

Modelos de produção intensificados para diversificação da matriz produtiva para além da sucessão milho 2ª safra/soja nas regiões centro-oeste e oeste do Paraná



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

DOCUMENTOS 459

**Modelos de produção intensificados para
diversificação da matriz produtiva para
além da sucessão milho 2^a safra/soja nas
regiões centro-oeste e oeste do Paraná**

Henrique Debiasi
Alvadi Antonio Balbinot Junior
Julio Cezar Franchini
Vanei Tonini
João Maurício Trentini Roy
Ariel Muhl
Autores

Embrapa Soja
Londrina, PR
2023

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

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
Adeney de Freitas Bueno

Secretária-Executiva
Regina Maria Villas Bôas de Campos Leite

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

Supervisão editorial
Vanessa Fuzinato Dall'Agnol

Bibliotecária
Valéria de Fátima Cardoso

Projeto gráfico da coleção
Carlos Eduardo Felice Barbeiro

Editoração eletrônica e capa
Marisa Yuri Horikawa

Fotos da capa
Alvadi Antonio Balbinot Junior

1ª edição
PDF digitalizado (2023).

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

Modelos de produção intensificados para diversificação da matriz produtiva para
além da sucessão milho 2ª safra/soja nas regiões Centro-oeste e Oeste do Paraná /
Henrique Debiasi ... [et al.]. – Londrina : Embrapa Soja, 2023.
72 p. (Documentos / Embrapa Soja, ISSN 2176-2937 ; n. 459).

1. Soja. 2. Produção agrícola. I. Debiasi, Henrique. II. Balbinot Junior, Alvadi Antonio. III.
Franchini, Julio Cezar. IV. Tonini, Vanei. V. Roy, João Maurício Trentini. VI. Muhl, Ariel. VII.
Série.

CDD 633.34 (21. ed.)

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 Soja, Londrina, PR

Júlio Cezar Franchini

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

Vanei Tonini

Engenheiro-agrônomo, pesquisador do Centro de Pesquisa Agrícola (CPA) da Copacol, Cafelândia, PR

João Maurício Trentini Roy

Engenheiro-agrônomo, gerente técnico do Centro de Pesquisa Agrícola (CPA) da Copacol, Cafelândia, PR

Ariel Muhl

Engenheiro-agrônomo de Crop Protection, Corteva Agriscience, Passo Fundo, RS

Apresentação

Nas últimas duas décadas, a sucessão soja/milho 2ª safra se consolidou como o principal modelo de produção de grãos no Brasil. Segundo a Conab, na safra 2023/2024, estima-se que o Brasil terá aproximadamente 16,4 milhões de hectares de milho 2ª safra, sendo a grande maioria semeado em sucessão à soja. Esse modelo proporcionou grandes avanços em relação a sistemas menos intensificados, como aumento da produção de alimentos por área e maior eficiência da utilização da terra, mão-de-obra e insumos. No entanto, é necessário pesquisar modelos que aprimorem e diversifiquem essa sucessão, propiciando o cultivo das áreas agrícolas durante os 12 meses do ano. Modelos de produção aprimorados precisam conciliar o aumento da produtividade por área e por tempo com a melhoria da qualidade e conservação do solo e aumento do lucro auferido pelo produtor rural. Esse é um trabalho árduo de pesquisa, uma vez que implica no cultivo de várias culturas, em vários anos, além de exigir uma visão holística de todo o sistema de produção, considerando suas facetas técnicas e operacionais.

O presente trabalho apresenta resultados de pesquisa realizada por três anos, em condições edafoclimáticas representativas das regiões oeste e centro-oeste do Paraná, em experimento conduzido no âmbito de uma parceria exitosa entre a Embrapa Soja e a cooperativa Copacol. Foram avaliados oito modelos de produção, sendo possível indicar três modelos alternativos à sucessão soja/milho 2ª safra que propiciaram maior lucro operacional e que não apresentam restrições técnicas e operacionais ao uso em larga escala. Além disso, esses resultados podem ser validados para outras regiões do país.

Nesse contexto, esperamos que os resultados aqui apresentados sejam úteis para a evolução contínua dos modelos de produção das regiões oeste e centro-oeste do Paraná, proporcionando benefícios econômicos, ambientais e sociais para toda a sociedade.

Adeney de Freitas Bueno

Chefe-adjunto de Pesquisa e Desenvolvimento

Embrapa Soja

Sumário

Introdução.....	9
Metodologia.....	17
Resultados e discussão.....	31
Considerações finais	57
Agradecimentos.....	58
Referências	59

Introdução

Nos últimos 20 anos, o Paraná se consolidou como uma grande potência no contexto agrícola brasileiro e mundial, especialmente na produção de grãos. A produção de grãos no Estado aumentou de pouco mais de 29 milhões de toneladas (t) na safra 2002/2003 para 46,5 milhões t em 2022/2023 (Conab, 2023a), o que representa um incremento de 60%. Dentre as culturas com maior crescimento nesse período, destacam-se a soja (de 10,9 para 22,4 milhões de t) e o milho (de 13,6 para 18,5 milhões de t), esta última impulsionada pelo aumento da produção na 2ª safra. O expressivo crescimento da produção de grãos no Estado pode ser atribuído ao incremento da área explorada e, principalmente, ao aumento da produtividade e à intensificação dos modelos de produção, com a expansão do cultivo do milho na 2ª safra. Parte considerável da produção paranaense de grãos provém de áreas localizadas nas regiões oeste e centro-oeste do Estado. Tomando como exemplo a safra 2022/2023, essas regiões foram responsáveis por, aproximadamente, 29%, 21% e 47% da produção estadual de soja, trigo e milho 2ª safra, respectivamente (Deral, 2023).

As regiões oeste e centro-oeste do Paraná apresentam ampla variação de clima, tipo de solo e altitude, o que proporciona grande 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. Conforme a Secretaria de Agricultura e do Abastecimento do Estado do PR (Seab, 2023), a região centro-oeste compreende 25 municípios agrupados na regional de Campo Mourão. Nessa região, as classes mais frequentes de solo são os Latossolos, Nitossolos e Argissolos. Predominam solos argilosos e muito argilosos originados a partir de rochas basálticas, porém parte importante da área agrícola da região apresenta solos arenosos e franco-arenosos formados a partir do Arenito Caiuá (Bhering et al., 2007). A maior parte das áreas agrícolas tem altitude entre 400 e 750 m (IAT, 2023). Já o oeste do Paraná abrange 48 municípios, distribuídos nos núcleos regionais de Cascavel e Toledo, com predominância de solos de origem basáltica, portanto de textura argilosa a muito argilosa (Latossolos e Nitossolos) (Bhering et al., 2007). Porém, uma parte menor da região apresenta solos de textura arenosa a média, incluindo solos derivados do Arenito Caiuá (Latossolos e

Argissolos). A altitude varia de aproximadamente 230 a 850 m (IAT, 2023), o que proporciona grande variabilidade espacial de temperaturas mínimas, médias e máximas na região.

De acordo com a classificação de Köppen, o clima das regiões oeste e centro-oeste do PR 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 Cascavel (oeste – Núcleo Cascavel), Campo Mourão (centro-oeste) e Palotina (oeste – Núcleo Toledo) (Tabela 1). Cascavel é, dos três municípios exemplificados, aquele localizado mais ao Sul da região e com maior altitude (> 700 m), apresentando, assim, menores temperaturas médias, mínimas e, principalmente, máximas. O volume total de chuvas é maior e melhor distribuído ao longo do ano, representando as áreas mais úmidas e frias da região. Por outro lado, Palotina, município localizado no núcleo de Toledo na região oeste, representa o microclima das áreas mais quentes e secas dessa região, caracterizadas por uma localização mais a oeste e com menor altitude (<400 m). Em comparação à Cascavel, Palotina apresenta temperatura média anual 1,7 °C mais elevada, com maiores diferenças absolutas na média das temperaturas máximas (+3,4 °C). O volume total anual de chuvas é 329 mm menor em Palotina, com inverno mais quente e seco. Já Campo Mourão, localizado na região centro-oeste e com valores predominantes de altitude entre 600-700 m, representa uma condição climática intermediária, comparativamente à Palotina e à Cascavel.

A elevação dos custos de produção e a volatilidade dos preços das *commodities* agrícolas tem aumentado os riscos inerentes às agriculturas paranaense e brasileira. O cenário atual exige do produtor a adoção de tecnologias capazes de aumentar a produtividade, reduzir as perdas de produção por estresses climáticos e racionalizar os custos, de maneira a garantir a sustentabilidade do negócio no longo prazo. Porém, a produtividade média das duas principais espécies graníferas cultivadas nas regiões oeste e centro-oeste do Paraná (soja e milho 2ª safra) encontra-se aquém 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 de

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 levado a reduções drásticas na produtividade das culturas em relação à média das safras consideradas “normais” no Paraná. No caso específico das regiões oeste e centro-oeste do Estado, a Tabela 2, elaborada a partir dos dados disponibilizados por Deral (2023), indica as perdas de produtividade da soja em safras com ocorrência comprovada de secas entre 2008/2009 e 2022/2023. Observa-se que, das 15 safras consideradas, em quatro, aproximadamente 25%, houve perdas significativas por seca. As perdas absolutas de produtividade variaram de 874 a 2.126 kg ha⁻¹ na região centro-oeste, e de 1.121 a 2.795 kg ha⁻¹ na região oeste. Isso representa uma perda média nas quatro safras de, aproximadamente, 35% e 48% nas regiões centro-oeste e oeste, respectivamente. As maiores perdas de produtividade na região oeste podem ser atribuídas, em parte, a maior frequência de áreas com baixa altitude (<500 m), onde as maiores temperaturas e maior irregularidade das chuvas aumentam a intensidade de ocorrência do déficit hídrico. Nota-se ainda que, no acumulado das duas regiões e das quatro safras, a perda de produção total foi de 9,9 milhões de t, o que representa um prejuízo direto aos produtores de quase R\$ 25 bilhões em 15 anos, que se reflete também em toda a economia dos municípios que, em sua maioria, tem na soja a sua principal riqueza.

Diante do exposto, fica evidente que o aumento da produtividade e da estabilidade de produção está associado, em grande parte, à adoção de tecnologias que aumentem a disponibilidade de água às plantas. Isso envolve 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 (insetos-praga, nematoides e fungos fitopatogênicos) ao crescimento radicular, possibilitando um maior volume de solo explorado em busca de água, sobretudo nas camadas mais profundas. 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, aumentando as perdas de solo e água, com consequências negativas à produção agrícola e ao meio ambiente. Em alguns casos, a magnitude das perdas de água e solo por erosão é comparável à observada nas décadas de 70 e 80, quando predominavam sistemas de preparo com intenso revolvimento 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⁻¹ ano⁻¹ (Dechen et al., 2015). Além disso, a erosão gera impactos negativos sobre o ambiente, como a poluição e alteração do regime de cursos de água superficiais (Lipiec et al., 2003).

Tabela 1. Valores médios mensais de precipitação pluviométrica (P) e temperaturas máxima (Tmax), mínima (Tmin) e média (Tmed), nos municípios paranaenses de Cascavel, Campo Mourão e Palotina.

Meses	Cascavel/PR ⁽¹⁾				Campo Mourão/PR ⁽²⁾				Palotina/PR ⁽³⁾			
	Tmax	Tmin	Tmed	P	Tmax	Tmin	Tmed	P	Tmax	Tmin	Tmed	P
	-----°C-----				-----°C-----				-----°C-----			
	--mm--				--mm--				--mm--			
Janeiro	28,6	19,1	23,1	188,1	29,6	19,1	23,8	221,0	32,0	20,4	25,2	170,7
Fevereiro	28,3	18,9	22,7	177,8	29,5	18,8	23,4	176,9	32,0	20,2	24,9	157,5
Março	28,2	18,2	22,2	142,1	29,5	18	23,1	138,9	31,8	19,3	24,4	112,6
Abril	25,8	15,9	19,9	167,4	27,6	16,1	21,1	112,6	29,3	16,7	21,8	132,0
Maior	22,4	13,3	17,0	190,4	23,7	12,8	17,6	131,9	25,2	13,0	18,0	147,6
Junho	20,4	11,5	15,1	131,2	22,5	11,4	16,2	128,4	23,8	11,6	16,5	108,4
Julho	20,9	11,2	15,2	108,7	22,5	10,7	15,8	97,2	24,3	10,7	16,2	85,3
Agosto	22,7	12,5	16,7	109,8	25,1	11,7	17,6	68,4	26,3	11,9	17,7	81,6
Setembro	24	13,5	18,0	157,7	26,1	13,5	19,3	137,6	27,3	14,0	19,6	134,5
Outubro	26,3	15,8	20,3	227,5	28,1	16,1	21,6	183,4	29,6	16,9	22,4	176,8
Novembro	27,8	17,1	21,8	181,9	29,3	17,4	22,8	152,8	30,9	18,1	23,7	165,2
Dezembro	28,3	18,6	22,8	188,4	29,5	18,5	23,5	175,1	31,5	19,6	24,8	169,8
Média ou soma do ano	25,3	15,5	19,6	1971	26,9	15,3	20,50	1724	28,7	16,0	21,3	1642

⁽¹⁾ Dados relativos ao período 1973-1998. Fonte: Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná - Iapar-Emater (IDR-Paraná, 2023a). ⁽²⁾ Dados relativos ao período de 1981-2010. Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2023). ⁽³⁾ Dados relativos ao período de 1973-2011. Fonte: Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná - Iapar-Emater (IDR-Paraná, 2023b).

Tabela 2. Perdas de produtividade e produção da soja nas regiões oeste e centro-oeste do Paraná, em quatro safras com ocorrência de seca.

Safras	Produtividade (kg ha ⁻¹) ⁽¹⁾			Área de cultivo (mil ha) ⁽¹⁾	Produção perdida (mil t) ⁽⁴⁾
	Observada	Esperada ⁽²⁾	Perda ⁽³⁾		
----- oeste PR -----					
2008/2009	2.332	3.386	1.054 (-31)	553,5	583,4
2011/2012	2.512	3.386	874 (-26)	574,3	501,9
2018/2019	2.800	3.717	917 (-25)	680,0	623,6
2021/2022	1.591	3.717	2.126 (-57)	700,6	1.489,5
----- centro-oeste PR -----					
2008/2009	1.895	3.386	1.491 (-44)	899,4	1.341,0
2011/2012	1.879	3.386	1.507 (-44)	927,4	1.397,6
2018/2019	2.596	3.717	1.121 (-30)	1.011,5	1.133,9
2021/2022	922	3.717	2.795 (-75)	1.005,4	2.810,1

⁽¹⁾ Dados do Deral (2023). ⁽²⁾ A produtividade esperada representa a produtividade média da soja (excetuando-se a observada nos anos com seca) nos períodos de 2008/2009 a 2015/2016 e 2016/2017 a 2022/2023, levantadas junto ao Deral (2023). Dentro de cada período, a produtividade se manteve estável sem aumentos significativos ao longo do tempo. ⁽³⁾ Números entre parêntesis representam a perda percentual de produtividade em relação ao valor esperado. ⁽⁴⁾ Perda de produção obtida a partir da multiplicação da área de cultivo na região pela perda de produtividade em kg ha⁻¹.

O sistema plantio direto (SPD), quando corretamente implantado e manejado, sobretudo no que se refere ao atendimento de suas premissas (mínimo revolvimento, cobertura permanente do solo e adoção de modelos de produção com elevada diversidade de culturas e aporte de palha e raízes), é uma das chaves para a construção de um perfil de solo com alta fertilidade física, química e biológica, que reduza a erosão hídrica, favoreça o crescimento das raízes e resulte em maior disponibilidade de água, nutrientes e oxigênio às plantas (Debiasi et al., 2022). Além da melhoria da fertilidade integral no perfil do solo, o SPD proporciona cobertura do solo que protege a superfície contra o impacto da gota da chuva, evitando a formação de crostas superficiais e diminuindo as perdas de água e solo. Adicionalmente, 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 das camadas superficiais do solo sem cobertura pode chegar a mais de 50 °C, o que paralisa o crescimento e o funcionamento das raízes, principalmente nos estádios iniciais da cultura. Em trabalho realizado sob condições controladas em casa-de-vegetação, Pushkala e Yagarajarao (1988) encontraram que o

máximo crescimento radicular de plantas de soja aos 40 dias após a semeadura ocorreu com temperatura média do solo de 28° C. O aumento de 28° C para 34° C reduziu em cerca de 40% o comprimento radicular das plantas de soja. A cobertura com palha reduz as perdas de água por evaporação até o fechamento das entrelinhas da cultura, aumentando a disponibilidade hídrica às plantas. Conforme relatado em Debiasi et al. (2022), as perdas de água por evaporação reduzem cerca de 6,6% a cada tonelada de palha sobre o solo.

Existe um consenso de que o “*gap*” entre a produtividade de grãos potencial e os valores observados, a instabilidade de produção face à ocorrência de secas e a intensificação da erosão são problemas interligados e associados, em grande parte, à pouca diversidade de espécies vegetais, à baixa cobertura do solo e à degradação da sua qualidade biológica e estrutural, resultantes da utilização contínua da sucessão milho 2ª safra/soja. Nesse sentido, estatísticas do Deral (2023) demonstram que 65% da área cultivada com soja no verão é ocupada por milho 2ª safra no outono-inverno nas regiões oeste e centro-oeste do PR. Entretanto, no núcleo de Toledo/PR, essa proporção chega a 92%, demonstrando assim a baixa diversificação dos sistemas de produção.

A principal oportunidade para aumentar a diversidade de espécies vegetais na sucessão soja/milho 2ª safra envolve a utilização da janela entre a colheita do milho e a semeadura da soja, correspondente ao período que vai dos meses de junho/julho a agosto/setembro. A grande vantagem desta estratégia está na possibilidade de conciliar maior diversidade biológica e produção de fitomassa da parte aérea e raízes, com a manutenção de duas culturas produtoras de grãos por ano no sistema (Debiasi et al., 2015). Uma opção para preenchimento desta janela, já consolidada e adotada com sucesso por muitos produtores, é o consórcio do milho 2ª safra com espécies forrageiras tropicais, como a braquiária ruzizensis - Sistema Santa Fé (Kluthcouski et al., 2000; Ceccon et al., 2008; Ceccon, 2013). Os benefícios da braquiária ruzizensis na melhoria da qualidade estrutural (Franchini et al., 2009; Prando et al., 2010; Garcia et al., 2013; Rosolem; Pivetta, 2017) e biológica (Tonon-Debiasi et al. 2024) do solo, na reciclagem de nutrientes (Werner et al., 2020; Werner et al., 2021), no controle de plantas daninhas (Correia et al., 2013; Borges et al., 2014) e, conseqüentemente, no aumento de produtividade de

grãos (Yokoyama et al., 2018; Garbelini et al., 2020; Balbinot Junior et al., 2024) são amplamente conhecidos.

