ 823,33; R\$ 981,90; e R\$ 2.664,57 por hectare, respectivamente. Por outro lado, o cultivo da cevada-forrageira na janela outonal reduziu a produtividade e o lucro do trigo e, ao mesmo tempo, a receita bruta gerada pela própria cevada não foi suficiente para cobrir os custos de produção, de forma que esse modelo apresentou o pior desempenho econômico na safra 2021/2022. Adicionalmente, verifica-se que o cultivo de feijão-caupi, trigo-mourisco e milheto-granífero na janela outonal aumentou o lucro operacional do sistema (Tabela 11), em comparação ao pousio nesse período (MP2), demonstrando que o uso da entressafra soja/trigo foi vantajoso na safra 2021/2022. Salienta-se que o lucro obtido com a produção de feijão-caupi na janela outonal compensou com vantagem a redução da receita bruta no verão nesse tratamento, ocasionada pela menor produtividade da soja (Tabela 10).

Similarmente aos resultados obtidos na safra 2021/2022, os tratamentos envolvendo o cultivo de trigo no outono-inverno, à exceção do MP3, resultaram em maior lucro operacional comparativamente à sucessão milho/soja na safra 2022/2023 (Tabela 12). As diferenças foram expressivas, equivalendo a um incremento médio de R\$ 3.909,55 (+252%) por hectare. Comparando-se os tratamentos com trigo entre si, verifica-se que o maior lucro operacional ocorreu no modelo caupi-trigo/soja (MP4), sendo o único tratamento com valor superior ao obtido no MP2 (pousio-trigo/soja). É interessante notar que o melhor desempenho econômico do modelo MP4 ocorreu mesmo com a menor produtividade da soja em relação aos demais tratamentos (Tabela 10), uma vez que o lucro no período de outono-inverno foi maior do que as perdas de receita no verão (Tabela 12). Por outro lado, os tratamentos MP2, MP5 e MP6 apresentaram maior lucro operacional em relação ao MP1 tanto no outono-inverno, quanto no verão. Quando comparados ao MP2, os tratamentos MP5 e MP6

proporcionaram menor lucro operacional, em função do prejuízo ocasionado pelo milheto, cuja colheita não foi possível (MP5) (Tabela 7), ou da redução na produtividade do trigo cultivado em sucessão ao trigo-mourisco (MP6) (Tabela 9).

Tabela 11. Receita bruta, custo e lucro operacional dos modelos de produção avaliados, na safra 2021/2022.

Modelo de produção ⁽¹⁾	Culturas	Indicadores		
		Receita	Custo	Resultado
		----- R\$/ha -----		
MP1	Milho 2ª safra	6.414,72	4.347,87	+ 2.066,85
	Soja	12.454,85	4.941,44	+ 7.513,41
	Sistema	18.869,57	9.289,31	+ 9.580,26
MP2	Trigo	6.456,10	3.660,57	+ 2.795,53
	Soja	12.454,85	4.941,71	+ 7.513,41
	Sistema	18.910,95	8.602,01	+ 10.308,94
MP3	Cevada-forrageira	1.112,97	2.110,86	- 997,89
	Trigo	4.875,29	3.859,75	+ 1.015,54
	Soja	12.454,85	4.928,95	+ 7.525,90
	Sistema	18.443,11	10.899,56	+ 7.543,55
MP4	Feijão-caupi	3.439,42	1.440,65	+ 1.998,77
	Trigo	6.456,10	3.723,46	+ 2.732,64
	Soja	10.714,65	4.840,20	+ 5.874,45
	Sistema	20.610,17	10.004,31	+ 10.605,86
MP5	Milheto-granífero	1.980,38	1.822,85	+ 157,53
	Trigo	6.456,10	3.723,46	+ 2.732,65
	Soja	12.454,85	4.920,60	+ 7.534,25
	Sistema	20.891,33	10.466,91	+ 10.424,43
MP6	Trigo-mourisco	1.495,20	1.179,10	+ 316,10
	Trigo	6.456,10	3.723,46	+ 2.732,65
	Soja	12.454,85	4.928,95	+ 7.525,90
	Sistema	20.406,15	9.831,51	+ 10.574,65

⁽¹⁾MP1 = sucessão milho segunda safra/soja; MP2 = sucessão trigo/soja; MP3 = cevada-forrageira – trigo/soja; MP4 = feijão-caupi– trigo/soja; MP5 = milheto-granífero –trigo/soja; e MP6 = trigo-mourisco – trigo/soja.

Tabela 12. Receita bruta, custo e lucro operacional dos modelos de produção avaliados, na safra 2022/2023.

Modelo de produção ⁽¹⁾	Culturas	Indicadores		
		Receita	Custo	Resultado
		----- R\$/ha -----		
MP1	Milho 2ª safra	4.830,69	6.027,34	- 1.196,65
	Soja	8.774,08	6.021,93	+ 2.752,15
	Sistema	13.604,77	12.049,27	+ 1.550,50
MP2	Trigo	7.572,32	5.312,90	+ 2.259,42
	Soja	9.720,29	6.070,18	+ 3.650,11
	Sistema	17.292,61	11.383,08	+ 5.909,53
MP3	Cevada-forrageira	970,79	2.826,16	- 1.855,37
	Trigo	5.355,67	4.795,18	+ 560,49
	Soja	8.774,08	6.006,00	+ 2.768,08
	Sistema	15.100,54	13.627,34	+ 1.473,20
MP4	Feijão-caupi	3.919,97	2.360,42	+ 1.559,55
	Trigo	7.572,32	4.908,23	+ 2.664,09
	Soja	8.081,86	5.970,69	+ 2.111,17
	Sistema	19.574,15	13.239,34	+ 6.334,81
MP5	Milheto-granífero	0,00	2.200,22	- 2.200,22
	Trigo	7.569,20	4.932,85	+ 2.636,35
	Soja	9.720,29	6.054,25	+ 3.666,04
	Sistema	17.289,49	13.187,32	+ 4.102,17
MP6	Trigo-mourisco	2.410,80	2.182,63	+ 228,17
	Trigo	6.450,49	4.851,02	+ 1.599,47
	Soja	9.720,29	6.054,25	+ 3.666,04
	Sistema	18.581,58	13.087,90	+ 5.493,68

⁽¹⁾ MP1 = sucessão milho segunda safra/soja; MP2 = sucessão trigo/soja; MP3 = cevada-forrageira-trigo/soja; MP4 = feijão-caupi-trigo/soja; MP5 = milheto-granífero-trigo/soja; e MP6 = trigo-mourisco-trigo/soja.

Na safra 2023/2024, houve prejuízo financeiro no cultivo da soja em todos os tratamentos avaliados (Tabela 13), em função das baixas produtividades observadas (Tabela 10). As perdas de produtividade do trigo (Tabela 9) também foram responsáveis pelo resultado financeiro negativo dessa cultura em todos os modelos de produção em que foi cultivado, sendo os maiores prejuízos observados no tratamento MP3 (Tabela 13). Dessa forma, foram observados resultados financeiros negativos para todos os tratamentos envolvendo o cultivo de trigo no outono-inverno. Como o milho e o feijão-caupi não foram colhidos na safra 2023/2024 (Tabela 7) e a receita proporcionada pela cevada-forrageira foi inferior aos custos de produção, os maiores prejuízos financeiros, ocorreram nos modelos MP3, MP4 e MP5. No MP6, o cultivo do trigo-mourisco resultou em um lucro de quase R\$ 1.400,00 por hectare, o que reduziu o prejuízo financeiro do sistema em 54% comparativamente ao MP3, MP4 e MP5 e em 36% em relação ao MP2.

Ao contrário das duas safras anteriores, a sucessão milho/soja foi o único tratamento que apresentou resultado econômico positivo na safra 2023/2024 (Tabela 13). Isso foi possível na medida em que o prejuízo da soja foi compensando com vantagem pelo lucro resultante do cultivo do milho segunda safra, cuja produtividade foi elevada nessa safra (Tabela 7). Dessa forma, em duas (2021/2022 e 2022/2023) das três safras avaliadas, os modelos de produção com maior lucro operacional envolveram o cultivo de trigo, ao passo que, em uma (2023/2024), o melhor resultado financeiro ocorreu para o modelo de produção predominante na região norte do Paraná (milho segunda safra/soja). Isso demonstra que modelos de produção envolvendo a rotação entre milho segunda safra e trigo proporcionam desempenho econômico-financeiro mais estável ao longo do tempo, reduzindo riscos relacionados a adversidades climáticas.

Os tratamentos MP2, MP5 e MP6 aumentaram o lucro operacional acumulado (2021/2022, 2022/2023 e 2023/2024) da soja comparativamente à sucessão milho segunda safra/soja (Figura 3A), em virtude das maiores produtividades da cultura nesses modelos na safra 2022/2023 (Tabela 10). Na média, a diferença foi de R\$ 931,06

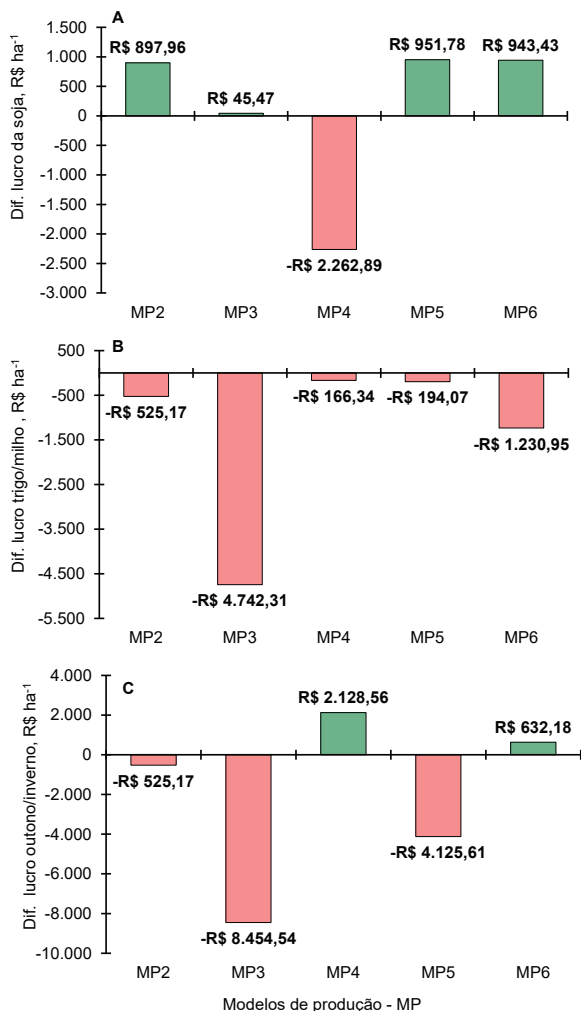
por hectare em três safras, o que corresponde a um incremento de 10% no lucro acumulado. Em contrapartida, a redução de produtividade da soja ocasionada pelo cultivo do feijão-caupi na janela outonal pré-trigo nas safras 2021/2022 e 2022/2023 se refletiu em um decréscimo de 24,3% no lucro dessa cultura, comparativamente à sucessão milho segunda safra/soja. Já o resultado financeiro da soja no modelo MP3 foi similar ao observado no MP1.

No outono-inverno, o lucro acumulado do trigo foi inferior ao milho segunda safra em todos os modelos de produção em que o cereal foi cultivado (Figura 3B), corroborando com os resultados obtidos por Garbelini et al. (2020) e Debiasi et al. (2023). Esse resultado foi determinado pela safra 2023/2024, onde o milho apresentou um lucro de R\$ 1.860,78 por hectare, enquanto o resultado financeiro do trigo foi negativo, em média, de -R\$ 2.986,55 (Tabela 13). As maiores diferenças de lucro acumulado entre o milho segunda safra e o trigo foram observadas no MP3, onde a produtividade do trigo foi menor em todas as safras (Tabela 9). Por outro lado, as menores diferenças de lucro ocorreram quando o trigo foi cultivado após o feijão-caupi ou o milheto-granífero, condição em que as produtividades foram maiores do que nos modelos MP3 e MP6 e os custos relacionados à dessecação pré-semeadura na safra 2023/2024 foram menores comparativamente ao MP2.

Tabela 13. Receita bruta, custo e lucro operacional dos modelos de produção avaliados, na safra 2023/2024.

Modelo de produção ⁽¹⁾	Culturas	Indicadores		
		Receita	Custo	Resultado
		----- R\$/ha -----		
MP1	Milho 2ª safra	7.467,74	5.606,96	+ 1.860,78
	Soja	3.860,63	4.813,21	- 952,58
	Sistema	11.328,37	10.420,17	+ 908,20
MP2	Trigo	2.361,01	5.210,15	- 2.849,14
	Soja	3.860,63	4.813,21	- 952,58
	Sistema	6.221,64	10.023,36	- 3.801,72
MP3	Cevada-forrageira	1.765,56	2.624,53	- 858,97
	Trigo	1.565,15	5.152,51	- 3.587,36
	Soja	3.860,63	4.796,16	- 935,53
	Sistema	7.286,76	12.578,06	- 5.381,86
MP4	Feijão-caupi	0,00	1.263,42	- 1.263,42
	Trigo	2.361,01	5.193,10	- 2.832,09
	Soja	3.860,63	4.796,16	- 935,53
	Sistema	6.221,64	11.252,68	- 5.031,04
MP5	Milheto-granífero	0,00	1.888,85	- 1.888,85
	Trigo	2.361,01	5.193,10	- 2.832,09
	Soja	3.860,63	4.796,16	- 935,53
	Sistema	6.221,64	11.878,11	- 5.656,47
MP6	Trigo-mourisco	3.150,00	1.831,14	+1.318,86
	Trigo	2.361,01	5.193,10	- 2.832,09
	Soja	3.860,63	4.796,16	- 935,53
	Sistema	9.371,64	11.820,40	- 2.448,76

⁽¹⁾MP1 = sucessão milho segunda safra/soja; MP2 = sucessão trigo/soja; MP3 = cevada-forrageira–trigo/soja; MP4 = feijão-caupi–trigo/soja; MP5 = milheto-granífero –trigo/soja; e MP6 = trigo-mourisco–trigo/soja.