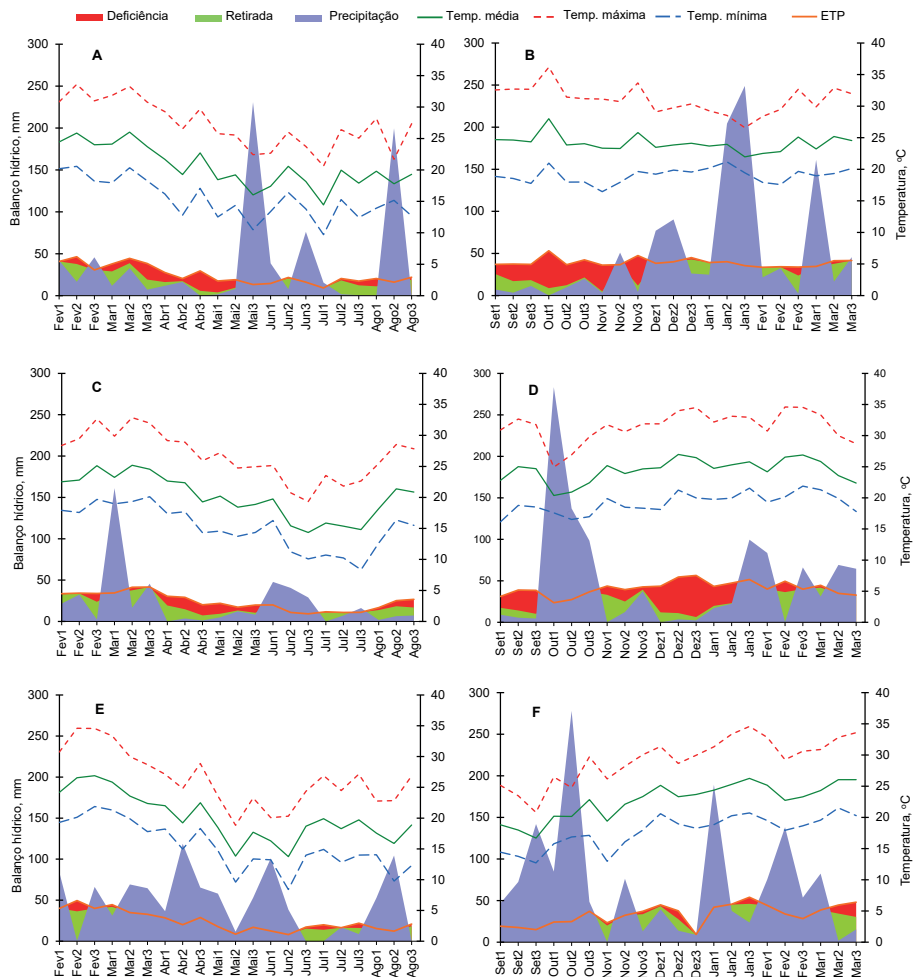
Não restam dúvidas, entretanto, a respeito da necessidade de desenvolvimento de novos modelos de produção intensificados, de maneira a diversificar a matriz produtiva de grãos, aumentar a produtividade e reduzir os custos, os riscos financeiros e os impactos ambientais. Nesse trabalho, modelo de produção é entendido como o arranjo temporal e espacial das espécies vegetais que compõem os sistemas agrícolas (Denardin; Kochhann, 2006; Hirakuri et al., 2012). Esses modelos de produção devem se constituir em opções ao sistema Santa Fé para diversificação da sucessão soja/milho 2^a safra, de modo a atender produtores com diferentes perfis/objetivos, interessados em intensificar o sistema de produção, inclusive com culturas graníferas. Neste contexto, a utilização da janela entre a colheita do milho 2^a safra e a semeadura da soja com culturas para produção de grãos (3^a safra) ou cobertura pode ser uma opção interessante para aumentar o aporte de fitomassa da parte aérea e raízes e, ao mesmo tempo, diversificar e incrementar a produção de grãos por unidade de área cultivada, tanto pela intensificação, quanto pelo aumento da produtividade das culturas principais (soja e milho 2^a safra). A possibilidade de realizar uma 3^a safra de grãos tem se fortalecido nos últimos anos pela crescente oferta de cultivares e híbridos de ciclo mais curto, bem como pelo desenvolvimento e disponibilização de máquinas e equipamentos com maior eficiência e capacidade operacional. O trigo e as aveias aparecem como as principais opções para utilização como 3^a safra de grãos ou cobertura do solo na janela milho 2^a safra/soja.

Diante disso, o objetivo deste trabalho foi desenvolver e propor modelos de produção intensificados e adaptados às regiões oeste e centro-oeste do Paraná, para diversificar a matriz produtiva para além da sucessão milho 2^a safra/soja, aumentando a produtividade de grãos e a lucratividade.

Metodologia

O experimento foi conduzido por três safras (2020/2021, 2021/2022 e 2022/2023), no Centro de Pesquisa Agrícola Copacol, localizado no município de Cafelândia/PR (24° 37' 13" S, 53° 18' 14" O e altitude de 581 m). O clima é descrito como subtropical (Cfa), de acordo com a classificação de Köppen (Nitsche et al., 2019), sendo os dados de temperatura e balanço hídrico das três safras apresentados na Figura 1. O solo da área experimental foi classificado como Latossolo Vermelho distroférrico (Santos et al., 2018), de textura muito argilosa, com teores médios de 770 g kg⁻¹ de argila, 131 g kg⁻¹ silte e 99 g kg⁻¹ de areia na camada de 0-40 cm. A caracterização química inicial do solo apontou os seguintes atributos químicos médios na camada de 0-20 cm: pH CaCl₂ = 5,1; H+Al (SMP) = 4,16 cmol_c dm⁻³; carbono orgânico total (Walkley-Black) = 18,6 g kg⁻¹; P (Mehlich-1) = 19 mg dm⁻³; K⁺ (Mehlich-1) = 0,46 cmol_c dm⁻³; Ca²⁺ (KCl) = 3,91 cmol_c dm⁻³; Mg²⁺ (KCl) = 1,56 cmol_c dm⁻³; Al³⁺ = 0,09 cmol_c dm⁻³; CTC pH 7,0 = 10,08 cmol_c dm⁻³; e saturação por bases (V%) = 58%. Até a implantação do experimento, a área experimental vinha sendo conduzida sob a sucessão soja-milho 2ª safra em plantio direto desde 2015.

O delineamento experimental foi em blocos completos casualizados, com quatro repetições e parcelas de 150 m² de área total (5 x 30 m). Os tratamentos envolveram oito modelos de produção (MP) estabelecidos a partir do período de outono-inverno de 2020, caracterizados pela sequência de culturas detalhada na Tabela 3.



ETP = evapotranspiração potencial (mm), método de Thornthwaite (1948); Retirada: consumo de água real (mm). Balanço hídrico sequencial calculado para uma capacidade de água disponível no solo de 75 mm.

Figura 1. Temperaturas média, média das máximas, médias das mínimas e balanço hídrico sequencial (método de Thornthwaite; Mather, 1955) por decênio, para a 2ª safra de 2020 (A), 2021 (C) e 2022 (E), e para as safras de verão 2020/2021 (B), 2021/2022 (D) e 2022/2023 (F).

Tabela 3. Sequência de culturas nos modelos de produção avaliados no experimento, nas safras 2020/2021, 2021/2022 e 2022/2023.

Modelos de produção	2020/2021		2021/2022		2022/2023	
	Otuno/ inverno	Primavera/ verão	Otuno/ inverno	Primavera/ verão	Otuno/ inverno	Primavera/ verão
MP1	Milho 2ª safra	Soja	Milho 2ª safra	Soja	Milho 2ª safra	Soja
MP2	Trigo	Soja	Trigo	Soja	Trigo	Soja
MP3	Aveia branca Grão	Soja	Aveia preta cobertura	Soja	Aveia preta cobertura	Soja
MP4	Milho + braquiária ruzizensis	Soja	Milho + braquiária ruzizensis	Soja	Milho + braquiária ruzizensis	Soja
MP5	Milho 2ª safra Trigo 3ª safra ⁽¹⁾	Soja	Milho 2ª safra	Soja	Milho 2ª safra Trigo 3ª safra ⁽¹⁾	Soja
MP6	Milho 2ª safra Aveia preta ⁽²⁾	Soja	Trigo	Soja	Milho 2ª safra Aveia preta ⁽³⁾	Soja
MP7	Milho 2ª safra Aveia branca 3ª safra ⁽³⁾	Soja	Milho 2ª safra	Soja	Milho 2ª safra Aveia preta ⁽³⁾	Soja
MP8	Milho + braquiária ruzizensis	Soja	Trigo	Soja	Milho + braquiária ruzizensis	Soja

⁽¹⁾ Trigo cultivado no período entre a colheita do milho 2ª safra e a colheita do milho 2ª safra e a semeadura da soja; ⁽²⁾ Aveia preta para cobertura do solo, cultivada no período entre a colheita do milho 2ª safra e a semeadura da soja; ⁽³⁾ Aveia branca para produção de grãos, cultivada no período entre a colheita do milho 2ª safra e a semeadura da soja.

Salienta-se que os MP1 a MP4 (Tabela 3) correspondem às sucessões de culturas, respectivamente, milho 2^a safra/soja, trigo/soja, aveia/soja e milho 2^a safra + braquiária/soja. Os demais modelos representam alternativas com maior diversificação de culturas em relação ao predominante na região (milho 2^a safra/soja).

Na Tabela 4, são apresentadas algumas informações sobre a implantação e condução das culturas nas três safras, englobando data de semeadura e colheita ou manejo (dessecação), cultivares/híbridos, adubação de base e de cobertura (fertilizante empregado e dose). A soja e o milho 2^a safra foram semeados por meio de semeadora-adubadora tratorizada com linhas espaçadas 50 cm entre si, equipada com mecanismos sulcadores e dosadores do tipo facão guilhotina e rosca sem-fim para os fertilizantes, e discos duplos defasados e discos perfurados para as sementes, respectivamente. No caso da soja, a taxa de semeadura foi definida buscando-se uma população final de aproximadamente 240 mil plantas na safra 2020/2021 e 360 mil plantas nas demais safras. As sementes foram previamente tratadas com piraclostrobina (2,5 g 100 kg⁻¹ de sementes de ingredientes ativo - i.a.), tiofanato metílico (22,5 g i.a. 100 kg⁻¹ de sementes), fipronil (25 g i.a. 100 kg⁻¹ de sementes), tiametoxan (70 g i.a. 100 kg⁻¹ de sementes), carboxina (60 g i.a. 100 kg⁻¹ de sementes), tiram (60 g i.a. 100 kg⁻¹ de sementes) e inoculante líquido contendo *Bradyrhizobium elkanii*. No milho 2^a safra, a semeadora foi regulada para atingir uma população de cerca de 60 mil plantas em todas as safras. As sementes de milho foram tratadas com clotianidina (48 g i.a. 60.000 sementes⁻¹) e fludioxonil (3,75 g i.a. 100 kg⁻¹ de 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. A adubação nitrogenada de cobertura foi aplicada a lanço, quando o milho encontrava-se no estágio V5. No consórcio milho + braquiária ruziziensis (*Urochloa ruziziensis* R. Germ & Evrard), as práticas de implantação, adubação e tratos culturais foram idênticas às utilizadas no cultivo solteiro, com exceção do controle de plantas daninhas em pós-emergência da cultura. A forrageira foi semeada a lanço imediatamente antes da operação de semeadura do milho, no mesmo dia. Foram utilizadas sementes de braquiária com recobrimento e valor cultural próximo a 80%, com uma taxa de semeadura equivalente a 10 kg ha⁻¹, 8 kg ha⁻¹ e 12 kg ha⁻¹ na 2^a safra 2020, 2021 e 2022, respectivamente.

Tabela 4. Datas de semeadura, colheita ou manejo (no caso de culturas de cobertura), cultivares e adubação de base e de cobertura utilizadas no experimento nas safras 2020/2021, 2021/2022 e 2022/2023.

Culturas	Safras		Datas		Cultivar	Adubação de base		Adubação de cobertura	
	Semeadura	Colheita/manejo	Semeadura	Colheita/manejo		Fórmula do fertilizante (NPK)	Dose	Fertilizante	Dose
Soja	2020/2021	07/10/2020	08/03/2021	M5705 IPRO	04-24-16	310	-	-	kg ha ⁻¹
	2021/2022	06/10/2021	20/01/2022	BMX Lança	02-20-18	300	-	-	-
	2022/2023	17/10/2022	05/03/2023	BMX Zeus	02-20-18	300	-	-	-
Milho 2ª safra ⁽¹⁾	2020/2021	21/01/2020	27/05/2020	AG 9050 PRO3	10-15-15	300	Ureia ⁽²⁾	Ureia	200
	2021/2022	10/03/2021	20/07/2021	AG 9000 PRO3	10-15-15	310	Nitrato de amônio ⁽³⁾	Ureia	150
	2022/2023	24/01/2022	31/05/2022	AG 9000 PRO3	10-15-15	300	Ureia	Ureia	150
Trigo	2020/2021	10/05/2020	05/09/2020	TBIO Sonic	10-15-15	300	Ureia	Ureia	200
	2021/2022	13/05/2021	- ⁽⁴⁾	TBIO Audaz	10-15-15	300	Ureia	Ureia	200
	2022/2023	29/04/2022	10/09/2022	TBIO Ponteiro	10-15-15	300	Ureia	Ureia	200
Aveia branca grão	2020/2021	10/05/2020	15/09/2020	URS Altiva	10-15-15	300	Ureia	Ureia	200
	2021/2022	13/05/2021	15/08/2021 ⁽⁵⁾	Embrapa 139	-	-	-	-	-
Aveia preta cobertura	2022/2023	29/04/2022	20/08/2022 ⁽⁶⁾	Embrapa 139	-	-	-	-	-
	2020/2021	10/06/2020	25/09/2020	TBIO Sonic	10-15-15	300	Ureia	Ureia	200
Trigo 3ª safra	2022/2023	15/06/2022	10/10/2022	TBIO Audaz	10-15-15	300	Ureia	Ureia	200
	2020/2021	29/05/2020	25/09/2020	URS Altiva	10-15-15	300	Ureia	Ureia	200
Aveia branca 3ª safra	2020/2021	29/05/2020	10/09/2020 ⁽⁶⁾	Embrapa 139	-	-	-	-	-
	2021/2022	29/05/2020	20/09/2020 ⁽⁶⁾	Embrapa 139	-	-	-	-	-
	2022/2023	15/06/2020	20/09/2020 ⁽⁶⁾	Embrapa 139	-	-	-	-	-

⁽¹⁾ Refere-se ao milho 2ª safra em cultivo solteiro ou consorciado com braquiária ruizizensis. No cultivo consorciado, a braquiária foi semeada a lanço imediatamente antes da semeadura do milho, no mesmo dia; ⁽²⁾ 45% de nitrogênio (N); ⁽³⁾ 27% de N; ⁽⁴⁾ Safra perdida devido à ocorrência de geada na fase reprodutiva da cultura; ⁽⁵⁾ Refere-se à data da 1ª dessecação.

As culturas do trigo, da aveia preta e da aveia branca foram semeadas em linhas espaçadas 17 cm entre si, por meio de semeadora-adubadora tratorizada, equipada com dosadores do tipo rolo acanalado e rosca sem-fim para as sementes e fertilizantes, que foram depositados em sulcos abertos por discos duplos defasados, a uma profundidade de 5 cm. A semeadora foi regulada visando a obtenção de uma população de 300 plantas por m² para o trigo e as aveias branca e preta, semeadas na época normal (MP 2, 3, 6 e 8). As sementes de trigo foram tratadas com imidacloprido (50 g i.a. 100 kg⁻¹ de sementes) e difenoconazol (30 g i.a. 100 kg⁻¹ de sementes). Quando os cereais de inverno foram implantados na janela entre a colheita do milho 2^a safra e a semeadura da soja (MP5, 6 e 7), a quantidade de sementes por hectare foi ajustada, visando o estabelecimento de 350 plantas por m², em função da maior dificuldade de deposição das sementes na profundidade adequada pela elevada quantidade de palha de milho presente no momento da semeadura. O N em cobertura foi aplicado cerca de 28 dias após a emergência do trigo ou da aveia branca. A adubação nitrogenada de cobertura não foi realizada na aveia preta para cobertura do solo em todas as safras.

O manejo de plantas daninhas em pré e pós-emergência das culturas variou conforme o efeito dos modelos de produção na infestação e as culturas componentes. Os demais tratos culturais, incluindo o controle de pragas e doenças, foram realizados conforme as indicações técnicas para as culturas na região.

Não foi realizada dessecação após a colheita da soja e antes da semeadura do milho 2^a safra, solteiro ou consorciado. No manejo pré-semeadura da soja implantada após milho 2^a safra solteiro, foram realizadas duas aplicações sequenciais de herbicidas, sendo a primeira cerca de 45 dias antes da semeadura da oleaginosa, composta por glifosato potássico (1.000 g ha⁻¹ de equivalente ácido – e.a.) + triclopir (1.020 g e.a. ha⁻¹) + óleo mineral (400 mL ha⁻¹), e a segunda, por glufosinato de amônio (500 g i.a. ha⁻¹) + óleo vegetal (400 mL ha⁻¹), 15 dias depois da primeira. Nas safras 2021 e 2022, o manejo de plantas daninhas pré-semeadura da soja a ser implantada após o milho consorciado com braquiária foi igual ao milho 2^a safra solteiro. Entretanto, na safra 2020, a dessecação visando a implantação da soja após o consórcio foi realizado por meio de uma aplicação de glifosato potássico, na dose de 2.500 g e.a. ha⁻¹. Nas safras e tratamentos onde a soja foi semeada após trigo e aveia branca, as parcelas foram desseccadas por meio de uma aplicação de

glifosato potássico ($1.000 \text{ g e.a. ha}^{-1}$) em todas as safras, enquanto que, após aveia preta, foram realizadas duas aplicações do mesmo herbicida, uma para dessecar a cultura de cobertura e outra para controle de plantas daninhas em pré-semeadura da soja, nas doses de 1.250 e $1.000 \text{ g e.a. ha}^{-1}$, respectivamente. Antecedendo à implantação do trigo ou das aveias (branca e preta), tanto após a soja quanto após o milho 2ª safra, em todos os tratamentos e safras, a dessecação foi realizada por meio dos herbicidas glifosato potássico + 2,4-D, ambos na dose de $1.000 \text{ g e.a. ha}^{-1}$.

No milho solteiro, independente da safra e do modelo de produção, o controle de plantas daninhas em pós-emergência (V4) envolveu a aplicação dos herbicidas atrazina ($2.000 \text{ g i.a. ha}^{-1}$), mesotriona ($72 \text{ g i.a. ha}^{-1}$) e glifosato potássico ($1.000 \text{ g e.a. ha}^{-1}$), em todas as safras. No milho consorciado (modelos 4 e 8), o manejo das plantas daninhas e da competição da braquiária foi realizado por meio da aplicação, no início do perfilhamento da forrageira, dos herbicidas atrazina e mesotriona, nas doses de 1.500 e $72 \text{ g i.a. ha}^{-1}$, em todas as safras. Na soja, o controle de plantas daninhas em pós-emergência da cultura foi igual para todos os tratamentos e safras, envolvendo a aplicação de glifosato potássico ($1.000 \text{ g e.a. ha}^{-1}$) + cletodim ($360 \text{ g i.a. ha}^{-1}$) + óleo mineral (400 mL ha^{-1}). Nas safras 2021 e 2022, o controle de plantas daninhas em pós-emergência no trigo envolveu a aplicação de 2,4-D ($400 \text{ g e.a. ha}^{-1}$) + metsulfurom metílico (3 g i.a. ha^{-1}) + óleo mineral (300 mL ha^{-1}), seguida de outra pulverização com clodinafope-propargil ($24 \text{ g i.a. ha}^{-1}$) + adjuvante (200 mL ha^{-1}). Na safra 2020, as plantas daninhas na cultura do trigo foram controladas somente pela aplicação de clodinafope-propargil ($24 \text{ g i.a. ha}^{-1}$) + adjuvante (200 mL ha^{-1}). Para as aveias preta e branca, foram aplicados, em pós-emergência da cultura, 2,4-D ($400 \text{ g e.a. ha}^{-1}$) + metsulfurom metílico (3 g i.a. ha^{-1}) + óleo mineral (300 mL ha^{-1}), em uma única operação.