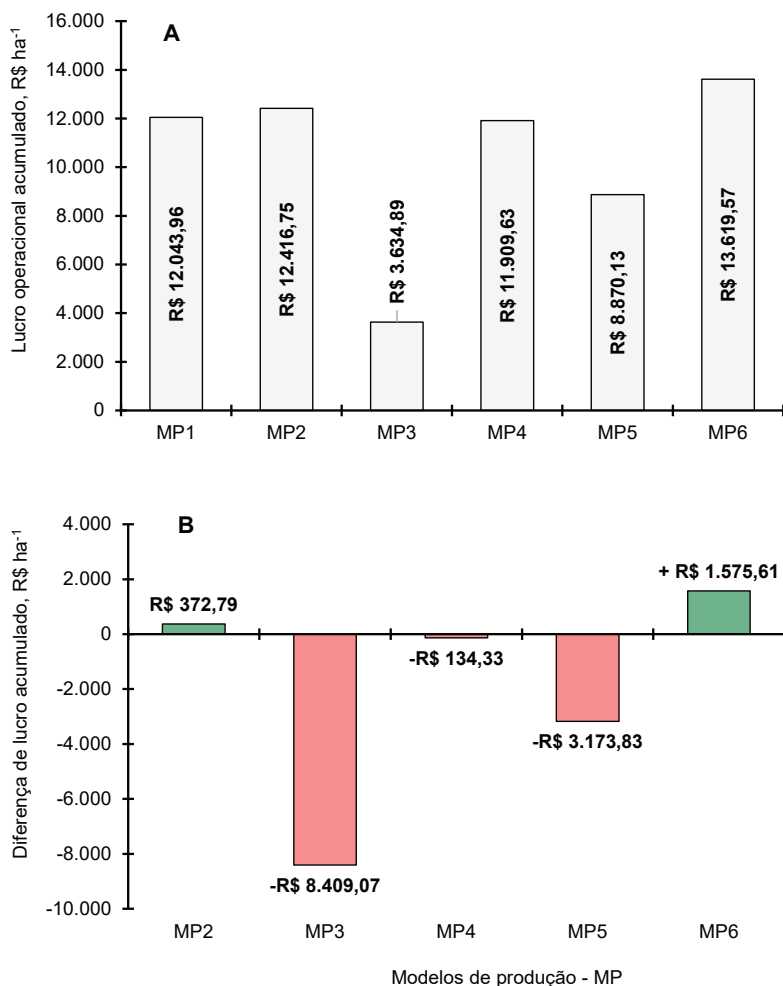


*MP2 = sucessão trigo/soja; MP3 = cevada-forrageira-trigo/soja; MP4 = feijão-caupi-trigo/soja; MP5 = milho-granífero-trigo/soja; e MP6 = trigo-mourisco-trigo/soja.

Figura 3. Diferença (Dif.) de lucro operacional acumulado da soja (A), do trigo (B) e do outono/inverno (soma do lucro do trigo e das culturas de janelas) (C) em três safras (2021/2022, 2022/2023 e 2023/2024), na comparação dos modelos MP2 a MP6 com o modelo MP1 (sucessão milho segunda safra/soja) (B).

A Figura 3C mostra o lucro operacional acumulado no outono-inverno, que considera a soma dos resultados financeiros obtidos com o trigo e com as culturas graníferas implantadas na janela outonal. Conforme essa Figura, verifica-se que o lucro auferido com o cultivo do feijão-caupi ou do trigo-mourisco compensou com vantagem o prejuízo financeiro resultado pelo trigo, de forma que os modelos MP4 e MP6 passaram a apresentar resultado financeiro melhor que o MP1 no outono-inverno. Isso confirma a hipótese inicial do trabalho, de que a produção de grãos na janela outonal poderia viabilizar a rotação trigo-milho segunda safra, compensando o menor lucro operacional do trigo, o que ocorre na maioria das safras considerando condições ambientais do norte do Paraná. Por outro lado, o milheto-granífero e, sobretudo, a cevada-forrageira, aumentaram o prejuízo acumulado no outono-inverno na comparação com a sucessão milho segunda safra/soja, em virtude da geração de receitas inferiores aos custos de produção e, no caso específico da cevada, das perdas significativas de produtividade ocasionadas na cultura do trigo implantada na sequência (Tabela 9).

No acumulado das três safras, todos os modelos proporcionaram resultado financeiro positivo para o sistema de produção como um todo (Figura 4A). O lucro operacional acumulado nos modelos MP2 e MP6 foi 3,1% e 13,1% superior à sucessão milho segunda safra/soja (Figura 4B), o que demonstra a viabilidade econômica do trigo como alternativa para diversificar a matriz produtiva para além da sucessão milho segunda safra/soja, predominante no norte paranaense e em outras regiões do estado, sobretudo quando associado ao cultivo do trigo-mourisco como uma safra adicional de grãos na janela outonal. Além da melhoria do desempenho econômico observado no curto prazo (três anos), é importante destacar que a diversificação de culturas traz, ao longo do tempo, outros benefícios, como a redução da intensidade dos processos erosivos e a melhoria da qualidade química, física e biológica do solo, já discutidos anteriormente. Isso, provavelmente, aumentará os impactos positivos da rotação com o trigo associado ao trigo-mourisco na janela outonal sobre a lucratividade do sistema em um horizonte de médio a longo prazo.



MP2 = sucessão trigo/soja; MP3 = cevada-forrageira-trigo/soja; MP4 = feijão-caupi-trigo/soja; MP5 = milheto-granífero-trigo/soja; e MP6 = trigo-mourisco-trigo/soja.

Figura 4. Lucro operacional acumulado em três safras (2021/2022, 2022/2023 e 2023/2024) nos modelos de produção avaliados (A) e diferença do lucro acumulado na comparação dos modelos MP2 a MP6 com o modelo MP1 (milho segunda safra/soja) (B).

Ainda com relação aos resultados da Figura 4, é importante destacar que, no caso do cultivo de feijão-caupi na janela outonal (MP4), o resultado financeiro calculado para o sistema de produção em três anos foi similar ao obtido na sucessão milho segunda safra/soja, de forma que novos estudos buscando reduzir ou mesmo eliminar os efeitos negativos do caupi sobre a produtividade da soja, embasados nas causas desse problema, são de grande interesse para futuros projetos que visem diversificar o modelo de sucessão milho segunda safra/soja. No entanto, os modelos de produção envolvendo trigo associado ao cultivo de milheto-granífero ou cevada-forrageira não se mostram alternativas economicamente viáveis para diversificar a matriz milho segunda safra/soja, uma vez que resultaram em reduções expressivas no lucro operacional acumulado no sistema de produção.

Indicações técnicas a partir dos resultados obtidos

Os resultados de pesquisa aqui apresentados mostram que o cultivo de trigo-mourisco para produção de grãos na janela outonal, entre a colheita da soja e a semeadura do trigo, apresenta viabilidade técnica e econômica para diversificar a sucessão milho segunda safra/soja na região norte do Paraná. Para potencializar o desempenho técnico e econômico dessa estratégia, alguns aspectos devem ser observados na aplicação desse ativo tecnológico em escala de lavouras comerciais:

a) O cultivo de trigo associado ao trigo-mourisco para produção de grãos na janela outonal não deve ser repetido anualmente. Resultados de pesquisa mostram que a sucessão trigo/soja, quando repetida no médio e longo prazos, reduz a produtividade de ambas as culturas em relação a modelos com maior diversificação (Debiasi et al., 2015), o que pode limitar o desempenho econômico-financeiro do sistema de produção. Com base nos resultados desses autores, indica-se que o cultivo de trigo na região norte do Paraná seja limitado a 50% da área ocupada por culturas de primavera/verão.

b) O ciclo da cultivar de trigo-mourisco utilizada deve ser compatível com a duração da janela outonal. Para a maioria dos sistemas de produção no norte do Paraná, a cultivar disponível com ciclo mais adequado à janela outonal é a IPR-91 (Baili). A dessecação pré-colheita do trigo-mourisco, de 3 dias a 6 dias após a data em que as plantas apresentavam no caule principal, em média, 70% dos grãos maduros (Guimarães et al., 2021), pode reduzir o ciclo da cultura e facilitar o seu encaixe na janela outonal, além de diminuir perdas de grãos que reduzem a produtividade e podem gerar infestação de plantas voluntárias no trigo cultivado em sequência. Entretanto, há necessidade de registro de herbicidas para esse fim, bem como a observação do respectivo intervalo de segurança entre a aplicação e a colheita.

c) Dar preferência de uso para cultivares de trigo mais precoces, preferencialmente, com maturação em menos de 120 dias após a emergência. Isso possibilita a semeadura do trigo mais tarde (mês de maio), aumentando a duração da janela disponível para o cultivo do trigo-mourisco.