Para todas as culturas de grãos, a produtividade foi determinada pela colheita mecânica (colhedora de parcelas) dos grãos da área útil da parcela ($1,5 \times 24 \text{ m}$), sendo os valores corrigidos para 13% de umidade e extrapolados para kg ha^{-1} . Os dados foram submetidos à análise de variância e teste F ($p \leq 0,05$). Quando constatado efeito significativo dos tratamentos, as médias foram comparadas pelo teste t (LSD) ($p \leq 0,05$). Todas as análises estatísticas foram realizadas por meio do programa Sisvar (Ferreira, 2008).

A análise econômica dos modelos de produção foi realizada mediante o cálculo dos indicadores lucro operacional (LO) e margem bruta (MB), conforme

conceitos apresentados em Fuentes-Llanillo et al. (2018) e Garbelini et al. (2020). O lucro operacional foi estimado pela renda bruta (RB) subtraída dos custos operacionais (CO), variáveis e fixos. Por sua vez, 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, corrigidos para setembro/2023 com base no Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IPCA-IBGE) (Tabela 5). Os preços médios mensais foram obtidos junto à Conab (2023b).

O resultado das análises estatísticas aplicadas aos dados de produtividade da soja e do milho 2^a safra foram consideradas no cálculo da receita bruta. Utilizou-se como critério diferenciar as produtividades de grãos entre os tratamentos quando as médias não foram seguidas pela mesma letra ou grupo de letras. Por outro lado, no caso de tratamentos com médias seguidas pela mesma letra ou grupo de letras, a produtividade considerada foi a média entre os tratamentos enquadrados nesta situação. As produtividades médias da soja e do milho 2^a safra, utilizadas direta ou indiretamente para fins de análise econômica, são apresentadas em sacas ha⁻¹ nos Anexos 1 e 2, respectivamente. Para as culturas do trigo e aveia branca, a produtividade utilizada foi a mesma indicada em cada modelo de produção, safra e época (safra normal e 3^a safra), convertida em sacas ha⁻¹, uma vez que não houve comparação estatística entre tratamentos nesses casos.

Tabela 5. Preços corrigidos⁽¹⁾ dos grãos produzidos nas diferentes safras de condução do experimento, para fins de cálculo da receita bruta.

Culturas	Safra		
	2020/2021	2021/2022	2022/2023
		R\$ sc ⁻¹	
Aveia branca	49,18	- ⁽²⁾	-
Milho	64,54	84,43	80,96
Soja	186,63	190,01	133,23
Trigo	88,15	-	101,15

⁽¹⁾ Preços obtidos junto às séries históricas da Conab (Conab, 2023b), expressos como a média calculada do mês da colheita até o final do respectivo ano. Os preços foram corrigidos pelo Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IPCA-IBGE). ⁽²⁾ O traço (-) indica que não houve produção da cultura no experimento nas respectivas safras, por isso o preço não foi levantado e corrigido.

A análise dos custos de produção foi baseada no trabalho de Kay et al. (2015). Todas as informações referentes às operações realizadas e aos insumos agrícolas utilizados (tipo e dose aplicada) foram registradas, sendo então organizadas em planilhas para o cálculo dos custos de produção. No caso das operações mecanizadas, a estimativa dos custos foi realizada conforme os coeficientes técnicos disponibilizados online e de forma periódica pela Fundação ABC (Povh e Flugel, 2023). Além das operações e insumos, foram estimados e considerados 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. Os preços dos insumos (exceto diesel) no Paraná foram obtidos junto ao banco de dados disponibilizados pela Conab (2023c), sendo considerados os valores indicados para o 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 – ANP (ANP, 2023) e, a exemplo do critério utilizado para os demais insumos, foi considerado o preço do combustível no mês de realização da operação mecanizada. Os preços de todos os insumos, incluindo os combustíveis, foram corrigidos para setembro/2023 com base no IPCA-IBGE.

Foram utilizadas três abordagens para a estimativa dos indicadores econômicos: por cultura, e em separado para cada safra e MP (abordagem 1); por MP, em separado por safra, mas integrando os resultados econômicos obtidos de forma isolada por cada cultura (abordagem 2); por MP, considerando os valores acumulados das três safras (abordagem 3). As três abordagens se diferenciam em função da forma pela qual as receitas brutas e custos operacionais foram computados e distribuídos dentro dos MP. A abordagem 1 é a mais simples e corresponde à metodologia geralmente utilizada em análises econômicas, sendo considerados os indicadores calculados em separado para cada cultura sem integrá-las no MP.

A abordagem 2 considera a distribuição espacial e temporal das diferentes culturas, característica variável conforme o MP avaliado (Tabela 3). Para os quatro tratamentos que envolvem sucessão de culturas (MP 1 a 4), os indicadores de receita bruta, custos operacionais e lucro operacional do MP em uma dada safra correspondem diretamente à soma dos valores obtidos

pelas culturas que os compõe, calculados conforme a abordagem 1. Isso é possível porque a duração do ciclo dos MP em sucessão é de apenas 1 ano, de forma que, em escala de propriedade agrícola, o(s) talhão(ões) seria(m) cultivado(s) com as mesmas culturas em todas as safras (Figura 2A). Tal arranjo corresponde às parcelas experimentais, que também são cultivadas em todas as safras com a mesma cultura (Figura 2B). Nesse trabalho, os modelos MP 1 a 4 são considerados tratamentos de referência.

Por outro lado, os tratamentos MP 5 a 8 se caracterizam pela alternância de culturas no outono-inverno/2ª safra em ciclos de duas safras de duração. Por exemplo, de acordo com a Tabela 3, no MP5, o primeiro ano do ciclo envolve o cultivo de milho 2ª safra seguido de trigo 3ª safra no outono-inverno, e soja no verão, enquanto que, no 2º ano, a sequência é milho 2ª safra seguido de soja. Em escala de propriedade, essa configuração deve ser conduzida em dois talhões ou dois conjuntos de talhões, cada qual com, aproximadamente, 50% da área, de forma que a alternância se dá no tempo e no espaço (Figura 3A). Para essa configuração ser representada no experimento, seriam necessárias duas parcelas por repetição (bloco) para cada um dos MP 5 a 8, o que não foi possível por limitações no tamanho da área experimental disponível. Assim, no experimento, a alternância das culturas ocorreu apenas no tempo, e não no espaço em uma mesma safra (Figura 3B). Nesses casos, a utilização direta dos dados obtidos no experimento de campo (produtividade, insumos utilizados e operações realizadas) resultaria em valores distorcidos para os indicadores econômicos. Um exemplo claro disso ocorreu nos MP6 e 8, que envolvem a rotação de milho 2ª safra com trigo no outono-inverno (Tabela 3). Em 2021, justamente na safra em que o trigo estava nas parcelas dos MP 6 e 8, houve perda total na produtividade do trigo devido à ocorrência de geada. No experimento significa perda de 100% da safra de outono-inverno, mas em escala de propriedade, a perda total ocorreria em 50% da área. Por outro lado, no tratamento MP5, não havia trigo 3ª safra cultivado no experimento em 2021, mas em escala de propriedade ele deveria estar em 50% da área. Dessa maneira, a análise direta com os dados do experimento de campo subestimaria o lucro do modelo de produção para os tratamentos MP6 e MP8, e superestimaria para o MP5.

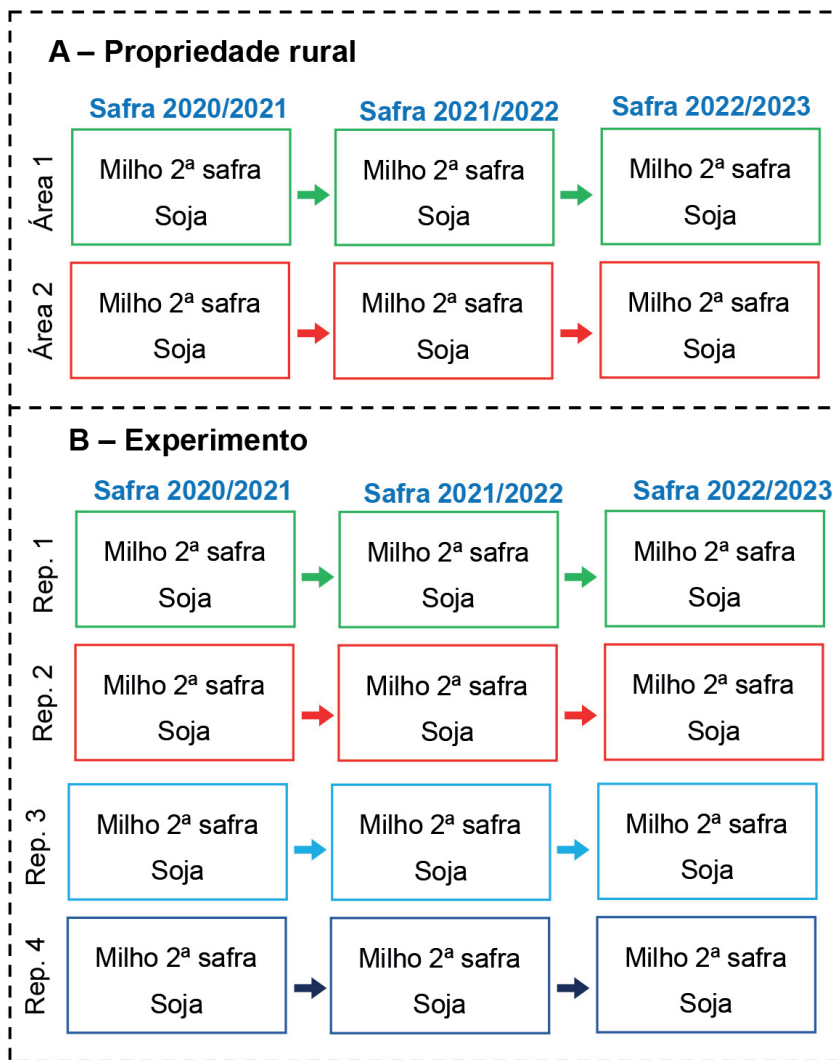


Figura 2. Distribuição espacial e temporal das culturas em uma propriedade agrícola composta de duas áreas ou talhões (A) de tamanho similar, e no experimento de campo referente ao presente estudo (B), considerando um modelo de produção em sucessão de culturas, milho 2ª safra/soja (MP1). Note que o arranjo espacial e temporal das culturas nos talhões da propriedade e nas repetições (Rep.) do experimento é a mesma.

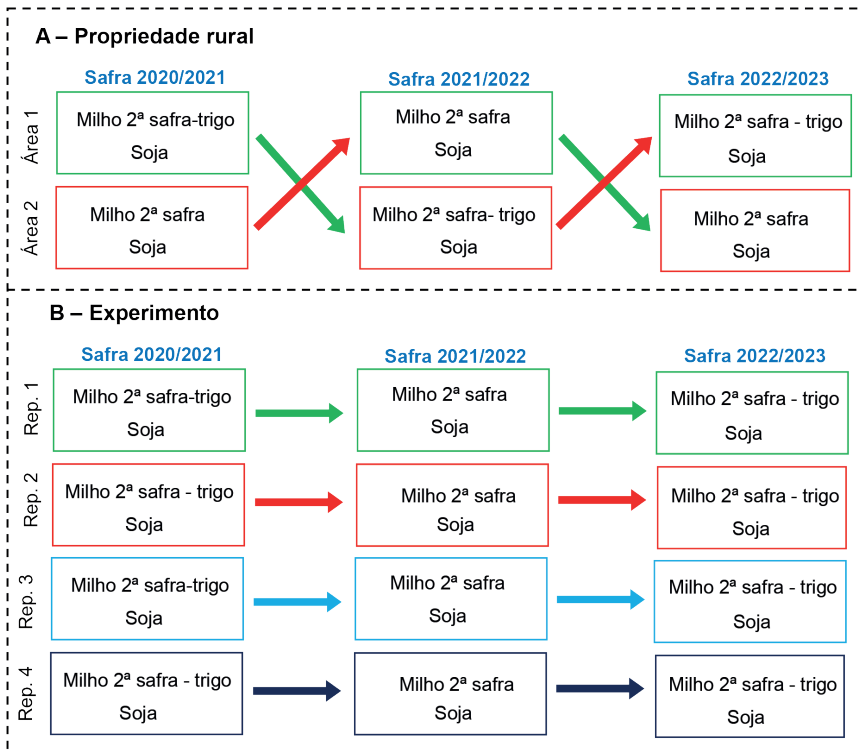


Figura 3. Distribuição espacial e temporal das culturas em uma propriedade agrícola composta de duas áreas ou talhões (A) de tamanho similar, e no experimento de campo referente ao presente estudo (B), considerando um modelo de produção caracterizado pela alternância de culturas no outono-inverno em ciclos com duração de dois anos, milho 2ª safra-trigo/soja (fase I) - milho 2ª safra/soja (fase II) (MP5). Note que nas áreas/talhões da propriedade ocorre alternância de culturas entre safras e entre áreas/talhões dentro de cada safra, de forma que 50% da área está na fase I do modelo. Em contrapartida, no experimento, as espécies vegetais são alternadas entre as safras, mas não entre as repetições (Rep.). Assim, no experimento, 100% da área em cada safra é ocupada somente por uma das fases do modelo de produção, aumentando o impacto positivo ou negativo de variações meteorológica entre as safras.

Para contornar essa limitação na análise econômica, foram consideradas duas áreas (A1 e A2) para os MP 5 a 8. A área 1 sempre correspondeu às culturas implantadas no experimento físico na safra avaliada, conforme especificado na Tabela 3. A área 2, por sua vez, é “virtual”, ou seja, considera-se a implantação das culturas previstas para a safra seguinte, conforme esquematizado na Figura 4 tomando como exemplo o tratamento MP6. Nos tratamen-

tos de referência (MP 1 a 4), em sucessão de culturas, a análise econômica na abordagem 2 foi feita considerando apenas uma área (A1), uma vez que as mesmas culturas são repetidas todos os anos.

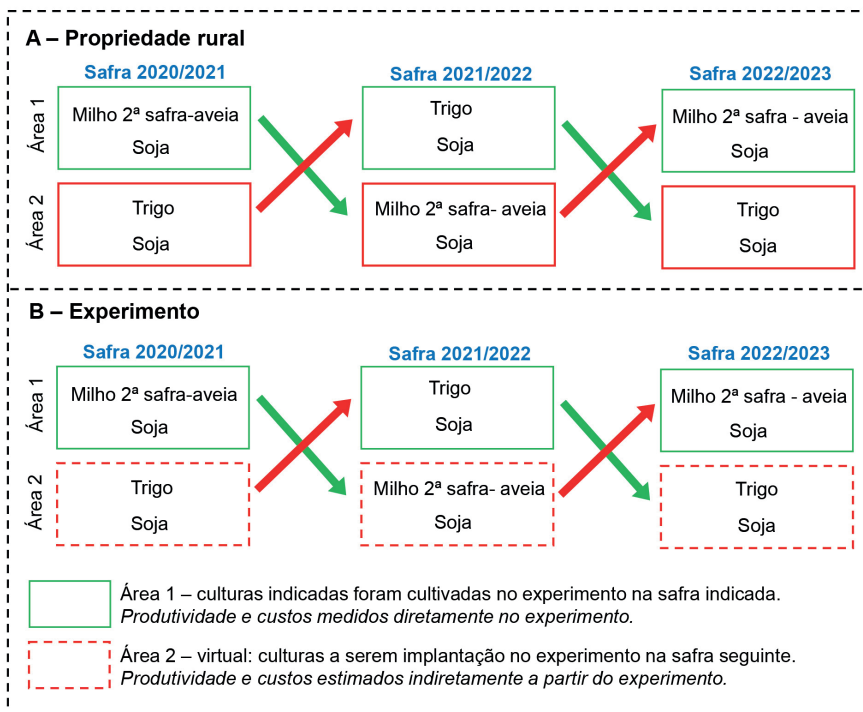


Figura 4. Distribuição espacial e temporal das culturas em uma propriedade agrícola composta de duas áreas ou talhões (A) de tamanho similar, comparada à estratégia utilizada na análise econômica no experimento, considerando como exemplo o modelo de produção (MP) 6 – milho 2ª safra-aveia/soja (Fase I) – trigo/soja (Fase II). No caso da Figura 4B, o arranjo se refere a uma repetição, sendo utilizado da mesma forma em todas as demais. Observa-se que, com essa estratégia, a análise econômica por modelo de produção avaliado passa a ser realizada em uma condição semelhante ao que ocorre em escala de propriedade agrícola.

Para viabilizar essa abordagem, foi necessário estimar a produtividade e os custos de produção para a área 2 “virtual” dos MP 5 a 8, tanto das culturas de inverno, quanto da soja. A necessidade de se estimar também a produtividade e os custos de produção da soja na área 2 advém do fato de que essas variáveis foram alteradas em função da espécie vegetal cultivada no outono-inverno. Para a safra 2020/2021, as produtividades do milho 2ª safra

e da soja na área 2 dos tratamentos MP 5 e MP 7 foram consideradas iguais à média das produtividades das culturas obtidas na área 1 dos tratamentos MP1, MP5, MP 6 e MP 7. Por sua vez, os custos de produção do milho 2ª safra e da soja na área 2 dos tratamentos MP 5 e MP 7 na safra 2020/2021 foram iguais aos observados na área 1 do MP 1. No caso da produtividade e dos custos de produção do trigo e da soja na área 2 do MP 6 e MP 8 na safra 2020/2021, os valores foram os mesmos utilizados na área 1 do MP 2. A partir da safra 2021/2022, a estimativa da produtividade das culturas na área 2 foi realizada por meio das equações (1) e (2). Para a estimativa das produtividades da soja e do milho 2ª safra na área 2, os valores de referência utilizados constam dos anexos 1 e 2, respectivamente. A memória de cálculo para estimativa da produtividade de grãos na área 2 (virtual) dos MP 5 a 8 consta do Anexos 3 a 6, respectivamente.

$$P_{A2} = P_{MPR1} \times C_{aj} \quad (1)$$

$$C_{aj} = \frac{P_{A1}}{P_{MPR2}} \quad (2)$$

Onde:

P_{A2} = produtividade de grãos (scs ha⁻¹), estimada para a área 2 na safra S e modelo de produção MP (5 a 8);

P_{MPR1} = produtividade de grãos (scs ha⁻¹), obtida no modelo de produção de referência (MP1 ou MP2) na safra S;

C_{aj} = coeficiente de ajuste (adimensional);

P_{A1} = produtividade de grãos (scs ha⁻¹) na área 1 do modelo de produção (MP 5 a 8), no qual a produtividade da área 2 está sendo estimada (equação 1) na safra de referência SR. A safra de referência foi a 2021/2022 se a produtividade foi estimada para a safra 2022/2023, e vice-versa.

P_{MPR2} = produtividade de grãos (scs ha⁻¹) no modelo de produção referência (MP 1 ou 2) e na safra de referência SR. O modelo de produção de referência é o mesmo a que se refere a variável (P_{MPR1}), apenas alterando a safra.

Os valores de produtividade de grãos nas áreas 1 (obtidos diretamente do experimento) e 2 (estimados) dos tratamentos MP 5, 6, 7 e 8 constam dos Anexos 7 a 10. Os custos operacionais na área 2 dos MP 5 a 8 foram iguais

aos observados nos tratamentos de referência (sucessão de culturas), caracterizados pela mesma cultura antecedendo a soja, com ajustes em função da variação dos custos com transporte externo e impostos (Funrural), ocasionados por diferenças na produtividade.

Ainda, com relação à abordagem 2, nos MP 5 a 8, os valores de receita bruta, custos de produção e lucro operacional para cada cultura (R\$ ha⁻¹), obtidos nas áreas 1 e 2, foram divididos por dois (número de safras de duração do ciclo ou de áreas) e posteriormente somados. O resultado final representa a receita bruta, custo de produção e lucro operacional do modelo de produção em determinada safra.

Por fim, a abordagem 3 representa os valores de receita bruta, custos de produção e lucro operacional calculados conforme a abordagem 2 e acumulados em três safras (2020/2021, 2021/2022 e 2022/2023). Com os valores de lucro operacional (LO) e custo operacional (CO) acumulados nas três safras, calculou-se a margem bruta (MB) do modelo produção pela equação (3), conforme indicado em Debiasi et al. (2017) e Garbelini et al. (2020).

$$MB = \frac{LO}{CO} \times 100 \quad (3)$$

Resultados e discussão

As produtividades médias da soja nas safras 2020/2021 e 2022/2023 foram elevadas (Tabela 6), em função do clima favorável (Figuras 1B e 1F) e de adequadas práticas de manejo empregadas. Por outro lado, a produtividade média na safra 2021/2022 foi afetada pelo déficit hídrico intenso e prolongado (Figura 1D), que reduziu drasticamente a produtividade da oleaginosa. Na safra 2020/2021, a produtividade da soja foi em média 9,3% superior nos tratamentos envolvendo a utilização do consórcio milho + braquiária ou da aveia-preta para cobertura do solo 3ª safra (MP 4, 6 e 8), em relação aos tratamentos com cultivo de cereais de inverno para produção de grãos na 3ª safra ou pousio após o milho segunda safra (MP 1, 5 e 7). Na safra 2021/2022, a produtividade da soja foi maior no MP4, comparativamente a

todos os outros MP, exceto o MP3. Nessa safra, caracterizada por um déficit hídrico intenso e de longa duração (Figura 1D), o consórcio milho 2ª safra + braquiária (MP4) proporcionou um aumento de quase 53% na produtividade da soja em relação à sucessão soja/milho 2ª safra (MP1), o que possivelmente esteja relacionado a maior disponibilidade de água e crescimento de raízes em decorrência da maior cobertura com palha e melhor estrutura do solo resultante da inclusão da forrageira no modelo de produção (Debiasi et al., 2021; Balbinot Junior et al., 2024). A ausência de resposta da produtividade da soja aos MP 5 e 7 pode estar associado ao fato de que o trigo ou a aveia preta para cobertura na 3ª safra não foram cultivados nesses tratamentos na safra 2021/2022. Já na safra 2022/2023, a sucessão soja/milho 2ª safra resultou em uma produtividade de grãos de soja quase 600 kg ha⁻¹ menor (-12,4%), comparativamente à médias dos demais MP. A soja cultivada após o trigo 3ª safra, no MP5, apresentou a maior produtividade, não diferindo significativamente apenas do MP3 (sucessão aveia/soja). Em comparação ao MP1, o cultivo de trigo na 3ª safra proporcionou um aumento de 856 kg ha⁻¹ (+20,6%) na produtividade da soja, demonstrando o potencial dessa alternativa em melhorar o desempenho do sistema de produção. Em experimento de campo conduzido por sete anos na Fazenda Experimental da Embrapa Soja, em Londrina/PR, Balbinot Junior et al. (2024) concluíram que a produtividade da soja quando cultivada após trigo foi, na média das safras, cerca de 10% superior comparativamente ao cultivo em sucessão ao milho 2ª safra, o que foi atribuído pelos autores a maior cobertura do solo proporcionada pelo cereal de inverno.

Tabela 6. Produtividade de grãos da soja acumulada e por safra (2020/2021, 2021/2022 e 2022/2023), em função dos oito modelos de produção avaliados.

Modelos de produção(1)	Produtividade de grãos da soja			
	2020/2021	2021/2022	2022/2023	Acumulado
	kg ha ⁻¹			
MP 1	5.012 bc	925 b	4.153 e	10.090 c
MP 2	5.296 ab	1.010 b	4.776 bc	11.082 ab
MP 3	5.230 abc	1.174 ab	4.920 ab	11.324 a
MP 4	5.447 a	1.413 a	4.468 d	11.328 a
MP 5	5.020 bc	1.056 b	5.009 a	11.085 ab
MP 6	5.474 a	980 b	4.642 cd	11.096 ab
MP 7	4.959 c	1.044 b	4.746 bc	10.749 b
MP 8	5.465 a	948 b	4.615 cd	11.028 ab
Média	5.238	1.069	4.666	10.973
CV (%)	3,9	17,1	3,0	2,5
p (Teste F)	0,003**	0,02*	< 0,0001**	0,0001**

(1) Modelos de produção caracterizados na Tabela 3. Médias seguidas por letras iguais não diferem significativamente pelo teste t (LSD) a 5% de probabilidade de erro. * e ** = Análise de variância significativa a 5 e 1% de probabilidade de erro, respectivamente.

Considerando os valores acumulados das três safras, todos os modelos de produção que incluíram trigo, aveia e/ou braquiária *ruzizensis* aumentaram a produtividade da soja em relação ao modelo de produção predominante nas regiões oeste e centro-oeste do Paraná, a sucessão soja/milho 2ª safra (MP1) (Tabela 6). O aumento médio na produtividade de grãos em relação ao MP1 foi de 10%, variando entre 6,5% (MP7) e 12,3 % (MP 3 e 4). Comparando os tratamentos alternativos ao MP1 entre si, observa-se que os MP 3 e 4 conferiram maiores produtividades de soja, relativamente ao MP7. Esse resultado indica a resposta positiva da soja quando cultivada em MP com maior aporte de palha e raiz e menor tempo sem culturas vivas, sobretudo quando em sucessão a coberturas do solo com aveia na terceira safra e braquiária consorciada com o milho 2ª safra. Os efeitos benéficos do consórcio do milho com braquiária sobre a soja cultivada na sequência também foram observados por Balbinot Junior et al. (2023) e Coelho et al. (2023).

Balbinot Junior et al. (2017, 2020) observaram efeitos positivos significativos da palha ou raízes de braquiárias e aveia preta sobre o desempenho da soja em sucessão, em SPD.

Observa-se que, nas safras 2020/2021 e 2022/2023, os coeficientes de variação (CV) do experimento foram baixos, inferiores a 5, enquanto na safra 2021/2022, quando ocorreu déficit hídrico expressivo, o CV foi de 17,1%. Esse resultado demonstra que a restrição hídrica aumenta a variação de produtividade entre parcelas do mesmo tratamento, uma vez que os fatores que influenciam a disponibilidade hídrica possuem alta variabilidade espacial. Todavia, quando se considerou a produtividade acumulada, o CV foi muito baixo, indicando o adequado planejamento e execução do experimento.

Da mesma forma que a soja, houve variação expressiva da produtividade do milho 2ª safra entre as safras avaliadas (Tabela 7). A menor produtividade foi observada na safra 2021/2022, em decorrência de déficit hídrico (Figura 1C), associado com a ocorrência de geadas no final do ciclo da cultura. Na safra 2020/2021, o consórcio com a braquiária *ruziziensis* nos MP 4 e 8 diminuiu a produtividade do milho 2ª safra em cerca de 750 kg ha⁻¹ (-10,3%) em relação aos demais tratamentos sem consorciação que, por sua vez, não diferiram significativamente entre si. Essas perdas, que ocorrem pela competição da forrageira com o milho por recursos do ambiente (água, luz e nutrientes), estão dentro da faixa de valores reportada na literatura (Debiasi et al., 2017; Garbelini et al., 2020; Balbinot Jr. et al., 2023). Em contrapartida, nas safras 2021/2022 e 2022/2023, não houve efeito significativo da consorciação ou não com braquiária *ruziziensis* sobre a produtividade do milho, corroborando com os resultados obtidos por Santos et al. (2016) e Garbelini et al. (2020), que também observaram que as diferenças de produtividade entre o milho 2ª safra solteiro e consorciado com braquiária diminuem ao longo do tempo. Na safra 2021/2022, considerando os tratamentos sem consorciação, verificou-se que o cultivo de aveia (MP7) ou trigo na 3ª safra (MP5) na safra 2020/2021 aumentou em 645 kg ha⁻¹ (+17,4%) a produtividade do milho em relação ao MP1. Resultados similares foram obtidos na safra seguinte (2022/2023), quando a produtividade do milho 2ª safra foi maior nos MP com o cultivo de trigo (em rotação ou na 3ª safra, em sucessão ao milho 2ª safra) ou aveia na 3ª safra, quando comparada à sucessão soja/milho 2ª safra (MP1). O aumento médio foi de quase 5% (+400 kg ha⁻¹). Nesse sentido, a diversificação dos MP no outono/inverno impacta favoravelmente o milho 2ª safra.

Tabela 7. Produtividade de grãos de milho 2ª safra 2020/2021, 2021/2022 e 2022/2023, em função dos seis modelos de produção avaliados e que envolvem o cultivo do cereal.

Modelos de produção ⁽¹⁾	Produtividade de grãos do milho		
	2020/2021	2021/2022	2022/2023
	kg ha ⁻¹		
MP 1	7.145 a	3.696 b	8.278 c
MP 4	6.488 b	3.692 b	8.051 c
MP 5	7.380 a	4.153 a	8.425 b
MP 6	7.440 a	Trigo	8.857 a
MP 7	7.430 a	4.528 a	8.741 a
MP 8	6.698 b	Trigo	8.162 c
Média	7.097	4.017	8.419
CV (%)	4,4	4,4	3,1
p (Teste F)	0,002**	0,0002**	0,003**

⁽¹⁾ Modelos de produção caracterizados na Tabela 3; Médias seguidas por letras iguais não diferem significativamente pelo teste t (LSD) a 5% de probabilidade de erro.* e ** = Análise de variância significativa a 5 e 1% de probabilidade de erro, respectivamente.

Na safra 2020/2021, a produtividade da aveia branca destinada à produção de grãos no MP3 foi de 2.892 kg ha⁻¹, na safra tradicional, e de 2.729 kg ha⁻¹ no MP7, na terceira safra. Em ambos os casos, a produtividade observada no experimento foi praticamente o dobro da média do núcleo regional de Cascavel, estimada pelo Deral (2023) em 1.400 kg ha⁻¹. Por outro lado, na safra 2020/2021, a produtividade média do trigo foi de 3.684 kg ha⁻¹ na época normal (MP2), similar à observada na 3ª safra (MP5), correspondente a 3.768 kg ha⁻¹. Na safra 2021/2022, houve perda total de produtividade do trigo nos tratamentos onde cereal foi cultivado (MP2 e MP6), devido à ocorrência de geadas no mês de julho. Em 2022/2023, a produtividade do trigo na safra tradicional (MP2) foi de 3.660 kg ha⁻¹, cerca de 17% maior que os valores observados para o cultivo de 3ª safra no MP5 (3.126 kg ha⁻¹). Independentemente da época de semeadura do trigo, a produtividade da cultura no experimento foi superior à média da região de Cascavel/PR nas safras 2020/2021 e 2022/2023, equivalente a 2.423 kg ha⁻¹ e 2.803 kg ha⁻¹, respectivamente (Deral, 2023).

Os resultados acima descritos demonstram a viabilidade técnica de uso da janela entre a colheita do milho 2ª safra e a semeadura da soja com cereais de inverno para produção de grãos como 3ª safra, no caso o trigo e aveia branca. Alguns aspectos técnicos importantes devem ser levados em consideração no planejamento para uma 3ª safra após o milho 2ª safra:

a) A implantação do trigo ou da aveia branca, visando à produção de grãos em 3ª safra, pode ser viável em regiões cujo Zoneamento Risco Climático (Zarc) permita a semeadura de cultivares de soja com ciclo preferencialmente inferior a 130 dias durante o mês de setembro, respeitado o vazio sanitário para controle da ferrugem-asiática da soja;

b) A semeadura do milho 2ª safra com híbridos de ciclo menor ou igual a 120 dias deve ser possível, segundo as indicações do Zarc, a partir do 2º decêndio de janeiro. A data máxima de semeadura do milho 2ª safra deve ser estipulada de forma que a semeadura do trigo ou aveia branca na 3ª safra ocorra dentro da janela recomendada pelo Zarc;

c) A maior possibilidade de viabilizar tecnicamente as três safras se dá em regiões em que a semeadura da cultivar (considerando o ciclo) de trigo ou aveia branca selecionada possa ser realizada, segundo as indicações e critérios do Zarc, pelo menos até o final do 1º decêndio de junho;

d) Mesmo cumprindo os requisitos estipulados pelo Zarc (itens a, b, c), é importante levar em consideração as condições climáticas específicas da região e microclimáticas da propriedade, que podem proporcionar um ambiente mais ou menos favorável aos modelos com cinco safras em dois anos;

e) A repetição anual de uma 3ª safra de grãos de trigo ou aveia branca não é possível devido a impossibilidade de semeadura da soja após essas culturas no início da época recomendada pelo Zarc. Levando-se em consideração as características das regiões do Paraná, onde esse modelo é possível, bem como as recomendações vigentes de época de semeadura e o atual perfil de cultivares de soja e trigo e híbridos de milho, a frequência máxima possível seria de uma 3ª safra a cada dois anos, o que significa, na prática, cinco safras em dois anos;

f) Dar preferência a cultivares de trigo ou de aveia branca com o maior número possível das seguintes características: precocidade; melhor desempe-

nho em condições de déficit hídrico; tolerância ou resistência a doenças de difícil controle e potencializadas quando a sementeira é realizada no final do período recomendado;

g) A estrutura de máquinas, equipamentos e mão-de-obra, em termos de capacidade e qualidade operacional, deve ser compatível com a curta duração das janelas de tempo para realizar as operações mecanizadas, sobretudo de colheita e sementeira são curtas;

h) Atentar para a regulação e manutenção da semeadora utilizada para a sementeira do trigo ou da aveia branca em 3ª safra sobre os restos culturais de milho recém aportados à superfície do solo. Além do grande volume, trata-se de um material de difícil corte principalmente pelo curto tempo transcorrido entre a colheita do milho e a operação de sementeira. Mesmo assim, sugere-se a utilização de 10-15% a mais de sementes na implantação em 3ª safra sobre restos culturais de milho;

i) Os modelos de produção que envolvem os cultivos de três safras em um mesmo ano agrícola são bastante intensivos, portanto, deve-se atentar para a duração dos efeitos residuais dos herbicidas aplicados de modo a evitar possíveis danos (*carryover*) para as culturas subsequentes.

De maneira geral, nas três safras avaliadas, a cultura que propiciou o maior lucro operacional foi a soja (Tabelas 8 a 10), corroborando os dados de Garbelini et al. (2020, 2022). A safra 2020/2021 apresentou condições climáticas favoráveis à soja, permitindo altas produtividades que, em conjunto com preços elevados (Tabela 5), proporcionaram lucro operacional superior a R\$ 10.000 por hectare em todos os MP (Tabela 8). Isso indica a alta viabilidade financeira da soja quando não há fatores climáticos extremos que limitem a produtividade. Comparando os tratamentos entre si, o menor lucro operacional ocorreu para a soja em sucessão ao milho 2ª safra (MP1), ao passo que o melhor resultado ocorreu quando a oleaginosa foi semeada após o cultivo de milho 2ª safra seguido de aveia preta para cobertura na 3ª safra (MP6), e após milho + braquiária (MP 4 e 8). O maior lucro da soja nesses modelos de produção está associado à redução dos custos de produção da cultura, em função, sobretudo, da economia com herbicidas, bem como ao aumento da produtividade (Tabela 6).

Ainda com relação à safra 2020/2021, o milho 2ª safra consorciado ou não com braquiária e o trigo, cultivado na safra tradicional ou na 3ª safra, também apresentaram resultados econômicos positivos (Tabela 8). O consórcio com braquiária *ruziziensis*, nessa safra, reduziu o lucro operacional do milho em aproximadamente R\$ 750 por ha (-21%), tanto pelo maior custo de produção associado à aquisição das sementes da forrageira e à operação de semeadura a lanço, quanto pela menor produtividade (Tabela 7). Nota-se também que o lucro operacional do trigo na 3ª safra foi similar à implantação em época normal, indicando o potencial de retorno econômico desta opção. Em oposto, a aveia branca para produção de grãos e a aveia preta para cobertura apresentam resultados financeiros negativos. No caso da aveia branca, a produtividade de grãos foi baixa, inferior a 3.000 kg ha⁻¹, e, ao mesmo tempo, os preços de mercado do grão foram bem inferiores às demais culturas (Tabela 5), o que limitou a receita. Por outro lado, o cultivo da aveia preta para cobertura do solo é considerado um investimento para aprimorar a qualidade e a conservação do solo, uma vez que não gera receita direta.

Tabela 8. Receita bruta, custo e lucro operacional das culturas componentes dos modelos de produção avaliados, nas safras 2020/2021.

Modelos de produção ⁽¹⁾	Culturas	Indicadores ⁽²⁾		
		Receita	Custo	Lucro
		R\$ ha ⁻¹		
MP1	Milho 2ª safra	7.828,70	4.334,47	+ 3.494,24
	Soja	15.602,27	4.978,23	+ 10.624,04
MP2	Trigo	5.412,41	3.839,47	+ 1.517,94
	Soja	16.479,43	4.682,19	+ 11.797,24
MP3	Aveia branca	2.364,49	3.280,37	- 915,96
	Soja	16.274,14	4.671,72	+ 11.602,22
MP4	Milho 2ª safra + braquiária	7.196,21	4.450,26	+ 2.745,64
	Soja	16.983,33	4.785,27	+ 12.197,85
MP5	Milho 2ª safra	7.828,70	4.334,47	+ 3.494,23
	Trigo 3ª safra	5.535,82	3.954,69	+ 1.581,13
	Soja	15.602,27	4.627,57	+ 10.974,70
MP6	Milho 2ª safra	7.828,70	4.334,47	+ 3.494,23
	Aveia preta	0,00	574,41	- 574,41
	Soja	16.983,15	4.698,00	+ 12.285,15
MP7	Milho 2ª safra	7.828,70	4.334,47	+ 3.494,23
	Aveia branca	2.237,69	3.124,72	- 887,03
	Soja	15.415,64	4.618,05	+ 10.797,59
MP8	Milho 2ª safra + braquiária	7.196,21	4.450,26	+ 2.745,95
	Soja	16.983,33	4.785,27	+ 12.198,06

⁽¹⁾ Modelos de produção caracterizados na Tabela 3; ⁽²⁾ Indicadores calculados apenas para as culturas implantadas no experimento físico na safra considerada (área 1 – Anexos 7 a 10).

Diferentemente da safra 2020/2021, na safra 2021/2022 a cultura da soja apresentou resultado financeiro negativo (Tabela 9), em virtude do déficit hídrico observado no período de novembro/2021 a janeiro/2022 (Figura 1D). O menor prejuízo na soja foi constatado nos MP 4 e 3, em que a soja foi implantada após milho consorciado com braquiária e aveia preta para cobertura, respectivamente. Em contrapartida, os maiores prejuízos na cultura da soja na safra 2021/2022 foram observados quando a cultura foi implantada após o

milho 2ª safra. A título de exemplo, o prejuízo na soja após o consórcio milho + braquiária (MP4) foi cerca de 3,5 vezes menor, comparativamente ao seu cultivo após milho 2ª safra solteiro no MP 1. Esse resultado revela o impacto positivo do uso da aveia preta para cobertura ou do milho consorciado com braquiária no outono/inverno em atenuar efeitos da seca na soja cultivada em sucessão. No caso da aveia preta, além da maior produtividade da soja (Tabela 6), houve redução significativa nos custos de produção da cultura (cerca de R\$ 370 por ha, ou 8%), principalmente em função no menor consumo de herbicidas para manejo de plantas daninhas resistentes/tolerantes ao glifosato, como a buva (*Conyza* spp.) e o capim amargoso (*Digitaria insularis*).