d) É essencial respeitar as épocas recomendadas para a semeadura do trigo nos diferentes municípios da região norte do Paraná, de acordo com o zoneamento agrícola de risco climático (Zarc), constante de portarias do Ministério da Agricultura e Pecuária, atualizadas anualmente. A semeadura do trigo fora da época recomendada impede o acesso ao seguro agrícola e aumenta significativamente o risco de perdas de produtividade, que podem atingir valores que não são compensados por um eventual lucro com o trigo-mourisco. Para Londrina, por exemplo, a época recomendada para a semeadura de cultivares de trigo do grupo II (maturação entre 110 dias-120 dias após a emergência), com um risco de 20%, estende-se de abril até o 2º decêndio de maio. Caso o trigo-mourisco não atinja o ponto de colheita em tempo hábil para semeadura do trigo dentro do período com risco climático de até 20%, indica-se não realizar a colheita da respectiva cultura, manejando-a como cultura de cobertura. Nesse caso, a decisão sobre a viabilidade de colheita do trigo-mourisco deve ser tomada até o momento do pleno

florescimento da cultura, para evitar formação de sementes que possam gerar plantas voluntárias durante o ciclo do trigo.

e) A intensificação do sistema de produção por meio da realização de três safras em um único ano agrícola deve ser restrita a solos com fertilidade química construída, com acidez corrigida e teores de macronutrientes acima do nível crítico (níveis altos ou muito altos), de acordo com as tabelas de interpretação para a soja (Oliveira Junior et al., 2020), cultura principal do sistema de produção.

f) Levando-se em consideração que i) o cultivo do trigo-mourisco para produção de grãos na janela outonal está sendo indicado somente para solos com fertilidade química construída (item “e”); ii) a quantidade de nutrientes exportada tende a ser relativamente baixa, considerando-se os valores médios de produtividade da cultura (Tabela 7); iii) o trigo-mourisco na janela outonal é uma cultura de importância secundária em comparação com as demais; e iv) a colheita do trigo-mourisco pode não ser realizada caso implique em atraso na semeadura do trigo (item “d”), a adubação do trigo-mourisco não parece ser a melhor opção. Sendo assim, indica-se o monitoramento dos teores no solo e a realização do balanço de nutrientes do sistema de produção, incluindo as exportações oriundas da colheita de grãos do trigo-mourisco. Caso o balanço de nutrientes no conjunto das culturas que compõem o sistema de produção indique valores negativos, faz-se necessário repor esses nutrientes via adubação nas safras seguintes e nas culturas mais responsivas e/ou de maior importância econômica. Não foram encontrados trabalhos de pesquisa determinando a exportação de nutrientes via grãos de trigo-mourisco cultivado na janela outonal no Paraná. Com base em trabalhos realizados em outras regiões (Furlan et al., 2006; Unal et al., 2017), onde a concentração de macronutrientes nos grãos de trigo-mourisco foi determinada visando avaliar sua qualidade nutricional para alimentação animal e humana, foi possível estimar a exportação por tonelada grãos em aproximadamente 20 kg de N, 8 kg P_2O_5 e 5 kg de K_2O . Seguindo os princípios utilizados para definição das doses de manutenção (M) e reposição (R) para a soja no Paraná (Oliveira Junior et al., 2020), a Tabela 14 traz uma primeira aproximação das quantidades de P_2O_5 e K_2O que seriam necessárias para manutenção

ou reposição dos teores no solo tendo em vista a exportação de nutrientes pelo trigo-mourisco. No caso do N, a reposição dos valores exportados pelos grãos também é importante, uma vez que balanços negativos de N no sistema de produção podem resultar na diminuição dos teores de matéria orgânica no solo (MOS), comprometendo assim a qualidade do solo no longo prazo. Considerando uma eficiência de uso do N contido no fertilizante de 70%, seria necessária a aplicação de 28 kg N por tonelada de trigo-mourisco produzida. Indica-se a aplicação do N exportado pelo trigo-mourisco como adicional à adubação mineral indicada para gramíneas destinadas a produção de grãos ou forragem no sistema, ou por meio do cultivo de leguminosas para a cobertura do solo, solteiras ou consorciadas a plantas de outras famílias botânicas.

Tabela 14. Indicações preliminares de adubação de manutenção ou reposição no sistema de produção em função da exportação de P e K pelo trigo mourisco cultivado na janela entre a colheita da soja e a semeadura do trigo. Adaptado de Oliveira Júnior et al. (2020).

CTC pH 7,0	Interpretação ⁽¹⁾	Teores (0-20 cm)		Dose indicada	
		P	K	P ₂ O ₅	K ₂ O
cmol _c /dm ³		-- mg/dm ³ --	- cmol _c /dm ³ -	-- kg/t ¹ /ha ¹ --	
< 5	Alto (M)	20,1-35,0	0,13-0,20	11,0	5,5
	Muito Alto (R)	> 35,0	> 0,20	8,0	5,0
≥ 5	Alto (M)	9,1-15,0	0,21-0,30	11,0	5,5
	Muito Alto (R)	> 15,0	> 0,30	8,0	5,0

⁽¹⁾Para os teores de P e K enquadrados na classe de interpretação da análise de solo (amostras de 0-20 cm de profundidade) "alto", utiliza-se a dose de manutenção (M), calculada a partir da exportação do nutriente e da eficiência de uso dos mesmos (75% para o P e 90% para o K). Já o valor de reposição (R) é aplicado a teores na classe "muito alto", e representa a exportação via grãos de forma direta.

g) Na maioria das situações, o crescimento inicial da soja implantada em sucessão ao trigo na região norte do Paraná é menor comparativamente ao cultivo pós-milho segunda safra, resultando em menor índice de área foliar (IAF) nos estádios iniciais da cultura (Yokoyama et al., 2018). De acordo com os mesmos autores, sob condições favoráveis de clima e manejo, o IAF da soja pós-trigo

igualar-se ao observado pós-milho segunda safra na fase de enchimento de grãos, de modo que o crescimento inicial mais lento não é limitante à produtividade da oleaginosa. Entretanto, a semeadura da soja em intervalos ≤ 20 dias após a colheita do trigo, especialmente quando associada à ocorrência de déficit hídrico no início do desenvolvimento da oleaginosa, pode intensificar o menor crescimento da soja pós-trigo, reduzindo a sua produtividade em comparação à observada em sucessão ao milho segunda safra (Debiasi et al., 2025a), o que pode limitar o desempenho econômico-financeiro da rotação trigo/milho segunda safra. Dessa forma, indica-se que semeadura da soja seja realizada com um intervalo superior a 20 dias após a colheita do trigo e em época tal que a disponibilidade hídrica no perfil do solo seja suficiente para garantir o adequado crescimento inicial da cultura. Embora bastante variável de ano para ano, essa condição na região norte do Paraná ocorre, em geral, a partir do 2º decêndio do mês de outubro. O uso de cultivares de maior crescimento e/ou ciclo mais longo (limitado pela época de implantação das culturas pós-soja) também pode amenizar esse efeito.

h) Existem poucas informações disponíveis sobre o manejo do trigo-mourisco para produção de grãos, principalmente, quando cultivado na janela outonal. Como ponto de partida, pode-se utilizar os índices técnicos propostos por Motta (2006), que indica a utilização de uma densidade de 150 sementes por metro quadrado (50 kg/ha-60 kg/ha) e um espaçamento entrelinhas de 17 cm-20 cm. Considerando um valor cultural de 80%, essa quantidade de sementes resultaria em uma população de 120 plantas por metro quadrado. Entretanto, os resultados obtidos por Fabian et al. (2021), em cultivo realizado na janela outonal em Cascavel/PR, indicam a possibilidade de redução da densidade para até 95 plantas por metro quadrado, sem prejuízo na produtividade e a consequente redução dos custos com sementes e do acamamento. Por outro lado, Mützenbergl et al. (2022) encontraram que a produtividade do trigo-mourisco aumentou linearmente com o incremento da densidade de plantas de 25 plantas para 70 plantas por metro quadrado, evidenciando que populações menores que 700 mil plantas por hectare diminuem a produtividade da cultura.

Um outro aspecto importante para incrementar a produtividade do trigo-mourisco é o uso da cultura para pastoreio por abelhas, o que também contribui para agregar valor à cultura pela produção de mel. De acordo com Goodman et al. (2001), a atividade de abelhas e de outros insetos polinizadores aumentou a produção de grãos de trigo-mourisco de 91,5 gramas por parcela (parcelas fechadas aos insetos) para 180,4 gramas por parcela (parcelas abertas aos insetos).

Considerações finais

Com base nos resultados de três anos de pesquisa, o cultivo de trigo no outono-inverno, associado à produção de grãos de trigo-mourisco na janela outonal, é uma estratégia técnica e economicamente viável para diversificar a matriz produtiva de grãos da região norte do estado do Paraná, para além da sucessão milho segunda safra/soja. Salienta-se que o desempenho econômico dessa estratégia de diversificação pode ser potencializado por meio de tecnologias que otimizem o sistema de cultivo do trigo-mourisco nas condições da janela outonal no norte do Paraná, a serem desenvolvidas em novos projetos de pesquisa dentro desse tema. Essas tecnologias envolvem aspectos como população e arranjo de plantas, manejo de insetos polinizadores, adubação e manejo pré-colheita visando reduzir as perdas de grãos que ocorrem nesse processo.

A inclusão do feijão-caupi na janela outonal pré-semeadura do trigo merece ser mais bem estudada em projetos de pesquisa subsequentes, buscando alternativas que minimizem ou mesmo eliminem os impactos negativos dessa cultura na produtividade da soja. Além disso, são necessários estudos fitotécnicos para melhor adaptação do feijão-caupi às condições de janela outonal no norte do Paraná, bem como a elaboração de zoneamento agrícola de risco climático (Zarc) para a cultura nessa região.

O cultivo de cevada-forrageira ou de milheto para grãos na janela outonal pré-trigo não se constitui em opção técnica e economicamente viável para diversificar a matriz produtiva para além da sucessão milho segunda safra/soja no norte do Paraná.

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 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”, do qual o experimento que deu origem a esse trabalho também faz parte.

Referências

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. **Série histórica do levantamento de preços**. 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/precos-e-defesa-da-concorrencia/precos/precos-revenda-e-de-distribuicao-combustiveis/seriehistorica-do-levantamento-de-precos>. Acesso em: 20 ago. 2024.

A INOVAÇÃO que faltava: BRS Entressafras: BRS CVA 118: cevada forrageira ultraprecoce. [Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2023]. 1 folder.

ANDRADE JUNIOR, A. S. de; SANTOS, A. A. dos; ATHAYDE SOBRINHO, C.; BASTOS, E. A.; MELO, F. de B.; VIANA, F. M. P.; FREIRE FILHO, F. R.; CARNEIRO, J. da S.; ROCHA, M. de M.; CARDOSO, M. J.; SILVA, P.

H. S. da; RIBEIRO, V. Q. **Cultivo do feijão-caupi** [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.]. Teresina: Embrapa Meio Norte, 2002. 108 p. (Embrapa Meio Norte. Sistemas de Produção, 2).

ÁRIAS, G. **Mejoramiento genetico y produccion de cebada cervecera en America del Sur**. Roma: FAO, 1995. 157 p.

ATHAYDE SOBRINHO, C. Principais doenças do feijão-caupi no Brasil. In: BASTOS, E. A. (coord.). **A cultura do feijão-caupi no Brasil**. Teresina: Embrapa Meio Norte; Brasília, DF: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Divisão de Análise de Risco de Pragas, 2016. p. 44-67.

BASTOS, A. O.; MOREIRA, I.; FURLAN, A. C.; FRAGA, A. L.; OLIVEIRA, R. P. de; OLIVEIRA, E. de. Composição química, digestibilidade dos nutrientes e da energia de diferentes milhetos (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Brown) em suínos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 34, p. 520-528, 2005.

BASTOS, E. A.; FOLEGATTI, M. V.; ANDRADE JÚNIOR, A. S.; CARDOSO, M. J.; FARIA, R. T. Manejo econômico da irrigação do feijão-caupi via modelo de simulação. **Irriga**, v. 5, p. 84-98, 2000.

BAUJARD, P.; MARTINY, B. Ecology and pathogenicity of the Hoplolaimidae (Nemata) from the sahelian zone of West Africa. 1. Field studies on *Scutellonema cavenessi* Sher, 1964. **Fundamental and Applied Nematology**, v. 18, p. 261-269, 1995.

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.

BOER, C. A.; ASSIS, R. L. de; SILVA, G. P.; BRAZ, A. J. B. P.; BARROSO, A. L. de L.; CARGNELUTTI FILHO, A.; PIRES, F. R. Ciclagem de nutrientes por plantas de cobertura na entressafra em um solo de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, p. 1269-1276, 2007.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Pecuária. Programa Nacional de Zoneamento Agrícola de Risco Climático: portaria SPA/MAPA Nº 358, de 16 de agosto de 2024. **Diário Oficial da União**: seção 1, 21 ago. 2024. Disponível em <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/riscos-seguro/>

programa-nacional-de-zoneamento-agricola-derisco- climatico/portarias/ safra-vigente/parana/PO75111.PDF. Acesso em: 10 dez. 2024.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Pecuária. **Programa Nacional de Zoneamento Agrícola de Risco Climático**: Portarias por unidade federativa. 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/riscos-seguro/programa-nacional-de-zoneamento-agricola-de-risco-climatico/portarias>. Acesso em: 24 abr. 2025.

CARVALHO, M. L.; VANOLLI, B. da S.; SCHIEBELBEIN, B. E.; BORBA, D. A. de. V.; LUZ, F. B. da; CARDOSO, G. M.; BORTOLO, L. de S.; MAROSTICA, M. E. M.; SOUZA, V. S. **Guia prático de plantas de cobertura**: aspectos filotécnicos e impactos sobre a saúde do solo. Piracicaba: ESALQ-USP, 2022. 126 p. DOI: 10.11606/9786589722151. Disponível em: https://www.esalq.usp.br/biblioteca/pdf/Livro_Plantas_de_Cobertura_completo.pdf. Acesso em: 11 mar. 2025.

CLAUDIUS-COLE, A. O.; FAWOLE, B. Reproduction and biology of *Scutellonema bradys* in roots of tropical cover crops. **Nematropica**, v. 46, p. 22-30, 2016.

COMEX STAT. **Dados gerais**. 2025. Disponível em: <https://comexstat.mdic.gov.br/pt/geral>. Acesso em: 07 jul. 2025.

CONAB. **Insumos agropecuários**. 2024b. Disponível em: <https://consultaweb.conab.gov.br/consultas/consultaInsumo.do?method=acaoCarregarConsulta/>. Acesso em: 30 ago. 2024.

CONAB. **Preços agrícolas, da sociobio e pesca**. 2024a. Disponível em: <https://sisdep.conab.gov.br/precosiagroweb/>. Acesso em: 08 abr. 2024.

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.

COSTA, E. M.; NÓBREGA, R. S. A.; MARTINS, L. de V.; AMARAL, F. H. C.; MOREIRA, F. M. de S. Nodulação e produtividade de *Vigna unguiculata*

(L.) Walp. por cepas de rizóbio em Bom Jesus, PI. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 42, p. 1-7, 2011.

DEBIASI, H.; BALBINOT JUNIOR, A. A.; FRANCHINI, J. C.; MOROTA, F. K.; TONINI, V.; ROY, J. M. T.; MÜHL, A. **Produtividade da soja em função da semeadura pós-trigo ou pós-milho segunda safra na região de transição climática do Paraná**. Londrina: Embrapa Soja, 2025a. 16 p. (Embrapa Soja. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 40).