O milho 2ª safra, na safra 2021/2022, também não conferiu elevado lucro operacional (Tabela 9). Nesse caso, os maiores valores de lucro operacional foram observados nos MP 7 e 5. Isso ocorreu, fundamentalmente, pela maior produtividade do milho no MP 5 e 7 (Tabela 7), propiciando aumento da receita. Ou seja, provavelmente o cultivo de trigo ou aveia branca na 3ª safra melhorou a qualidade do solo, principalmente em função do crescimento de raízes e parte aérea (Debiasi et al., 2022). Verifica-se ainda que o lucro do milho 2ª safra consorciado foi cerca de R\$ 100 por ha menor que o milho solteiro, o que está associado ao custo de aquisição das sementes da forrageira e da operação de semeadura a lanço, uma vez que não houve efeito do consórcio na produtividade do cereal na safra 2021/2022 (Tabela 7). Já o trigo apresentou resultado altamente negativo na safra 2021/2022, R\$ - 3.769,53, uma vez que ocorreu uma geada intensa em julho, quando as plantas estavam em pleno florescimento, provocando perda total de produtividade.

Tabela 9. Receita bruta, custo e resultado operacional das culturas componentes dos modelos de produção avaliados, nas safras 2021/2022.

Modelos de produção ⁽¹⁾	Culturas	Indicadores ⁽²⁾		
		Receita	Custo	Resultado
		R\$ ha ⁻¹		
MP 1	Milho 2ª safra	5.200,89	4.819,53	+ 381,36
	Soja	3.154,17	4.788,63	- 1.634,46
MP 2	Trigo	0,00	3.769,53	- 3.769,53
	Soja	3.154,17	4.391,75	- 1.237,58
MP 3	Aveia preta	0,00	919,15	- 919,15
	Soja	3.724,20	4.420,82	- 696,62
MP 4	Milho 2ª safra + braquiária	5.200,89	4.919,46	+ 281,43
	Soja	4.484,24	4.959,84	- 475,24
MP 5	Milho 2ª safra	5.842,56	4.858,14	+ 984,42
	Soja	3.154,17	4.788,63	- 1.634,46
MP 6	Trigo	0,00	3.769,53	- 3.769,53
	Soja	3.154,17	4.391,75	- 1.237,58
MP 7	Milho 2ª safra	6.374,47	4.890,15	+ 1.484,32
	Soja	3.154,17	4.788,63	1.634,46
MP 8	Trigo	0,00	3.769,53	- 3.769,53
	Soja	3.154,17	4.391,75	- 1.237,58

⁽¹⁾ Modelos de produção caracterizados na Tabela 3; ⁽²⁾ Indicadores calculados apenas para as culturas implantadas no experimento físico na safra considerada (área 1 – Anexos 8 a 10).

Na safra 2022/2023, o maior lucro operacional na cultura da soja foi verificado no MP 3, no qual houve cultivo de aveia branca para produção de grãos e aveia preta para cobertura no outono/inverno, e no MP5, em que houve cultivo de milho 2ª safra e trigo 3ª safra (Tabela 10). Além da maior produtividade de grãos, sobretudo em relação à sucessão milho 2ª safra/soja (MP 1), esses modelos de produção proporcionaram menores custos de produção em função da economia com aplicação de herbicidas, o que correspondeu a um valor aproximado de - R\$ 343 por ha. Tais resultados indicam que esses

modelos de produção propiciam melhores condições à soja em relação às sucessões soja/milho 2ª safra (MP 1), modelo predominante nas regiões oeste e centro-oeste do PR, e soja/trigo (MP 2).

Tabela 10. Receita bruta, custo e resultado operacional das culturas componentes dos modelos de produção avaliados, nas safras 2022/2023.

Modelo de produção ⁽¹⁾	Culturas	Indicadores ⁽²⁾		
		Receita	Custo	Resultado
		R\$ ha ⁻¹		
MP 1	Milho 2ª safra	11.018,66	6.895,39	+ 4.123,27
	Soja	9.219,52	6.805,30	+ 2.414,22
MP 2	Trigo	6.170,15	6.927,03	- 756,88
	Soja	10.565,33	6.397,89	+ 4.167,44
MP 3	Aveia preta	0,00	1.328,76	- 1.328,26
	Soja	10.925,06	6.416,23	+ 4.508,83
MP 4	Milho 2ª safra + braquiária	11.018,66	7.027,06	+ 3.991,60
	Soja	9.925,81	7.060,06	+ 2.865,75
MP 5	Milho 2ª safra	11.366,78	6.897,04	+ 4.469,74
	Trigo 3ª safra	5.269,92	6.508,17	- 1.238,25
	Soja	11.124,91	6.410,58	+ 4.714,33
MP 6	Milho 2ª safra	11.949,70	6.926,76	+ 5.022,94
	Aveia preta	0,00	1.192,36	- 1.192,36
	Soja	10.272,22	6.367,10	+ 3.905,12
MP 7	Milho 2ª safra	11.795,87	6.918,92	+ 4.876,95
	Aveia preta	0,00	1.192,36	- 1.192,36
	Soja	10.565,33	6.382,05	+ 4.138,28
MP 8	Milho 2ª safra + braquiária	11.018,66	7.027,06	+ 3.991,60
	Soja	10.272,22	7.077,73	+ 3.194,49

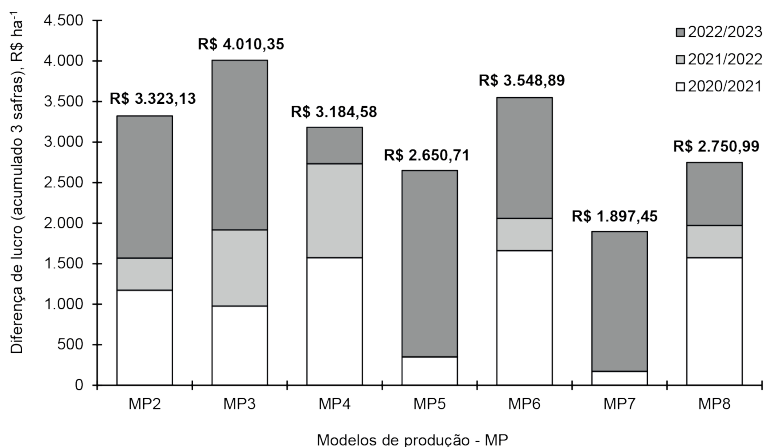
⁽¹⁾ Modelos de produção caracterizados na Tabela 3; ⁽²⁾ Indicadores calculados apenas para as culturas implantadas no experimento físico na safra considerada (área 1 – Anexos 7 a 10).

As produtividades de milho 2ª safra foram elevadas na safra 2022/2023 (Tabela 7), em virtude das condições meteorológicas favoráveis (Figura 1E) e da semeadura da cultura ainda no início do 3º decêndio de janeiro (Tabela 4). A combinação de altas produtividades com preços de mercado acima da média (Tabela 5) proporcionaram elevado lucro em todos os MP em que a cultura esteve presente (Tabela 10), mesmo com o incremento de mais de 40% nos custos de produção em relação à safra anterior (Tabela 9). Os maiores lucros na cultura do milho ocorreram nos MP5, caracterizado pelo cultivo de milho 2ª safra seguido de trigo 3ª safra; MP6, em que houve cultivo do milho seguido de aveia 3ª safra e, no segundo ano, trigo substituindo o milho 2ª safra; e MP7, que envolve o cultivo do milho 2ª safra e aveia 3ª safra. Esses resultados indicam claramente que a cultura do milho 2ª safra é altamente responsiva a modelos de produção mais diversificados no outono/inverno. Outro ponto que merece destaque é que, a exemplo da safra anterior (2021/2022), o lucro do milho consorciado com braquiária foi ligeiramente inferior ao milho solteiro (-R\$ 131,67), em função dos custos com sementes da forrageira e com operação de semeadura a lanço, já que as produtividades do cereal não diferiram significativamente (Tabela 7) e os mesmos valores foram considerados para fins de análise econômica (Anexo 2).

Na safra 2022/2023, o trigo novamente apresentou lucro operacional negativo, tanto na semeadura em época tradicional (MP2), quanto na terceira safra (MP5) (Tabela 10). Em virtude das menores produtividades (-534 kg ha^{-1}), os prejuízos foram maiores quando o trigo foi semeado em 3ª safra. O resultado financeiro negativo do trigo na safra 2022/2023 pode ser atribuído principalmente aos elevados custos de produção, impulsionados principalmente pela elevação no preço dos fertilizantes. Nesse sentido, os custos de produção do trigo cresceram quase 85% na safra 2022 em relação à anterior, de forma que os valores absolutos se aproximaram dos observados para o milho 2ª safra (cerca de R\$ 6.900 por ha). Assim, o aumento do lucro da cultura do trigo, por meio da obtenção de maiores produtividades em paralelo à racionalização do uso dos insumos para reduzir custos, é um desafio que precisa ser vencido para alavancar o cultivo desse importante cereal nas regiões oeste e centro-oeste do PR.

Todos os MP alternativos à sucessão milho 2ª safra/soja apresentaram lucro operacional acumulado da soja superior ao MP1 (Figura 5). Em média, a di-

ferença de lucro operacional acumulado foi de, aproximadamente, +R\$ 3.050 por hectare, o que representa um aumento de quase 27% em relação ao lucro da soja na sucessão milho 2^a safra/soja (MP1). Esse resultado decorre principalmente da menor produtividade acumulada da oleaginosa no MP1 (Tabela 6) e, em geral, dos maiores custos de produção (Tabelas 8 a 10), sobretudo para controle de plantas daninhas de difícil manejo entre a colheita do milho e a semeadura da soja (Figura 6). Conforme a Figura 6, verifica-se que a presença de plantas cultivadas na janela entre a colheita do milho 2^a safra e a semeadura da soja contribui significativamente na redução da emergência e crescimentos de plantas daninhas, especialmente buvas e capim amargoso. A maior redução dos custos de produção da soja em relação ao MP1 ocorreu nas situações em que a oleaginosa foi cultivada após a colheita ou manejo de cereais de inverno (trigo e aveias), atingindo uma economia média de aproximadamente R\$ 350 por ha. Embora tenha contribuído para reduzir a incidência de plantas daninhas antes da semeadura da soja em comparação ao milho 2^a safra solteiro (Figura 6A), o consórcio com braquiária *ruziziensis* (Figura 6B) teve pouco efeito nos custos de produção da soja, reduzindo-os de forma significativa apenas na safra 2020/2021. Isso pode ser atribuído à elevação dos preços do glifosato, principalmente na safra 2022/2023, o qual é requerido em maiores doses justamente para viabilizar um controle satisfatório da braquiária *ruziziensis*.



* Modelos de produção (MP) descritos na Tabela 3.

Figura 5. Diferença acumulada (em três safras) de lucro operacional (R\$ ha⁻¹) da cultura da soja nos modelos de produção (MP) 2 a 8 em relação ao MP1 (sucessão milho 2^a safra/soja).

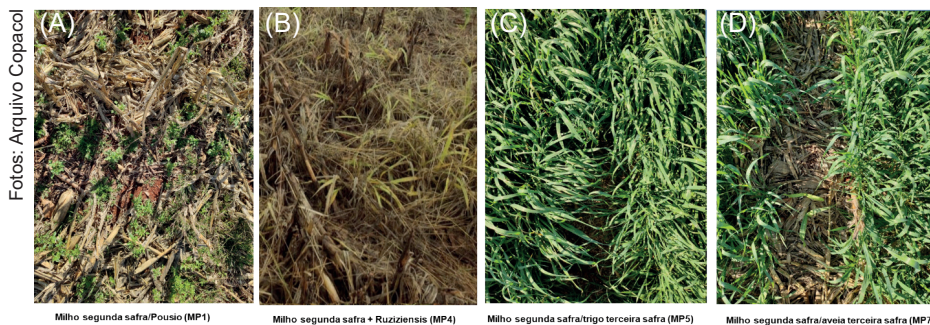


Figura 6. Infestação de plantas daninhas em julho de 2020 nos modelos de produção (MP)1 (A), MP4 (B), MP5 (C) e MP7 (D).

Os maiores valores de lucro operacional da soja, no acumulado das três safras, foram observados no MP 3, MP 6, MP 2 e MP 4 (Figura 5). À exceção do MP6, os demais modelos não envolvem o cultivo de milho 2ª safra solteiro em nenhuma safra. Os aumentos no lucro operacional acumulado da soja em relação ao MP 1 foram de 35,2%; 31,1%; 29,1%; e 27,9% para o MP 3, MP 6, MP 2 e MP 4, respectivamente. Da mesma forma, o lucro operacional do milho 2ª safra também foi maior em modelos de produção mais diversificados, com o cultivo de trigo e/ou aveia na 3ª safra ou em rotação ao milho. Em média, a diversificação de culturas no período de outono-inverno aumentou o lucro operacional do milho em R\$ 741 por ha (+27,7%), o que pode ser justificado pela maior produtividade da cultura nos tratamentos mais diversificados (MP 5, 6 e 7). Desses tratamentos, o que proporcionou o maior aumento do lucro operacional do milho foi o MP 7, que envolve o cultivo de aveia na 3ª safra (+ R\$ 928 por ha, ou + 34,7%), seguido pelo MP6, caracterizado pela alternância de milho 2ª safra seguido de aveia com trigo (+ R\$ 899,60 por ha, ou + 33,6%). Por sua vez, o MP5, que envolve o cultivo de trigo 3ª safra em 50% da área (ou uma vez a cada dois anos, considerando o mesmo talhão), proporcionou um aumento do lucro operacional do milho 2ª safra, na média das safras 2021/2022 e 2022/2023, de R\$ 474,75 por hectare (+17,7%).

Em síntese, a utilização de modelos de produção com maior diversidade de espécies vegetais e aporte de palha e raízes aumenta o lucro operacional da soja e do milho 2ª safra, excetuando-se, no caso dessa última cultura, os modelos envolvendo consórcio com braquiária, devido à competição exercida pela forrageira pelos recursos ambientais água, luz e nutrientes e ao custo adicional com sementes e operação de semeadura. Salienta-se que esses

efeitos positivos foram observados já nas primeiras três safras de condução experimental, de forma que os benefícios na produtividade e na lucratividade em resposta ao uso de modelos de produção diversificados tendem a se intensificar ao longo do tempo (Debiasi et al., 2017).

Do ponto de vista prático, mais importante do que a análise do lucro operacional por cultura é a análise do lucro considerando o MP como um todo, a partir da abordagem 2 descrita na metodologia. Nesse caso, na safra 2020/2021, os MP 5 e 4 foram os que apresentaram os maiores lucros, enquanto o MP 3 apresentou o menor lucro (Tabela 11). O MP1, que é o sistema predominante, apresentou lucro intermediário entre os MP, sendo inferior ao MP 4 e 5, similar ao MP6, e maior que os demais tratamentos.

Tabela 11. Receita bruta, custo e resultado operacional dos modelos de produção avaliados, na safra 2020/2021.

Modelo de produção ⁽¹⁾	Área ⁽²⁾	Culturas	Indicadores		
			Receita ⁽³⁾⁽⁵⁾	Custo ⁽⁴⁾⁽⁵⁾	Resultado
			R\$ ha ⁻¹		
MP 1	1	Milho 2ª safra	7.828,70	4.334,47	+ 3.494,23
		Soja	15.602,27	4.978,23	+ 10.624,04
		Modelo	23.430,97	9.312,70	+ 14.118,27
MP 2	1	Trigo	5.412,41	3.894,47	+ 1.517,94
		Soja	16.479,43	4.682,19	+ 11.797,24
		Modelo	21.891,84	8.576,66	+ 13.315,18
MP 3	1	Aveia branca	2.364,49	3.280,37	- 915,96
		Soja	16.274,14	4.671,72	+ 11.602,22
		Modelo	18.638,63	7.952,09	+ 10.686,54
MP 4	1	Milho 2ª safra + braquiária	7.196,21	4.450,26	+ 2.745,64
		Soja	16.983,33	4.785,27	+ 12.197,85
		Modelo	24.179,54	9.235,53	+ 14.944,01
MP 5	1	Milho 2ª safra	3.914,35	2.167,24	+ 1.747,11
		Trigo 3ª safra	2.767,91	1.977,35	+ 790,56
		Soja	7.801,14	2.313,77	+ 5.487,37
	2	Milho 2ª safra	3.914,35	2.167,24	+ 1.747,11
		Soja	7.801,13	2.489,12	+ 5.312,01
	1+2	Modelo	26.198,88	11.114,72	+ 15.084,16

Continua...

Tabela 11. Continuação.

MP 6	1	Milho 2ª safra	3.914,35	2.167,24	+ 1.747,11
		Aveia preta cobertura	0,00	287,21	- 287,21
		Soja	8.491,58	2.349,00	+ 6.142,51
	2	Trigo	2.706,21	1.947,24	+ 758,97
		Soja	8.239,71	2.341,09	+ 5.898,62
1+2	Modelo	23.351,84	9.091,79	+14.260,07	
MP 7	1	Milho 2ª safra	3.914,35	2.167,24	+ 1.747,11
		Aveia branca 3ª safra	1.118,85	1.562,34	- 443,50
		Soja	7.707,82	2.309,03	+ 5.398,79
	2	Milho 2ª safra	3.914,35	2.167,24	+ 1.747,11
		Soja	7.801,14	2.489,12	+ 5.312,02
1+2	Modelo	24.456,50	10.694,97	+ 13.761,53	
MP 8	1	Milho 2ª safra+ braquiária	3.598,11	2.225,13	+ 1.372,98
		Soja	8.491,66	2.392,64	+ 6.099,02
		Trigo	2.706,21	1.947,24	+ 758,97
	2	Soja	8.239,71	2.341,09	+ 5.898,62
		1+2	Modelo	23.035,69	8.906,10

(1) Modelos de produção caracterizados na Tabela 3. (2) O número de áreas corresponde ao número de safras de duração de cada ciclo do modelo de produção, uma para os modelos de produção de 1 a 4 (sucessão de culturas) e duas para os modelos de 5 a 8. Na área 1, as culturas indicadas são aquelas implantadas no experimento físico na 2020/2021, ao passo que, na área 2, elas correspondem à fase do ciclo do modelo de produção, não contemplada no experimento físico na safra 2020/2021. (3) Receita bruta estimada pelo produto entre o preço (Tabela 5) e a produtividade obtida no experimento físico (modelos de 1 a 4, Anexos I e II) ou a produtividade indicada nos Anexo VII a X (modelos de 5 a 8). (4) Na área 1, os custos operacionais foram estimados com base nos insumos utilizados no respectivo modelo no experimento físico. Na área 2, os custos operacionais foram calculados a partir dos observados para os tratamentos-testemunha caracterizados pela mesma cultura antecedendo a soja, com ajustes em função da variação dos custos com transporte externo e impostos (Funrural) ocasionadas por diferenças na produtividade. (5) Para os modelos de produção 5 a 8, a receita bruta, o custo operacional e o resultado por cultura correspondem aos valores em R\$ ha⁻¹ dividido por 2, que representa o número de ciclos de condução/áreas.