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.; 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.; 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.; 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).

DECHEN, S. C. F.; TELLES, T. S.; GUIMARÃES, M. de F.; MARIA, I. C. de, Perdas e custos associados à erosão hídrica em função de taxas de cobertura do solo. **Bragantia**, v. 74, p. 224-233, 2015.

DENARDIN, J. E.; KOCHHANN, R. A. Desafios à caracterização de solo fértil em manejo e conservação do solo e da água. **Revista Plantio Direto**, v. 16, n. 98, p. 16-21, 2007.

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.

DURÂES, F. O. M.; MAGALHAES, P. C.; LAVINSKY, A. O. Ecofisiologia. In: PEREIRA FILHO, I. A. **Cultivo do milho**. 5. ed. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2016. (Embrapa Milho e Sorgo. Sistemas de Produção, 3).

DWIVEDI, G. K. Tolerance of some crops to soil acidity and response to liming. **Journal of the Indian Society of Soil Science**, v. 44, p. 736-741, 1996.

EMBRAPA ARROZ E FEIJÃO. **Consumo per capita de arroz e de feijão no Brasil de 1985 a 2023**. 2024. Disponível em: <https://www.cnpaf.embrapa.br/socioeconomia/docs/arroz/consumopercapitaarrozefeijao.htm>. Acesso em: 09 jul. 2025.

FABIAN, F. M.; HOJO, E. T. D.; TOMAZI, C. V.; HOJO, R. H. Época e densidade de plantio de trigo mourisco em Cascavel/PR. **Cultivando o Saber**, v. mercado e pesquisa, p. 37-45, 2021.

FAO. **FAOSTAT**: crop and livestock products. Dec. 19, 2024. Disponível em: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/TCL>. Acesso em: 07 jul. 2025.

FARIAS, V. D. da S.; COSTA, D. L. P.; SOUZA, P. J. de O. P. de; TAKAKI, A. Y.; LIMA, M. J. A. de. Temperaturas basais e necessidade térmica para o ciclo de desenvolvimento do feijão-caupi. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer, v. 11, p. 1781-1792, 2015.

FAVORETO, L.; BUENO, R.; CALANDRELLI, A.; FRANÇA, P. P.; MEYER, M. C.; MACHADO, A. C. Z. *Aphelenoides besseyi* parasitizing cowpea (*Vigna unguiculata*) in Brazil. **Plant Disease**, v. 106, p. 1555-1557, 2022.

FERREIRA, D. F. SISVAR: um programa para análises e ensino de estatística. **Revista Symposium**, v. 6, p. 36-41, 2008.

FONTANELI, R. S.; SANTOS, H. P. dos; FONTANELI, R. S.; OLIVEIRA, J. T. de; LEHMEN, R. I.; DREON, G. Gramíneas forrageiras anuais de inverno. In: FONTANELI, R. S.; SANTOS, H. P. dos; FONTANELI, R. S. (ed.).

Forrageiras para integração lavoura-pecuária-floresta na região sul-brasileira. Brasília, DF: Embrapa, 2012. p. 127-171.

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).

FREIRE FILHO, F. R.; CRAVO, M. da S.; VILARINHO, A. A.; CAVALCANTE, E. da S.; FERNANDES, J. B.; SAGRILO, E.; RIBEIRO, V. Q.; ROCHA, M. de M.; SOUZA, F. de F.; LOPES, A. de M.; GONÇALVES, J. R. P.; CARVALHO, H. W. L. de; RAPOSO, J. A. A.; SAMPAIO, L. S. **BRS Novaera: cultivar de feijão-caupi de porte semi-ereto.** Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2008. 4 p. (Embrapa Amazônia Oriental. Comunicado técnico, 215).

FREIRE FILHO, F. R.; RIBEIRO, V. Q.; BARRETO, P. D.; SANTOS, A. A. dos. Melhoramento genético In: FREIRE FILHO, F. R.; LIMA, J. A. de A.; RIBEIRO, V. Q. (ed.). **Feijão-caupi: avanços tecnológicos.** Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2005. p. 28-92.

FREIRE FILHO, F. R.; RIBEIRO, V. Q.; ROCHA, M. de M.; SILVA, K. J. D. e; NOGUEIRA, M. do S. da R.; RODRIGUES, E. V. **Feijão-caupi no Brasil: produção, melhoramento genético, avanços e desafios.** Teresina: Embrapa Meio Norte, 2011. 84 p.

FUNATSUKI, H.; MARUYAMA W. F.; FUJINO, K.; AGATSUMA, M. Ripening habit of buckwheat. **Crop science**, v. 40, p. 1103-1108, 2000.

FURLAN, A. C.; SANTOLIN, M. L. da R.; SCAPINELLO, C.; MOREIRA, I.; FARIA, H. G. de. Avaliação nutricional do trigo mourisco (*Fagopyrum esculentum*, Moench) para coelhos em crescimento. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v. 28, p. 21-26, 2006.

GABRIEL, M.; KULCZYNSKI, S. M.; BELLE, C.; KIRSCH, V. G.; CALDERAN-BISOGNIN, E. A. Reação de gramíneas forrageiras a *Meloidogyne* spp. e *Pratylenchus brachyurus*. **Nematropica**, v. 48, p. 155-163, 2018.

GAERTNER, C.; DEDECEK, R. A.; BISCAIA, R. M. Produtividade de trigo e soja em Latossolo Vermelho distrófico sob erosão simulada e causada pela chuva. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, p. 1443-1449, 2003.

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.

GARDIANO, C. G.; KRZYZANOWSKI, A. A.; SAAB, O. J. A. Hospedabilidade de plantas melhoradoras de solo à *Rotylenchulus reniformis* Linford e Oliveira (1940). **Arquivos do Instituto Biológico**, v. 79, p. 313-317, 2012.

GOLDCHIN, A.; BALDOCK, J. A.; OADES, J. M. A model linking organic matter decomposition, chemistry, an aggregate dynamic. In: LAL, R.; KIMBLE, J. M.; FOLLET, R. F.; STEWART, B. **Soil process and the carbon cycle**. Boca Raton: CRC Press, 1997. p. 245-266.

GOODMAN, R.; HEPWORTH, G.; KACZYNSKI, P.; MCKEE, B.; CLARKE, S.; BLUETT, C. Honeybee pollination of buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) cv. Manor. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, v. 41, p. 1217-1221, 2001.

GÓRECKA, D.; HEŚ, M.; SZYMANDERA-BUSZKA, K.; DZIEDZIC, K. Contents of selected bioactive components in buckwheat groats. **Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria**, v. 8, p. 75-83, 2009.

GUIMARÃES, L. J.; BRONDANI, D. P.; BATISTA, V. V.; ADAMI, P. F. Herbicides and desiccation times on buckwheat productivity and germination. **Revista Ciência Agrícola**, v. 19, p. 219-226, 2021.

HÍBRIDOS de milheto granífero: manual técnico 2ª safra 2025. Alto Graças: ATTO sementes, 2025. Disponível em: <https://attosementes.com.br/wp-content/uploads/2024/11/Manual-Tecnico-2a-Safra-2025-ATTO-Sementes-Hibridos-de-Milheto-Granifero.pdf>. Acesso em: 18 ago. 2025.

HIRAKURI, M. H.; DEBIASI, H.; PROCOPIO, S. de O.; FRANCHINI, J. C.; CASTRO, C. de. **Sistemas de produção**: conceitos e definições no contexto agrícola. Londrina: Embrapa Soja, 2012. 24 p. il. (Embrapa Soja. Documentos, 335).