Na safra 2021/2022, todos os MP apresentam resultados econômicos negativos (Tabela 12), em razão da ocorrência de déficit hídrico no outono/inverno e na primavera/verão (Figura 1C e D), bem como de geadas no mês de julho. Os menores prejuízos, inferiores ao valor observado para a sucessão soja/milho 2ª safra (MP 1), ocorreram no MP 4 e no MP 7, ao passo que as maiores perdas ocorreram no MP 2 (trigo/soja). Isso demonstra o benefício do consórcio do milho 2ª safra com a braquiária no sentido de reduzir as perdas de produtividade da soja frente ao déficit hídrico (Tabela 6). Na safra

2021/2022, a soja cultivada no MP 4 produziu 403 kg ha⁻¹ a mais do que a soja cultivada no MP 2. Nessa safra, o MP 7 também demonstrou reduzido prejuízo, demonstrando o efeito benéfico da aveia posicionada na 3ª safra sobre a qualidade do solo e, conseqüentemente, na redução de perdas de produtividade em decorrência de déficit hídrico. Em geral, os prejuízos financeiros na safra 2021/2022 cresceram com o aumento da proporção de trigo no MP, em função das perdas totais de produtividade ocasionadas pelas geadas de julho. Da mesma maneira, apesar da baixa produtividade, as condições favoráveis de preço do milho proporcionaram lucro para essa cultura, ajudando a minimizar os prejuízos com a soja, especialmente nos modelos mais diversificados onde o milho 2ª safra obteve maiores produtividades. Isso reforça a importância de modelos de produção intensificados e diversificados na redução dos riscos financeiros inerentes à atividade agrícola.

Tabela 12. Receita bruta, custo e resultado operacional dos modelos de produção avaliados, nas safras 2021/2022.

Modelo de produção ⁽¹⁾	Área ⁽²⁾	Culturas	Indicadores		
			Receita ⁽³⁾⁽⁵⁾	Custo ⁽⁴⁾⁽⁵⁾	Resultado
			R\$ ha ⁻¹		
MP1	1	Milho 2a safra	5.200,89	4.819,53	+ 381,36
		Soja	3.154,17	4.788,63	- 1.634,46
		Modelo	8.355,05	9.608,16	-1.253,11
MP2	1	Trigo	0,00	3.769,53	- 3.769,53
		Soja	3.154,17	4.391,75	- 1.237,58
		Modelo	3.154,17	8.161,28	- 5.007,11
MP3	1	Aveia preta cobertura	0,00	919,15	- 919,15
		Soja	3.724,20	4.420,82	- 696,62
		Modelo	3.724,20	5.339,97	- 1.615,77
MP4	1	Milho 2ª safra + braquiária	5.200,89	4.919,46	+ 281,43
		Soja	4.484,24	4.959,48	- 475,24
		Modelo	9.685,12	9.878,94	- 193,82

Continua...

Tabela 12. Continuação.

MP5	1	Milho 2ª safra	2.921,28	2.429,07	+ 492,21
		Soja	1.577,08	2.394,32	- 817,23
	2	Milho 2ª safra	2.600,44	2.409,76	+ 190,68
		Trigo 3ª safra	0,00	1.844,77	- 1.844,77
		Soja	1.902,98	2.212,49	- 309,51
1+2	Modelo	9.001,79	11.290,41	- 2.288,62	
MP6	1	Trigo	0,00	1.884,77	- 1.884,77
		Soja	1.577,08	2.195,88	- 618,80
		Milho 2ª safra	2.820,17	2.432,17	+ 388,00
	2	Aveia preta cobertura	0,00	459,58	- 459,58
		Soja	1.757,13	2.205,05	- 447,92
1+2	Modelo	6.154,38	9.177,45	- 3.023,07	
MP7	1	Milho 2ª safra	3.187,23	2.445,08	+ 742,16
		Soja	1.577,08	2.394,32	- 817,23
		Milho 2ª safra	2.600,44	2.409,76	+ 190,68
	2	Aveia preta cobertura	0,00	459,58	- 459,58
		Soja	1.807,27	2.222,14	- 414,88
1+2	Modelo	9.172,02	9.930,88	- 758,86	
MP8	1	Trigo	0,00	1.884,76	- 1.884,76
		Soja	1.577,08	2.195,88	- 618,80
	2	Milho 2ª safra+ braquiária	2.600,44	2.459,73	+ 140,71
		Soja	2.320,37	2.483,73	- 163,36
1+2	Modelo	6.497,89	9.024,10	- 2.526,21	

(1) Modelos de produção caracterizados na Tabela 3. (2) O número de áreas corresponde ao número de safras de duração de cada ciclo do modelo de produção, uma para os modelos de produção de 1 a 4 (sucessão de culturas) e duas para 2483,73os modelos de 5 a 8. Na área 1, as culturas indicadas são aquelas implantadas no experimento físico na 2021/2022, ao passo que, na área 2, elas correspondem à fase do ciclo do modelo de produção, não contemplada no experimento físico na safra 2021/2022. (3) Receita bruta estimada pelo produto entre o preço (Tabela 5) e a produtividade obtida no experimento físico (modelos de 1 a 4, Anexos I e II) ou a produtividade indicada nos Anexo VII a X (modelos de 5 a 8). (4) Na área 1, os custos operacionais foram estimados com base nos insumos utilizados no respectivo modelo no experimento físico. Na área 2, os custos operacionais foram calculados a partir dos observados para os tratamentos-testemunha caracterizados pela mesma cultura antecedendo a soja, com ajustes em função da variação dos custos com transporte externo e impostos (Funrural) ocasionadas por diferenças na produtividade. (5) Para os modelos de produção 5 a 8, a receita bruta, o custo operacional e o resultado por cultura correspondem aos valores em R\$ ha⁻¹ dividido por 2, que representa o número de ciclos de condução/áreas.

Na safra 2022/2023, os oito MP analisados apresentam resultados econômicos positivos (Tabela 13). Os maiores lucros operacionais ocorreram nos tratamentos MP7 (milho 2ª safra- aveia preta para cobertura na 3ª safra), no MP 5 (milho 2ª safra-trigo 3ª safra no outono-inverno) e MP4 (milho 2ª safra + braquiária ruziziensis), todos com resultados financeiros superiores ao modelo predominante nas regiões oeste e centro-oeste do Paraná (sucessão milho 2ª safra/soja, MP1), correspondentes a +R\$ 1.852,93 (+28,3%), +R\$ 1.357,18 (+20,8%) e +R\$ 319,70 (+4,9%) por ha, respectivamente. Isso aponta a viabilidade econômica do uso de aveia preta ou do trigo na 3ª safra a cada dois anos, visando a maior cobertura e melhoria da qualidade do solo que se reflete em maiores produtividades (Tabela 6) e menores custos de produção para a soja (Tabela 8, 9 e 10), bem como produtividade mais elevadas de milho 2ª safra (Tabela 7). Mais uma vez, os modelos de produção em que o cultivo do milho 2ª safra não é realizado (MP 2 e 3) ou é restrito a 50% da área (MP 6 e 8) proporcionaram os menores lucros operacionais, mesmo com o melhor desempenho financeiro das culturas da soja e do milho 2ª safra no caso do MP6 (Tabela 7), quando consideradas de forma isolada.

Tabela 13. Receita bruta, custo e resultado operacional dos modelos de produção avaliados, nas safras 2022/2023.

Modelo de produção ⁽¹⁾	Área ⁽²⁾	Culturas	Indicadores		
			Receita ⁽³⁾⁽⁵⁾	Custo ⁽⁴⁾⁽⁵⁾	Resultado
			R\$ ha ⁻¹		
MP1	1	Milho 2a safra	11.018,66	6.895,39	+ 4.123,27
		Soja	9.219,52	6.805,30	+ 2.414,22
		Modelo	20.238,17	13.700,69	+ 6.537,48
MP2	1	Trigo	6.170,15	6.927,03	- 756,88
		Soja	10.565,14	6.397,89	+ 4.167,25
		Modelo	16.735,29	13.324,92	+ 3.410,37
MP3	1	Aveia preta cobertura	0,00	1.328,76	- 1.328,76
		Soja	10.924,86	6.416,23	+ 4.508,63
		Modelo	10.924,86	7.744,99	+ 3.179,87
MP4	1	Milho 2ª safra + braquiária	11.018,66	7.027,06	+ 3.991,60
		Soja	9.925,64	7.060,06	+ 2.865,58
		Modelo	20.944,30	14.087,12	+ 6.857,18

Continua...

Tabela 13. Continuação

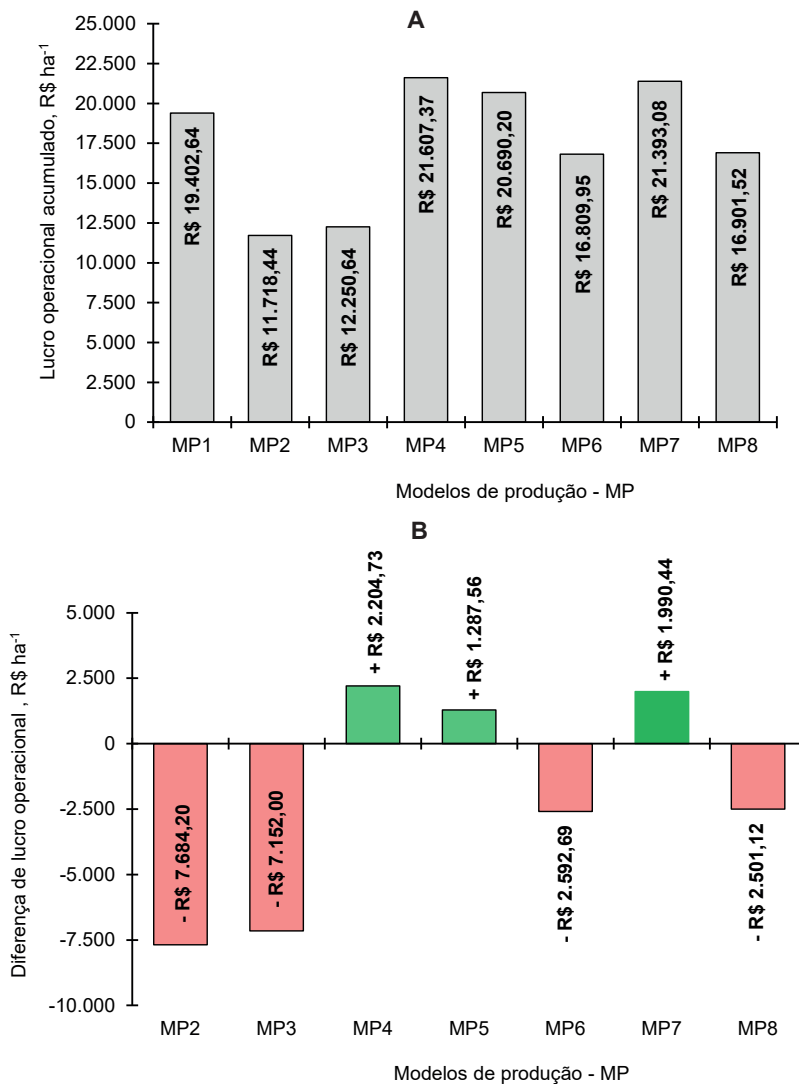
MP5	1	Milho 2ª safra	5.683,39	3.448,52	+ 2.234,87
		Trigo 3ª safra	2.634,96	3.254,09	- 619,13
		Soja	5.562,35	3.205,29	+ 2.357,06
	2	Milho 2ª safra	6.189,05	3.474,31	+ 2.714,74
		Soja	4.609,76	3.402,65	+ 1.207,11
1+2	Modelo	24.679,51	15.351,15	+ 7.894,66	
MP6	1	Milho 2ª safra	5.974,85	3.463,38	+ 2.438,48
		Aveia preta cobertura	0,00	596,18	- 596,18
		Soja	5.136,02	3.183,55	+ 1.952,47
	2	Trigo	3.085,08	3.463,52	+ 243,07
		Soja	5.282,57	3.198,95	+ 2.083,62
1+2	Modelo	19.478,52	13.905,57	+ 5.572,95	
MP7	1	Milho 2ª safra	5.897,94	3.459,46	+ 2.438,48
		Aveia preta cobertura	0,00	596,18	- 596,18
		Soja	5.282,57	3.191,02	+ 2.091,54
	2	Milho 2ª safra	6.752,50	3.503,04	+ 3.249,46
		Soja	4.609,76	3.402,66	+ 1.207,10
1+2	Modelo	22.542,77	14.152,36	+ 8.390,41	
MP8	1	Milho 2ª safra+ braquiária	5.509,33	3.513,53	+ 1.995,80
		Soja	5.136,02	3.538,86	+ 1.597,15
		Trigo	3.085,08	3.463,52	- 378,44
	2	Soja	5.282,57	3.198,95	+ 2.083,62
		1+2	Modelo	19.013,00	13.714,86

(1) Modelos de produção caracterizados na Tabela 3. (2) O número de áreas corresponde ao número de safras de duração de cada ciclo do modelo de produção, uma para os modelos de produção de 1 a 4 (sucessão de culturas) e duas para os modelos de 5 a 8. Na área 1, as culturas indicadas são aquelas implantadas no experimento físico na 2022/2023, ao passo que, na área 2, elas correspondem à fase do ciclo do modelo de produção, não contemplada no experimento físico na safra 2022/2023. (3) Receita bruta estimada pelo produto entre o preço (Tabela 5) e a produtividade obtida no experimento físico (modelos de 1 a 4, Anexos 1 e 2) ou a produtividade indicada nos Anexos 7 a 10 (modelos de 5 a 8). (4) Na área 1, os custos operacionais foram estimados com base nos insumos utilizados no respectivo modelo no experimento físico. Na área 2, os custos operacionais foram calculados a partir dos observados para os tratamentos-testemunha caracterizados pela mesma cultura antecedendo a soja, com ajustes em função da variação dos custos com transporte externo e impostos (Funrural) ocasionadas por diferenças na produtividade. (5) Para os modelos de produção 5 a 8, a receita bruta, o custo operacional e o resultado por cultura correspondem aos valores em R\$ ha⁻¹ dividido por 2, que representa o número de ciclos de condução/áreas.

Considerando as três safras em conjunto (abordagem 3), os MP 4, 5 e 7 apresentaram lucro operacional superior ao MP1, padrão nas regiões consideradas, enquanto os MP 2, 3, 6 e 8 apresentaram lucros menores do que o MP1 (Figura 7A). Comparativamente ao MP1, os MP 4, 5 e 7 proporcionaram um lucro operacional no acumulado das 3 safras de +11,4%, +6,6% e +10,2%, respectivamente (Figura 7B). A característica comum aos MP 4, 5 e 7 é que todos eles envolvem o cultivo do milho 2ª safra em todos os anos e em toda a área da propriedade (abordagem 2), com o acréscimo de culturas em consórcio ou implantadas em sucessão no mesmo outono-inverno (3ª safra), de maneira a ocupar a janela de pousio que ocorre de meados de junho a meados de setembro (aproximadamente 90 dias). Em contrapartida, os tratamentos MP 2, 3, 6 e 8 reduziram o lucro operacional em 39,6%, 36,8%, 13,4% e 12,9% em relação à sucessão soja/milho 2ª safra (MP1), respectivamente. Essa expressiva redução no resultado financeiro desses quatro MP em relação ao modelo predominante nas regiões oeste e centro-oeste do Paraná ocorreu em que pese o maior lucro operacional proporcionado às culturas da soja (Tabela 6) e do milho 2ª safra (Tabela 7), e está associada diretamente a proporção de milho 2ª safra solteiro ou consorciado com braquiária ruzizienensis, prevista pelo MP (Tabela 3). Nesse sentido, os MP alternativos que não envolvem o cultivo de milho 2ª safra (sucessões trigo/soja e aveia/soja, MP2 e 3) reduziram o lucro acumulado nas três safras, na média, em R\$ 7.418,10 por ha (-38,2%), comparativamente ao MP1. Por outro lado, nos MP com 50% da área cultivada com milho solteiro ou consorciado, essa redução caiu para R\$ 2.546,90 (-13,2%), na média dos MP 6 e 8. Por fim, os modelos alternativos com a manutenção do cultivo de milho 2ª safra em todos os anos e em toda a área resultaram em aumento do lucro operacional, comparativamente ao MP1.

Os resultados anteriormente descritos revelam a importância do milho 2ª safra para a viabilidade econômica dos sistemas de produção de grãos nas regiões oeste e centro-oeste do Paraná, ao mesmo tempo que apontam o uso da janela entre a colheita do cereal e a semeadura da soja com culturas vivas como uma importante tecnologia a ser adotada pelos produtores para intensificar e diversificar a matriz produtiva e, assim, aumentar a produção de grãos por unidade de área e o retorno financeiro. Adicionalmente, os modelos alternativos indicados podem ser utilizados em larga escala, uma vez que não apresentam limitações técnicas e operacionais significativas. À vista disso,

é importante ampliar a divulgação e as ações de transferência de tecnologia para alavancar o uso dos MP 4, 5 e 7 nas regiões oeste e centro-oeste do PR, bem como validar esses MP em outras regiões do país.



* Modelos de produção (MP) descritos na Tabela 3.

Figura 7. Lucro operacional (R\$ ha⁻¹) acumulado em três safras (2020/2021, 2021/2022 e 2022/2023) nos oito modelos de produção (MP) avaliados (A), e diferença de lucro operacional acumulado dos modelos MP2 a MP8 em relação ao modelo MP1 (sucessão milho 2ª safra/soja).

É importante destacar que o grande impacto positivo do cultivo do milho 2ª safra no desempenho financeiro dos modelos de produção avaliados neste trabalho pode ser atribuído em parte às condições favoráveis de mercado para o grão, em que os preços atingiram valores bem superiores à média histórica em todas as safras (Tabela 5). Por outro lado, no caso do trigo, embora os preços também tenham sido favoráveis, houve a perda total de produtividade na safra 2021/2022, devido à ocorrência de geadas intensas em julho, durante período crítico da cultura, o que prejudicou grandemente o resultado financeiro de todos os modelos de produção em que esse cereal de inverno foi cultivado, tanto na época normal quanto na 3ª safra. Adicionalmente, houve um expressivo aumento no preço dos insumos na safra 2022/2023, sobretudo dos fertilizantes, o que resultou em um aumento significativo nos custos de produção, com impacto maior no trigo (+85%) do que no milho (+40%). Assim, é possível que, em que safras mais próximas à normalidade, como foi a 2020/2021, as diferenças de retorno financeiro entre o milho 2ª safra e o trigo diminuam e o desempenho econômico dos modelos envolvendo o cultivo do cereal de inverno melhore em comparação ao MP1, principalmente considerando que o lucro da soja e do próprio milho 2ª safra nos modelos envolvendo o cultivo do trigo foi significativamente maior, pela maior produtividade e redução dos custos de produção.