IAT. **Folhas Topográficas do Estado do Paraná 1:50.000**. 2009.

Disponível em: https://www.iat.pr.gov.br/sites/agua-terra/arquivos_restritos/files/documento/2020-07/articulacao_50000.pdf. Acesso em: 10 set. 2024.

IDR/PARANÁ - Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná - IAPAR/ EMATER. **Médias históricas em estações do IDR-Paraná** - Estação de Mauá da Serra. 2025a. Disponível em: https://www.idrparana.pr.gov.br/system/files/publico/agrometeorologia/medias-historicas/Maua_da_Serra.pdf. Acesso em: 23 abr. 2025.

IDR/PARANÁ - Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná - IAPAR/ EMATER. **Médias históricas em estações do IDR-Paraná** - Estação de Londrina. 2025b. Disponível em: <https://www.idrparana.pr.gov.br/system/files/publico/agrometeorologia/medias-historicas/Londrina.pdf>. Acesso em: 23 abr. 2025.

IDR/PARANÁ - Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná - IAPAR/ EMATER. **Médias históricas em estações do IDR-Paraná** - Estação de Bandeirantes. 2025c. Disponível em: <https://www.idrparana.pr.gov.br/system/files/publico/agrometeorologia/medias-historicas/Bandeirantes.pdf>. Acesso em: 23 abr. 2025.

IMMET. **Normais climatológicas** - mapas. 2025. Disponível em: https://clima.inmet.gov.br/NormaisClimatologicas/1961-1990/precipitacao_acumulada_mensal_anual. Acesso em: 24 abr. 2025.

INOMOTO, M. M. Avaliação da resistência de 12 híbridos de milho a *Pratylenchus brachyurus*. **Tropical Plant Pathology**, v. 36, p. 308-312, 2011.

KRAUS, H.; LEWIS, S. A. *Scutellonema brachyurum*: host plants and pathogenicity on cotton. **Plant Disease Reporter**, v. 63, p. 688-691, 1979.

KUNACHOWICZ, H.; NADOLNA, I.; KLYS, W.; IWANOW, K.; RUTKOWSKA, U. Evaluation of the nutritive value of some gluten-free products. **Zywnienie Czlowieka i Metabolizm**, v. 23, p. 99-109, 1996.

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.

LANDAU, E. C.; PEREIRA FILHO, I. A. Clima. In: PEREIRA FILHO, I. A. (ed.). **Cultivo do milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2009. (Embrapa Milho e Sorgo. Sistema de produção, 3).

LIPIEC, J.; ARVIDSSON, J.; MURER, E. Review of modeling crop growth, movement of water and chemicals in relation to topsoil and subsoil compaction. **Soil and Tillage Research**, v. 73, p. 145-170, 2003.

LOCATELLI, J. L.; GROSSO, S. del; SANTOS, R. S. S.; HONG, M.; GURUNG, R.; STEWART, C. E.; CHERUBIN, M. R.; BAYER, C.; CERRI, C. E. P. Modeling soil organic matter changes under crop diversification strategies and climate change scenarios in the Brazilian Cerrado.

Agriculture, Ecosystems and Environment, v. 379, 109334, 2025.

MAGALHÃES, J. C. A. J.; VIEIRA, R. F.; PEREIRA, J.; PERES, J. R. R. Efeito da adubação na disponibilidade de fósforo de fosfatos, numa sucessão de culturas, em solo de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 15, p. 330-337, 1991.

MARINHO, R. de C. N.; NÓBREGA, R. S. A.; ZILLI, J. E.; XAVIER, G. R.; SANTOS, C. A. F.; AIDAR, S. de T.; MARTINS, L. M. V.; FERNANDES JÚNIOR, P. I. Field performance of new cowpea cultivars inoculated with efficient nitrogen-fixing rhizobial strains in the Brazilian Semiarid. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 49, p. 395-402, 2014.

MELO, S. R. de; ZILLI, J. E. Fixação biológica de nitrogênio em cultivares de feijão-caupi recomendadas para o estado de Roraima. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, p. 1177-1183, 2009.

MENDES, I. de C.; SOUZA, L. M. de; DANTAS, O. D.; LOPES, A. A. de C.; REIS JUNIOR, F. B.; OLIVEIRA, M. I.; CHAER, G. M. Soil quality and grain yield: A win-win combination in clayey tropical oxisols. **Geoderma**, v. 388, 114880, 2021.

MENDES, I. de C.; SOUZA, L. M. de; SOUSA, D. M. G. de; LOPES, A. A. de C.; REIS JUNIOR, F. B.; LACERDA, M. P. C.; MALAQUIAS, J. V. Critical limits for microbial indicators in tropical Oxisols at post-harvest: The

FERTBIO soil sample concept. **Applied Soil Ecology**, v. 139, p. 85-93, 2019.

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.

MIROSAVLJEVIC, M.; MOMCILOVIC, V.; PRZULJ, N.; MAKSIMOVIC, I.; DELIC, M. P. Dry matter accumulation of winter wheat and barley at different sowing dates. **Ratar Povrt**, v. 55, p. 87-94, 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. Modelagem da dinâmica da água em sistemas de preparo de um Latossolo Vermelho. **Scientia Agraria**, v. 19, p. 142-152, 2018.

MOTTA, C. A. P. Produção de sementes de plantas de cobertura. In: CASÃO JUNIOR, R.; SIQUEIRA, R.; MEHTA, Y. R.; PASSINI, J. J. (ed.). **Sistema plantio direto com qualidade**. Londrina: IAPAR; Foz do Iguaçu: Itaipu Binacional, 2006. p. 75-84.

MOURA, J. Z.; PÁDUA, L. E. M.; MOURA, S. G.; TORRES, J. S.; SILVA, P. R. R. Escala de desenvolvimento fenológico e exigência térmica associada a graus-dia do feijão caupi. **Revista Caatinga**, v. 25, p. 66-71, 2012.

MÜTZENBERG, L. A.; SIEGA, Y. P.; ROSSATO, O. B. Efeito da densidade populacional em características agrônômicas de variedades de trigo mourisco. **Brazilian Journal of Development**, v. 8, p. 69950-69964, 2022.

MYERS, R. L.; MEINKE, L. J. **Buckwheat: A multi-purpose, short-season alternative**. Columbia, MO: University of Missouri, 1994. (University of Missouri. Extension Bulletin G4306).

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.

NORMAN, M. J. T.; PEARSON, C. J.; SEARLE, P. G. E. Pearl millet (*Pennisetum glaucum*). In: NORMAN, M. J. T.; PEARSON, C. J.; SEARLE, P. G. E. **The Ecology of Tropical Food Crops**. 2nd ed. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 1995. p. 164-184.

OLIVEIRA JUNIOR, A.; 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, J. G.; R. de; SILVA, F. C. M. da; VENDRAME, P. R. S.; BARBOSA, G. M. de C.; OLIVEIRA, J. F. de; GUEDES FILHO, O.; RIBEIRO, L. de O.; SILVA, A. C. da; ALIEVI, A. A. **Conhecendo os solos das mesorregiões norte central e norte pioneiro do Paraná**: abordagem para educadores do ensino fundamental e médio. Cornélio Procopio: NEPAR-SBCS, 2024. 59 p. E-book.

PACHECO, L. P.; BARBOSA, J. M.; LEANDRO, W. M.; MACHADO, P. L. O. de A.; ASSIS, R. L. de; MADARI, B. E.; PETTER, F. A. Ciclagem de nutrientes por plantas de cobertura e produtividade de soja e arroz em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 48, p. 1228-1236, 2013.

PARANÁ. Secretaria da Agricultura e do Abastecimento. **Estimativa de safra**. 2025. Disponível em: <https://www.agricultura.pr.gov.br/safras>. Acesso em: 09 abr. 2025.