Um outro fato que pode consolidar o trigo como importante alternativa de diversificação de culturas, é a forte influência que a época de semeadura do milho 2ª safra exerce sobre a produtividade e o retorno financeiro da cultura. Com o atraso da semeadura há aumento dos riscos decorrentes de déficit hídrico e geadas, em algumas regiões do país, além de haver redução do potencial de rendimento pela redução da radiação solar e da temperatura. Nesse sentido, projetou-se o lucro operacional do milho 2ª safra acumulado em duas safras (2020/2021 e 2022/2023, quando a produtividade foi elevada e a semeadura realizada na época correta), considerando atrasos da semeadura em relação à época efetivamente utilizada no experimento (Tabela 4). Para isso, o efeito do atraso da semeadura do milho 2ª sobre a sua produtividade foi estimado por meio das simulações realizadas por Nóia Junior e Sentelhas (2019), para o município de Campo Mourão/PR. De acordo com essas simulações, ocorre uma perda de 52 kg ha⁻¹ de grãos milho a cada dia de atraso na semeadura dentro do período de 11/01 e 11/04. Em termos relativos, tem-se uma perda diária de 0,5924%, valor esse que foi utilizado

para estimar a produtividade do milho 2ª safra no MP1, simulando atrasos de semeadura até um máximo de 70 dias, conforme equação (4).

$$P_{est} = P_{MP1} - (P_{MP1} \times N \times f) \quad (4)$$

Onde:

P_{est} = Produtividade de grãos (kg ha⁻¹) do milho 2ª safra para o MP1 nas safras 2020/2021 e 2022/2023, estimada considerando um número (N) de dias de atraso na semeadura em relação à época em que a mesma ocorreu no experimento de campo;

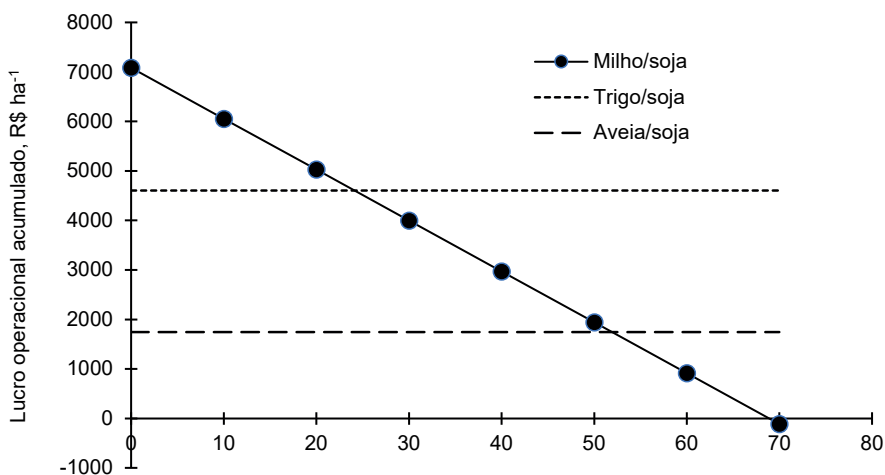
P_{MP1} = Produtividade média de grãos (kg ha⁻¹) do milho 2ª safra, obtida no experimento de campo para o MP1 nas safras 2020/2021 e 2022/2023 (Tabela 7);

N = número de dias de atraso na semeadura em relação à época em que foi realizada no experimento de campo na safra 2020/2021;

f = fator de redução de produtividade por dia de atraso, equivalente a 0,0059 (valor de perda percentual por dia /100).

Os valores de P_{est} foram então utilizados para recalcular a receita bruta e também os custos de produção, tendo em vista a redução do montante gasto com transporte externo e impostos (Funrural), em função da diminuição da produtividade com o atraso da semeadura. No caso dos MP 2 e 3, o lucro operacional (ou prejuízo) proporcionado pelo trigo e aveia implantados na safra normal foi somado ao aumento do lucro da soja que essas culturas proporcionaram em relação ao MP1 nas safras 2020/2021 (Tabela 8) e 2022/2023 (Tabela 9). Constatou-se que o lucro acumulado nas duas safras diminuiu de aproximadamente R\$ 7.100,00 por ha para um prejuízo de R\$ 520 por ha com 70 dias de atraso na semeadura (Figura 8). Com base nessa estimativa, se o atraso na semeadura do milho for maior do que 23 dias, o que significa a semeadura a partir da 2ª metade de fevereiro, é mais viável economicamente substituir o milho por trigo. Por outro lado, se o atraso for maior do que 52 dias, o que representa a semeadura da 2ª metade de março em diante, é viável substituir o milho por aveia preta para cobertura do solo. Deve-se considerar ainda as indicações do Zarc, já que o atraso na semeadura do milho para além do período indicado implica em um risco elevado (> 40%)

de perdas de produtividade por seca ou baixas temperaturas, inviabilizando, inclusive, o acesso a diversas modalidades de seguro agrícola. É evidente que variáveis como preço do milho e do trigo podem alterar essa estimativa. No entanto, considerando os dados de perda média de produtividade com o atraso na semeadura do milho e os preços praticados no período de condução deste experimento (Tabela 5), essa estimativa é relevante para demonstrar que a rotação do milho 2ª safra com o trigo ou culturas de cobertura pode ser interessante em áreas com atraso na semeadura, aumentando a renda da propriedade e reduzindo os riscos financeiros.



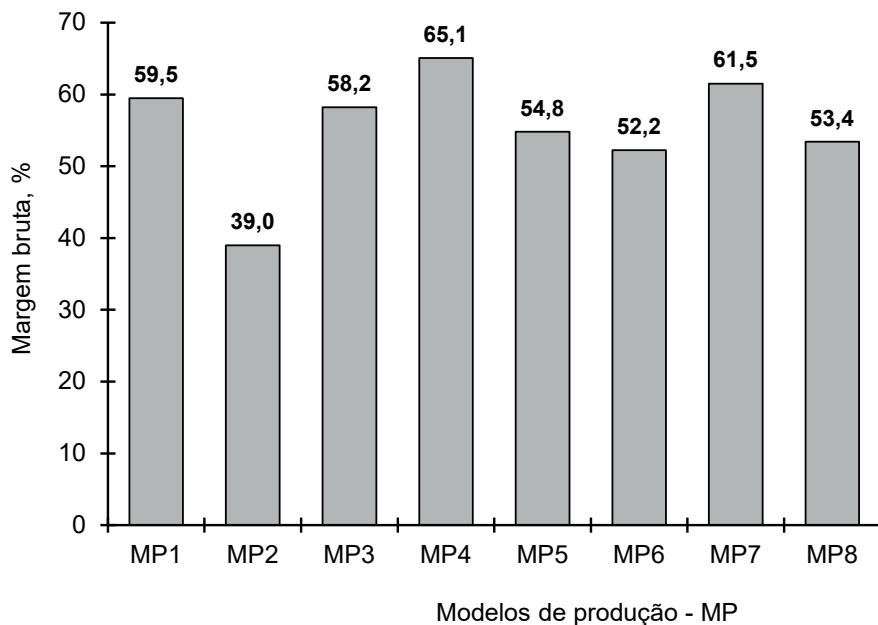
Atraso na semeadura do milho 2ª safra em relação ao experimento, dias

* A semeadura do milho 2ª safra foi realizada nos dias 21/01/2020 e 24/01/2022.

Figura 8. Lucro operacional (R\$ ha⁻¹) do milho 2ª safra acumulado em duas safras (2020/2021 e 2022/2023), estimado em função de atrasos simulados na data de semeadura cultura. As linhas pontilhadas representam a soma do resultado econômico do trigo ou da aveia com o aumento do lucro operacional na soja e milho 2ª safra ocasionado pelo cultivo desses cereais de inverno.

A margem bruta é outra variável econômica relevante, pois representa o lucro dividido pelos custos de produção, sendo os dados expresso em porcentagem. Ou seja, quanto maior a margem bruta, maior é o retorno do capital investido. Os MP 4 e 7 apresentam maior margem bruta, comparativamente ao MP padrão nas regiões – MP1 (Figura 9). Apesar do MP5 apresentar maior lucro operacional do que o MP1, a sua margem bruta foi menor. O MP5 apresentou menor margem porque é um modelo que exige maiores dispêndios de

custeio, uma vez que, em média, apresenta 2,5 safras de culturas de grãos por ano. Assim, os MP 4 e 7 conciliaram maiores lucro operacional e margem bruta do que o MP1, subsidiando as suas indicações como MP alternativos mais rentáveis do que o MP padrão.



* Modelos de produção (MP) descritos na Tabela 3.

Figura 9. Margem bruta nos oito modelos de produção avaliados.

Considerações finais

Com base nos resultados de três anos de pesquisa, foi possível identificar três modelos de produção que permitiram maiores produtividades e geraram maiores lucros operacionais em relação à sucessão soja/milho 2ª safra, considerando as condições edafoclimáticas das regiões oeste e centro-oeste do Paraná: (i) a sucessão soja/milho 2ª safra consorciado com braquiária ruziziensis; (ii) soja/milho 2ª safra/aveia preta para cobertura do solo na 3ª safra, sendo a aveia utilizada a cada dois anos; (iii) soja/milho 2ª safra/trigo para produção de grãos na 3ª safra, sendo o trigo cultivado a cada dois anos. O modelo com milho 2ª safra consorciado com braquiária já está consolidado no meio produtivo. No entanto, os modelos com uso de aveia preta ou trigo

na 3ª safra se constituem em ativos tecnológicos (processos agropecuários) inovadores, pois aumentam a diversificação da matriz produtiva, a produção de fitomassa e a intensificação do uso da terra entre a colheita do milho 2ª safra e a semeadura da soja. A próxima etapa do desenvolvimento é validar esses resultados em escala comercial, em propriedades rurais, e iniciar os trabalhos de transferência de tecnologia nas regiões oeste e centro-oeste do Paraná. É importante mencionar que esses resultados podem ser validados em outras condições edafoclimáticas do país.

A rotação do milho 2ª safra, em cultivo solteiro ou consorciado à braquiária ruziziensis, com cereais de inverno como o trigo, representa uma alternativa para diversificar a matriz produtiva que proporciona redução dos custos de produção e aumento da produtividade da soja em relação ao modelo de sucessão tradicionalmente utilizado na região. Considerando a dificuldade prática de implantar o milho 2ª safra em toda a área da propriedade dentro da melhor época, o que reduz a produtividade desta cultura, é possível indicar a substituição do milho 2ª safra por trigo na área que a semeadura seja atrasada, aumentando assim o lucro operacional e reduzindo os riscos financeiros.

Em função das particularidades climáticas de cada safra, é relevante avaliar os modelos de produção alternativos à sucessão soja/milho 2ª safra em um maior número de anos, sobretudo considerando as frustações de safra de trigo nos três anos de experimentação decorrentes de geadas no florescimento.

Agradecimentos

À Embrapa, pelo financiamento do projeto DIVER\$IFIQUE+ - Diversificação da matriz produtiva na sucessão milho 2ª 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 faz parte;

Ao Centro de Pesquisas Agrícolas (CPA) da Copacol, pela implantação e condução do experimento de campo.

Referências

- ANP - AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. **Série histórica do levantamento de preços**. 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/precos-e-defesa-da-concorrenca/precos/precos-revenda-e-de-distribuicao-combustiveis/serie-historica-do-levantamento-de-precos>. Acesso em: 1 nov. 2023.
- BALBINOT JUNIOR, A. A.; COELHO, A. E.; SANGOI, L.; DEBIASI, H.; FRANCHINI, J. C. Soybean-maize off-season double cropping system as affected by maize intercropping with ruzigrass and nitrogen rate. **International Journal of Plant Production**, v. 17, p. 715-728, 2023.
- BALBINOT JUNIOR, A. A.; DEBIASI, H.; FRANCHINI, J. C.; OLIVEIRA, M. A. de; COELHO, A. E.; MORAES, M. T. de. Soybean yield, seed protein and oil concentration, and soil fertility affected by off-season crops. **European Journal of Agronomy**, v. 153, 127039, 2024. 11 p.
- BALBINOT JUNIOR, A. A.; FRANCHINI, J. C.; DEBIASI, H.; COELHO, A. E.; SAPUCAY, M. J. L. C.; BRATTI, F.; LOCATELLI, J. L. Performance of soybean grown in succession to black oat and wheat. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 55, e01654, 2020. 9 p.
- BALBINOT JUNIOR, A. A.; FRANCHINI, J. C.; DEBIASI, H.; YOKOYAMA, A.H. Contribution of roots and shoots of *Brachiaria* species to soybean performance in succession. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 52, p. 592-598, 2017.
- 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.
- BHERING, S. B.; SANTOS, H. G.; MANZATTO, C. V.; BOGNOLA, I. A.; FASOLO, P. J.; CARVALHO, A. P. de; POTTER, R. O.; CURCIO, G. R. **Mapa de solos do Estado do Paraná**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2007. 73 p. (Embrapa Solos. Documentos, 96).
- BORGES, W. L. B.; FREITAS, R. S.; MATEUS, G. P.; SÁ, M. E.; ALVES, M. C. Supressão de plantas daninhas utilizando plantas de cobertura do solo. **Planta Daninha**, v. 32, p. 755-763, 2014.
- CECCON, G. (ed.). **Consórcio milho-braquiária**. Brasília: Embrapa, 2013. 175 p.
- CECCON, G.; SACOMAN, A.; MATOSO, A. de; NUNES, D. P.; INOCENCIO, M. F. **Consórcio de milho safrinha com *Brachiaria ruziziensis* em lavouras comerciais de agricultores, em 2008**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2008. 29 p. (Embrapa Agropecuária Oeste. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 48).
- COELHO, A.; SANGOI, L.; SAPUCAY, M. J. L. C.; BRATTI, F.; DEBIASI, H.; FRANCHINI, J. C.; GARBELINI, L. G.; BALBINOT JUNIOR, A. A. Maize-ruzigrass intercropping, nitrogen fertilization and plant density improve the performance of soybean grown in succession. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 27, p. 764-771, 2023.
- CONAB. **Insumos agropecuários**. [2023c]. Disponível em: <https://consultaweb.conab.gov.br/consultas/consultaInsumo.do?method=acaoCarregarConsulta/>. Acesso em: 30 out. 2023.
- CONAB. **Preços agrícolas, da sociobio e pesca**. [2023b]. Disponível em: <https://sisdep.conab.gov.br/precosiagroweb/>. Acesso em: 30 out. 2023.

CONAB. **Séries históricas das safras**. [2023a]. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/serie-historica-das-safras>. Acesso em: 28 nov. 2023.

CORREIA, N. M.; LEITE, M. B.; FUZITA, W. E. Consórcio de milho com *Urochloa ruziziensis* e os efeitos na cultura da soja em rotação. **Biosciense Journal**, v. 29, p. 65-76, 2013.

DEBIASI, H.; FRANCHINI, J. C.; BALBINOT JUNIOR, A. A.; BETIOLI JUNIOR, E.; NUNES, E. da S.; FURLANETTO, R. H.; MENDES, M. R. P. **Alternativas para diversificação de sistemas de produção envolvendo a soja no norte do Paraná**. Londrina: Embrapa Soja, 2017. 55 p. (Embrapa Soja. Documentos, 398).

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.; SANTOS, E. L. dos; CECCATTO, S. el K.; BALBINOT JUNIOR, A. A.; CONTE, O.; NUNES, E. da S.; FURLANETTO, R. H. **Diagnóstico da qualidade do manejo e impacto de modelos de produção aprimorados sobre a fertilidade do solo nas regiões Norte e Noroeste do Paraná**. Londrina: Embrapa Soja, 2021. 69 p. (Embrapa Soja. Documentos, 441).

DEBIASI, H.; MONTEIRO, J. E. B. de A.; FRANCHINI, J. C.; FARIAS, J. R. B.; CONTE, O.; CUNHA, G. R. da; MORAES, M. T. de; BALBINOT JUNIOR, A. A.; SILVA, F. A. M. da; EVANGELISTA, B. A.; MARAFON, A. C. **Níveis de manejo do solo para avaliação de riscos climáticos na cultura da soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2022. 137 p. (Embrapa Soja. Documentos, 447).

DECHEN, S. C. F.; TELLES, T. S.; GUIMARÃES, M. de F.; DE MARIA, I. C. 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. In: REUNIÃO SULBRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO, 6., 2006, Passo Fundo. **Fertilidade em solo... (re)emergindo sistêmica**: resumos e palestras. Passo Fundo: Embrapa Trigo: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo - Núcleo Regional Sul, 2006. 8 p. 1 CD-ROM.

DERAL - DEPARTAMENTO DE ECONOMIA RURAL. **Estimativa de safra**. [2023]. Disponível em: <https://www.agricultura.pr.gov.br/system/files/publico/Safras/pss.xlsx>. Acesso em: 14 nov. 2023.

FERREIRA, D. F. SISVAR: um programa para análises e ensino de estatística. **Revista Symposium**, v. 6, p. 3641, 2008.

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).

FRANCHINI, J. C.; DEBIASI, H.; SACOMAN, A.; NEPOMUCENO, A. L.; FARIAS, J. R. B. **Manejo do solo para redução das perdas de produtividade pela seca**. Londrina: Embrapa Soja, 2009. 40 p. (Embrapa Soja. Documentos, 314).

FUENTES-LLANILLO, R.; TELLES, T. S.; VOLSI, B.; SOARES JUNIOR, D.; CARNEIRO, S. L.; GUIMARAES, M. F. Profitability of no-till grain production systems. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 39, p. 77-86, 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.; DEBIASI, H.; BALBINOT JUNIOR, A. A.; FRANCHINI, J. C.; COELHO, A. E.; TELLES, T. S. Diversified crop rotations increase the yield and economic efficiency of grain production systems. **European Journal of Agronomy**, v. 137, 126528, 2022. 13 p.

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.

GARCIA, R. A.; LI, Y.; ROSOLEM, C. A. Soil organic matter and physical attributes affected by crop rotation under no-till. **Soil Science Society of America Journal**, v. 77, p. 1724-1731, 2013.

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 - INSTITUTO ÁGUA E TERRA. **Folhas topográficas do estado do Paraná 1:50.000**. [2023]. Disponível em: <http://www.iat.pr.gov.br/Pagina/Dados-geoespaciais-de-referencia>. Acesso em: 13 nov. 2023.

IDR-PARANÁ - INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO RURAL DO PARANÁ - IAPAR/EMATER. **Médias históricas em estações do IDR-Paraná: Estação de Cascavel**. 2023a. Disponível em: <http://www.idrparana.pr.gov.br/system/files/publico/agrometeorologia/medias-historicas/Cascavel.pdf>. Acesso em: 7 nov. 2023.

IDR-PARANÁ - INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO RURAL DO PARANÁ - IAPAR/EMATER. **Médias históricas em estações do IDR-Paraná: Estação de Umuarama**. 2023b. Disponível em: <http://www.idrparana.pr.gov.br/system/files/publico/agrometeorologia/medias-historicas/Umuarama.pdf>. Acesso em: 7 nov. 2023.

INMET - INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Normais climatológicas do Brasil: Estação Meteorológica de Campo Mourão (1981-2010)**. 2023. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/normais>. Acesso em: 7 nov. 2023.

KAY, R. D.; EDWARDS, W. M.; DUFFY, P. A. **Farm management**. 8th ed. New York: McGraw-Hill Higher Education, 2015. 480 p.

KLUTHCOUSKI, J.; COBUCCI, T.; AIDAR, H.; YOKOYAMA, L. P.; OLIVEIRA, I. P. de; COSTA, J. L. da S.; SILVA, J. G. da; VILELA, L.; BARCELLOS, A. de O.; MAGNABOSCO, C. de U. **Sistema Santa Fé - Tecnologia Embrapa: integração lavoura-pecuária pelo consórcio de culturas anuais com forrageiras, em áreas de lavoura, nos sistemas direto e convencional**.

Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2000. 28 p. (Embrapa Arroz e Feijão. Circular Técnica, 38).

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.

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.; 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.

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.

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: 19 out. 2023.

PRANDO, M. B.; OLIBONE, D.; OLIBONE, A. P. E.; ROSOLEM, C. A. Infiltração de água no solo sob escarificação e rotação de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 693-700, 2010.

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.

ROSOLEM, C. A.; PIVETTA, L. A. Mechanical and biological approaches to alleviate soil compaction in tropical soils: assessed by root growth and activity (Rb uptake) of soybean and maize grown in rotation with cover crops. **Soil Use and Management**, v. 33, p. 141-152, 2017.

SANTOS, A. L. F. dos; MECI, I. A.; RIBEIRO, L. M.; FACHINELLI, R.; LEITE, E. M.; CECCON, G. Produtividade do milho safrinha em função de anos consecutivos de consórcio milho-braquiária. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 31., 2016, Bento Gonçalves. **Milho e sorgo: inovações, mercados e segurança alimentar: anais**. Sete Lagoas: Associação Brasileira de Milho e Sorgo, 2016.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBREAS, 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**. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 356 p.

SEAB - Secretaria da Agricultura e Abastecimento do Estado do Paraná. **Núcleos Regionais**. 2023. Disponível em: <https://www.agricultura.pr.gov.br/Pagina/Nucleos-Regionais>. Acesso em 10 nov. 2023.

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.