PARANÁ. Secretaria da Agricultura e do Abastecimento. **Núcleos Regionais**. 2024. Disponível em: <https://www.agricultura.pr.gov.br/Pagina/Nucleos-Regionais>. Acesso em: 03 set. 2024.

PAVEK, P. L. S. **Plant Guide for buckwheat (*Fagopyrum esculentum*)**. Pullman, WA: USDA-Natural Resources Conservation Service, Pullman Plant Materials, 2016. 6 p.

PINHEIRO, M. da S. M.; FIALHO, E. T.; LIMA, J. A. F.; FREITAS, R. T. F. de; BERTECHINI, A. G.; SILVA, H. O. Milheto moído em substituição ao milho em rações para suínos em crescimento: digestibilidade e desempenho.

Revista Brasileira de Milho e Sorgo, v. 2, p. 99-109, 2003.

POVH, F. P.; FLUGEL, L. S. **Planilha de custos da mecanização agrícola**.

Castro: Fundação ABC, 2023. Disponível em: <https://fundacaoabc.org/wp-content/uploads/2023/06/PLANILHA-DE-CUSTO-DE-MECANIZACAO-MAIO-2023-1.pdf>. Acesso em: 23 maio 2024.

PRODUTIVIDADE de grãos combinada com qualidade forrageira: BRS

Korbel: cevada forrageira. [Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2023]. 1 folder.

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.

RACHIE, K. O. Introduction. In: SINGH, S. R.; RACHE, K. O. (ed.). **Cowpea research, production and utilization**. Chichester: John Wiley & Sons, 1985. p. 21-28.

RAMOS, F. T.; DORES, E. F. G. de C.; WEBER, O. L. dos S.; BEBER, D. C.; CAMPELO JUNIOR, J. H.; MAIA, J. C. de S. Soil organic matter doubles the cation exchange capacity of tropical soil under no-till farming in Brazil.

Journal of the Science of Food and Agriculture, v. 98, p. 3595-3602, 2018.

REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE CEVADA, 33., 2022, Passo Fundo, RS. **Indicações Técnicas para a Produção de Cevada Cervejeira nas Safras 2023 e 2024**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2023. 88 p.

RIGGS, R. D. Nonhost root penetration by soybean cyst nematode. **Journal of Nematology**, v. 19, p. 251-254, 1987.

ROBERTS, E. H.; SUMMERFIELD, R. J.; MINCHIN, F. R.; STEWART, K. A.; NDUNGURU, B. J. Effects of air temperature on seed growth and maturation in cowpea (*Vigna unguiculata*). **Annals of Applied Biology**, v. 90, p. 437-446, 1978.

RUARO, E. L.; RAMOS, M. A. C. de; REDIN, M. Avaliação do uso de plantas de cobertura de solo na entressafra milho-trigo no noroeste do Rio Grande do Sul. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 22, p. 403-413, 2023.

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.

SAVIN, R.; NICOLAS, M. E. Effects of short periods of drought and high temperature on grain growth and starch accumulation of two malting barley cultivars. **Australian Journal of Plant Physiology**, v. 23, p. 201-210, 1996.

SAWADOGO, A.; THIO, B.; KIEMDE, S.; DRABO, I.; DABIRE, C.; OUEDRAOGO, J.; MULLENS, T. R.; EHLERS, J. D.; ROBERTS, P. A. Distribution and Prevalence of Parasitic Nematodes of Cowpea (*Vigna unguiculata*) in Burkina Faso. **Journal of Nematology**, v. 41, p. 120-127, 2009.

SENTELHAS, P. C.; BATTISTI, R.; CÂMARA, G. M. S.; FARIAS, J. R. B.; HAMPF, A.; NENDEL, C. The soybean yield gap in Brazil - Magnitude, causes and possible solutions for a sustainable production. **Journal of Agriculture Science**, v. 153, p. 1394-1411, 2015.

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 - 2023**. Londrina: Embrapa Soja, 2024. 34 p. (Embrapa Soja. Documentos, 460).

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).

SILVA JUNIOR, E. B. da S. **Reação de genótipos de feijão-caupi resistentes ao nematoide das galhas**. 2012. 57 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica.

SILVA, K. J. D. e; ROCHA, M. de M.; MENEZES JÚNIOR, J. A. N. de. Socioeconomia. In: BASTOS, E. A. (coord.). **A cultura do feijão-caupi no Brasil**. Teresina: Embrapa Meio-Norte; Brasília, DF: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Divisão de Análise de Risco de Pragas, 2016. p. 6-12.

SILVA NETO, M. L. da; SMIDERLE, O. J.; SILVA, K. da; FERNANDES JÚNIOR, P. I.; XAVIER, G. R.; ZILLI, J. E. Compatibilidade do tratamento de sementes de feijão-caupi com fungicidas e inoculação com estirpes de *Bradyrhizobium*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 48, p. 80-87, 2013.

SILVA, D. B. da; GUERRA, A. F.; SILVA, A. C. da; PÓVOA, J. S. R. **Avaliação de genótipos de mourisco na região do cerrado**. Brasília: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, 2002. 20 p. (Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 21).

SINGH, B. B. Cowpea breeding at IITA: highlights of advances impacts. In: CONGRESSO NACIONAL DE FEIJÃO-CAUPI, 1.; REUNIÃO NACIONAL DE FEIJÃO-CAUPI, 6., 2006, Teresina. **Tecnologias para o agronegócio**: anais. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2006. 1 CD-ROM. (Embrapa Meio-Norte. Documentos, 121).

SIQUEIRA, K. M. S.; INOMOTO, M. M. Reação de genótipos de feijão de corda (*Vigna unguiculata*) a isolados de *Pratylenchus brachyurus*. **Nematologia Brasileira**, v. 30, p. 125, 2006. Resumo apresentado no 26 Congresso Brasileiro de Nematologia, Campos dos Goytacazes, 2006.

SUMMERFIELD, R. J.; MINCHIN, F. R.; STEWART, K. A.; NDUNGURU, B. J. Growth, reproductive development and yield of effectively nodulated cowpea plants in contrasting aerial environments. **Annals of Applied Biology**, v. 90, p. 277-291, 1978.

TARANENKO, L. K.; YATSYSHEN, O. L.; TARANENKO, P. P.; TARANENKO, T. P. The unique value of buckwheat as a most important traditional cereal crop in Ukraine. In: ZHOU, M.; KREFT, I.; WOO, S.; CHRUNGGOO, N.; WIESLANDER, G. (ed.). **Molecular Breeding and Nutritional Aspects of Buckwheat**. Amsterdam: Elsevier, 2016. p. 81-85.

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

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.

UNAL, H.; IZLI, G.; IZLI, N.; ASIK, B. B. Comparison of some physical and chemical characteristics of buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) grains. **CyTA - Journal of Food**, v. 15, p. 257-265, 2017.

VOGT, A.; FELDMANN, N. A.; SOMAVILLA, L.; CUNHA, S. H. M.; MÜHL, R. Avaliação de cereais de inverno para produção de silagem. **Revista Inovação**, v. 3, p. 133-156, 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.

WICKERT, E. G. **Reação de genótipos de feijão-caupi resistentes ao nematoide das galhas**. 2022. 65 f. Dissertação (Mestrado em Fitopatologia) - Universidade de Brasília, Brasília.

WUTKE, E. B.; CALEGARI, A.; WILDNER, L. do P.; AMBROSANO, E. J.; ESTEVES, J. A. de. Espécies de adubos verdes e plantas de cobertura e recomendações de uso. In: LIMA FILHO, O. F. de; AMBROSANO, E. J.; WUTKE, E. B.; ROSSI, F.; CARLOS, J. A. D. (ed.). **Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil: fundamentos e prática**. v. 1. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2023. p. 59-173.

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.