THORNTHWAITE, C. W. An approach towards a rational classification of climate. **Geographical review**, v. 38, n. 1, p. 55-94, 1948.

THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. **The water balance**. Centerton: Drexel Institute of Technology - Laboratory of Climatology, 1955. 104 p.(Publications in 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. 15 p.

WERNER, F.; BALBINOT JUNIOR, A. A.; FERREIRA, A. S.; OLIVEIRA JUNIOR, A. de; FRANCHINI, J. C.; DEBIASI, H.; COELHO, A. E.; SILVA, M. A. de A. Liberação de cálcio, magnésio e enxofre da palha de pastagem de braquiária para a soja em sistema de integração lavoura-pecuária. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 20, p. 41-52, 2021.

WERNER, F.; FERREIRA, A. S.; BALBINOT JUNIOR, A. A.; OLIVEIRA JUNIOR, A. de; FRANCHINI, J. C.; DEBIASI, H.; SILVA, M. A. de A. Nitrogen, phosphorus, and potassium released by decomposition of palisade grass to soybean in succession. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 55, e01853, 2020. 10 p.

YOKOYAMA, A.; RIBEIRO, R. H.; BALBINOT JR, 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.

ANEXO I. Valores de produtividade de grãos de soja utilizados para as análises econômicas, em função da safra e do modelo de produção avaliado.

Modelo de produção ⁽¹⁾	Produtividade de grãos da soja		
	2020/2021	2021/2022	2022/2023
	scs ha ⁻¹		
MP1	83,6	16,6	69,2
MP2	88,3	16,6	79,3
MP3	87,2	19,6	82,0
MP4	91,0	23,6	74,5
MP5	83,6	16,6	83,5
MP6	91,0	16,6	77,1
MP7	82,6	16,6	79,3
MP8	91,0	16,6	77,1

⁽¹⁾ Modelos de produção caracterizados na Tabela 3.

ANEXO II. Valores de produtividade de grãos de milho 2ª safra utilizados para as análises econômicas, em função da safra e do modelo de produção avaliado.

Modelo de produção ⁽¹⁾	Produtividade de grãos da soja		
	2020/2021	2021/2022	2022/2023
	scs ha ⁻¹		
MP1	121,3	61,6	136,1
MP4	111,5	61,6	136,1
MP5	121,3	69,2	140,4
MP6	121,3	Trigo	147,6
MP7	121,3	75,5	145,7
MP8	111,5	Trigo	136,1

⁽¹⁾ Modelos de produção caracterizados na Tabela 3.

ANEXO III. Memória de cálculo para estimativa da produtividade de grãos das culturas (sacas ha⁻¹) nas fases do ciclo do modelo de produção 5 (MP5) não contemplada no experimento de campo (área 2 – virtual, P_{A2}), nas safras 2021/2022 e 2022/2023.

Safr 2021/2022		Safr 2022/2023	
Soja após milho 2ª safra-trigo 3ª safra rotacionado com milho 2ª safra-pousio	Soja após milho 2ª safra-pousio rotacionado milho 2ª safra-trigo 3ª safra	Milho 2ª safra-pousio rotacionado com milho 2ª safra -trigo 3ª safra	
P_{MPR2} - Produtividade da soja após milho 2ª safra-pousio no MP1, 69,2	P_{MPR2} - Produtividade da soja após milho 2ª safra-pousio no MP1, 16,6	P_{MPR2} -Produtividade do milho 2ª safra no MP1, 2021/2022	61,6
P_{A1} - Produtividade da soja após milho 2ª safra-trigo 3ª safra rotacionado com milho 2ª safra-pousio no MP5, 83,5	P_{A1} - Produtividade da soja após milho 2ª safra-pousio no MP5, 2021/2022	P_{A1} - Produtividade do milho 2ª safra rotacionado com milho 2ª safra-trigo no MP5, 2021/2022	69,2
C_{aj} - Coeficiente de ajuste ($= \frac{P_{A1}}{P_{MPR2}}$) 1,206	C_{aj} - Coeficiente de ajuste ($= \frac{P_{A1}}{P_{MPR2}}$) 1,000	C_{aj} - Coeficiente de ajuste ($= \frac{P_{A1}}{P_{MPR2}}$)	1,124
P_{MPR1} - Produtividade da soja após milho 2ª safra-pousio no MP1, 16,6	P_{MPR1} - Produtividade da soja após milho 2ª safra-pousio no MP1, 2022/2023	P_{MPR1} - Produtividade do milho 2ª safra no MP1, safra 2022/2023	136,1
P_{A2} - Produtividade estimada da soja após milho 2ª safra-trigo 3ª safra rotacionado com milho 2ª safra-pousio, 2021/2022 ($= P_{MPR1} \times C_{aj}$)	P_{A2} - Produtividade estimada da soja após milho 2ª safra-pousio rotacionado com milho 2ª safra-trigo 3ª safra no MP5, safra, 2021/2022 ($= P_{MPR1} \times C_{aj}$)	P_{A2} - Produtividade estimada do milho 2ª safra rotacionado com milho 2ª safra-trigo 3ª safra no MP5, 2022/2023 ($= P_{MPR1} \times C_{aj}$)	153,0

Os parâmetros P_{MPR2} , P_{A1} , C_{aj} , P_{MPR1} e P_{A2} referem-se às equações (1) e (2).

ANEXO IV. Memória de cálculo para estimativa da produtividade de grãos das culturas (sacas ha⁻¹) nas fases do ciclo do modelo de produção 6 (MP6) não contemplada no experimento de campo (área 2 – virtual, P_{A2}), nas safras 2021/22 e 2022/2023.

Safr 2021/2022		Safr 2022/2023	
Soja após milho 2ª safra-aveia rotacionado com trigo		Soja após trigo rotacionado com milho 2ª safra-aveia	
P_{MPR2} - Produtividade da soja após milho 2ª safra-pousio no MP1, 2022/2023	69,2	P_{MPR2} - Produtividade do milho 2ª safra no MP1, 2022/2023	136,1
P_{A1} - Produtividade da soja após milho 2ª safra-aveia rotacionado com trigo no MP6, 2022/2023	77,1	P_{A1} - Produtividade do milho 2ª safra rotacionado com trigo no MP6, 2022/2023	147,6
C_{aj} - Coeficiente de ajuste ($= \frac{P_{A1}}{P_{MPR2}}$)	1,114	C_{aj} - Coeficiente de ajuste ($= \frac{P_{A1}}{P_{MPR2}}$)	1,084
P_{MPR1} - Produtividade da soja após milho 2ª safra-pousio no MP1, 2021/2022	16,6	P_{MPR1} - Produtividade do milho 2ª safra no MP1, 2021/2022	61,6
P_{A2} - Produtividade estimada da soja após milho 2ª safra-aveia rotacionado com trigo no MP6, 2021/2022 ($= P_{MPR1} \times C_{aj}$)	18,4	P_{A2} - Produtividade estimada do milho 2ª safra rotacionado com trigo no MP6, 2021/2022 ($= P_{MPR1} \times C_{aj}$)	66,8
		C_{aj} - Coeficiente de ajuste ($= \frac{P_{A1}}{P_{MPR2}}$)	$(= \frac{P_{A1}}{P_{MPR2}})$
		P_{MPR1} - Produtividade da soja após trigo no MP2, 2021/2022	79,3
		P_{A2} - Produtividade da soja após trigo rotacionado com milho 2ª safra-aveia no MP6, safra 2022/2023 ($= P_{MPR1} \times C_{aj}$)	79,3

Os parâmetros P_{MPR2} , P_{A1} , C_{aj} , P_{MPR1} e P_{A2} referem-se às equações (1) e (2).

ANEXO V. Memória de cálculo para estimativa da produtividade de grãos das culturas (sacas ha⁻¹) na fase do ciclo do modelo de produção (MP) 7 não contemplada no experimento de campo (área 2 – virtual, P_{A2}), nas safras 2021/22 e 2022/2023.

Safrsa 2021/2022		Safrsa 2022/2023	
Soja após milho 2ª safra-aveia rotacionado com milho 2ª safra-pousio	Soja após milho 2ª safra-pousio rotacionado com milho 2ª safra-aveia	Milho 2ª safra rotacionado com milho 2ª safra – aveia	
P _{M^{MPR2}} - Produtividade da soja após milho 2ª safra-pousio no MP1, 2022/2023	P _{M^{MPR2}} - Produtividade da soja após milho 2ª safra-pousio no MP1, 2021/2022	P _{M^{MPR2}} - Produtividade do milho 2ª safra no MP1, 2021/2022	61,6
P _{A1} - Produtividade da soja após milho 2ª safra-aveia rotacionado com milho 2ª safra-pousio no MP7, 2022/2023	P _{A1} - Produtividade da soja após milho 2ª safra-pousio rotacionado com milho 2ª safra-aveia no MP7, 2021/2022	P _{A1} - Produtividade do milho 2ª safra rotacionado com milho 2ª safra-aveia no MP7, 2021/2022	75,5
C _{aj} - Coeficiente de ajuste (= $\frac{P_{A1}}{P_{MPR2}}$)	C _{aj} - Coeficiente de ajuste (= $\frac{P_{A1}}{P_{MPR2}}$)	C _{aj} - Coeficiente de ajuste (= $\frac{P_{A1}}{P_{MPR2}}$)	1,226
P _{M^{MPR1}} - Produtividade da soja após milho 2ª safra-pousio no MP1, 2021/2022	P _{M^{MPR1}} - Produtividade da soja após milho 2ª safra-pousio no MP1, 2022/2023	P _{M^{MPR1}} - Produtividade do milho 2ª safra no MP1, safra 2022/2023	136,1
P _{A2} - Produtividade estimada da soja após milho 2ª safra-aveia rotacionado com milho 2ª safra-pousio no MP7, 2021/2022 (= P _{M^{MPR1}} x C _{aj})	P _{A2} - Produtividade estimada da soja após milho 2ª safra-pousio rotacionado com milho 2ª safra-aveia no MP7, 2021/2022 (= P _{M^{MPR1}} x C _{aj})	P _{A2} - Produtividade estimada do milho 2ª safra rotacionado com milho 2ª safra-aveia no MP7, 2022/2023 (= P _{M^{MPR1}} x C _{aj})	166,9

Os parâmetros P_{M^{MPR2}}, P_{A1}, C_{aj}, P_{M^{MPR1}} e P_{A2} referem-se às equações (1) e (2).

ANEXO VI. Memória de cálculo para estimativa da produtividade de grãos das culturas (sacas ha⁻¹) na fase do ciclo do modelo de produção (MP) 8 não contemplada no experimento de campo (área 2 – virtual, P_{A2}), nas safras 2021/22 e 2022/2023.

Safrá 2021/22		Safrá 2022/23	
Soja após milho 2 ^a safrá + braquiária rotacionado com trigo	Milho 2 ^a safrá + braquiária rotacionado com trigo	Soja após trigo rotacionado com milho 2 ^a safrá-aveia	
P_{MPR2} - Produtividade da soja após milho 2 ^a safrá + braquiária no MP4, 74,5	P_{MPR2} - Produtividade do milho 2 ^a safrá + braquiária no MP4, 2022/2023 136,1	P_{MPR2} - Produtividade da soja após trigo no MP2, 2021/2022 16,6	
P_{A1} - Produtividade da soja após milho 2 ^a safrá + braquiária rotacionado com trigo no MP8, 2022/2023 77,1	P_{A1} - Produtividade do milho 2 ^a safrá + braquiária rotacionado com trigo no MP8, 2022/2023 136,1	P_{A1} - Produtividade da soja após trigo rotacionado com milho 2 ^a safrá + braquiária no MP8, 2021/2022 16,6	
C_{aj} - Coeficiente de ajuste ($= \frac{P_{A1}}{P_{MPR2}}$) 1,114	C_{aj} - Coeficiente de ajuste ($= \frac{P_{A1}}{P_{MPR2}}$) 1,000	C_{aj} - Coeficiente de ajuste ($= \frac{P_{A1}}{P_{MPR2}}$) 1,000	
P_{MPR1} - Produtividade da soja após milho 2 ^a safrá + braquiária no MP4, 23,6	P_{MPR1} - Produtividade do milho 2 ^a safrá + braquiária no MP4, 2021/2022 61,6	P_{MPR1} - Produtividade da soja após trigo no MP2, 2021/2022 79,3	
P_{A2} - Produtividade estimada da soja após milho 2 ^a safrá + braquiária rotacionado com trigo no MP8, 2021/2022 ($= P_{MPR1} \times C_{aj}$) 24,4	P_{A2} - Produtividade estimada do milho 2 ^a safrá + braquiária rotacionado com trigo no MP8, 2021/2022 ($= P_{MPR1} \times C_{aj}$) 61,6	P_{A2} - Produtividade da soja após trigo rotacionado com milho 2 ^a safrá + braquiária no MP8, safrá 2022/2023 ($= P_{MPR1} \times C_{aj}$) 79,3	

Os parâmetros P_{MPR2} , P_{A1} , C_{aj} , P_{MPR1} e P_{A2} referem-se às equações (1) e (2).

Anexo VII. Produtividade e produção de grãos observada e estimada para fases do modelo de produção 5.

Área ⁽¹⁾	Período	Culturas	Produtividade (sacas ha ⁻¹)	Produção ⁽²⁾ (sacas)
2020/2021				
A1	Outono-inverno	Milho 2ª safra	121,3	60,6
		Trigo 3ª safra	62,8	31,4
	Primavera-verão	Soja	83,6	41,8
A2	Outono-inverno	Milho 2ª safra	121,3 ⁽⁴⁾	60,6
	Primavera-verão	Soja	83,6 ⁽⁴⁾	41,8
Modelo ⁽³⁾	Outono-inverno	Milho 2ª safra	121,3	121,3
		Trigo 3ª safra	62,8	31,4
	Primavera-verão	Soja	83,6	83,6
2021/2022				
A1	Outono-inverno	Milho 2ª safra	69,2	34,6
	Primavera-verão	Soja	16,6	8,3
A2	Outono-inverno	Milho 2ª safra	61,6 ⁽⁴⁾	30,8
	Primavera-verão	Trigo 3ª safra ⁽⁶⁾	0,0	0,0
Modelo	Outono-inverno	Milho 2ª safra	65,4	65,4
		Trigo 3ª safra	0,0	0,0
	Primavera-verão	Soja	18,3	18,3
2022/2023				
A1	Outono-inverno	Milho 2ª safra	140,4	70,2
		Trigo 3ª safra	52,1	26,1
	Primavera-verão	Soja	83,5	41,8
A2	Outono-inverno	Milho 2ª safra	153,0 ⁽⁵⁾	76,5
	Primavera-verão	Soja	69,2 ⁽⁵⁾	34,6
Modelo	Outono-inverno	Milho 2ª safra	146,7	146,7
		Trigo 3ª safra	52,1	26,1
	Primavera-verão	Soja	76,4	76,4

⁽¹⁾ O número de áreas corresponde ao número de safras de duração (fases) de cada ciclo do modelo de produção, que nesse caso são duas. As culturas e valores de produtividade e produção indicados na área 1 (A1) correspondem aos obtidos no respectivo tratamento do experimento de campo. Na área 2 (A2 – virtual), as culturas correspondem à fase do ciclo do modelo de produção não contemplada no experimento físico na respectiva safra, de forma que os valores de produtividade e produção são estimados ou extraídos dos tratamentos-testemunha (sucessões de culturas). ⁽²⁾ A produção em cada área e safra corresponde à produtividade dividida pelo número de safras de duração de cada ciclo (fase) do modelo de produção. Esse é o valor utilizado para cálculo da receita bruta (RB) ⁽³⁾ Em escala de modelo de produção, a produtividade de grãos reflete a média das áreas A1 e A2. Por sua vez, a produção corresponde à soma das produções calculadas em cada área e cultura. ⁽⁴⁾ Produtividade igual à obtida no modelo de produção (MP) 1, uma vez que a sequência de culturas preconizada na área 2 na safra em questão foi a mesma do MP1. ⁽⁵⁾ Produtividade estimada (P_{A2}) conforme equações (1) e (2) e Anexo III. ⁽⁶⁾ Perda total de produtividade por geadas, conforme observado no modelo de produção (MP) 2 na safra 2021/2022.

Anexo VIII. Produtividade e produção de grãos observada e estimada para fases do modelo de produção 6.

Área ⁽¹⁾	Período	Culturas	Produtividade (sacas ha ⁻¹)	Produção ⁽²⁾ (sacas)
2020/2021				
A1	Outono-inverno	Milho 2 ^a safra	121,3	60,6
		Aveia preta cobertura	0,0	0,0
	Primavera-verão	Soja	91,0	45,5
A2	Outono-inverno	Trigo	61,4 ⁽⁴⁾	30,7
		Soja	88,3 ⁽⁴⁾	44,2
Modelo ⁽³⁾	Outono-inverno	Milho 2 ^a safra	121,3	60,6
		Trigo	61,4	30,7
	Primavera-verão	Soja	89,7	89,7
2021/2022				
A1	Outono-inverno	Trigo ⁽⁶⁾	0,0	0,0
		Primavera-verão	Soja	16,6
A2	Outono-inverno	Milho 2 ^a safra	66,8 ⁽⁵⁾	33,4
		Aveia preta cobertura	0,0	0,0
	Primavera-verão	Soja	18,4 ⁽⁵⁾	9,2 ⁽⁵⁾
Modelo	Outono-inverno	Milho 2 ^a safra	66,8	33,4
		Trigo	0,0	0,0
	Primavera-verão	Soja	17,5	17,5
2022/2023				
A1	Outono-inverno	Milho 2 ^a safra	147,6	73,8
		Aveia preta cobertura	0,0	0,0
	Primavera-verão	Soja	77,1	38,6
A2	Outono-inverno	Trigo	61,0 ⁽⁴⁾	30,5
		Soja	79,3 ⁽⁵⁾	39,7
Modelo	Outono-inverno	Milho 2 ^a safra	147,6	73,8
		Trigo	61,0	30,5
	Primavera-verão	Soja	78,2	78,2

⁽¹⁾ O número de áreas corresponde ao número de safras de duração (fases) de cada ciclo do modelo de produção, que nesse caso são duas. As culturas e valores de produtividade e produção indicados na área 1 (A1) correspondem aos obtidos no respectivo tratamento do experimento de campo. Na área 2 (A2 – virtual), as culturas correspondem à fase do ciclo do modelo de produção não contemplada no experimento físico na respectiva safra, de forma que os valores de produtividade e produção são estimados ou extraídos dos tratamentos-testemunha (sucessões de culturas). ⁽²⁾ A produção em cada área e safra corresponde à produtividade dividida pelo número de safras de duração de cada ciclo do modelo de produção. Esse é o valor utilizado para cálculo da receita bruta (RB). ⁽³⁾ Em escala de modelo produção, a produtividade de grãos reflete a média das áreas A1 e A2. Por sua vez, a produção corresponde à soma das produções calculadas em cada área e cultura. ⁽⁴⁾ Produtividade igual à obtida no modelo de produção (MP) 2, uma vez que a sequência de culturas preconizada na área 2 na safra 2020/2021 foi a mesma do MP2. Na safra 2022/2023, a produtividade do trigo no MP2 foi novamente utilizada como referência para a área 2 no MP6 por se tratar do único tratamento a apresentar trigo cultivado em época normal na referida safra. ⁽⁵⁾ Produtividade estimada (PA_e) conforme equações (1) e (2) e Anexo IV. ⁽⁶⁾ Perda total de produtividade por geada.

Anexo IX. Produtividade e produção de grãos observada e estimada para fases do modelo de produção 7.

Área ⁽¹⁾	Período	Culturas	Produtividade (sacas ha ⁻¹)	Produção ⁽²⁾ (sacas)
2020/2021				
A1	Outono-inverno	Milho 2ª safra	121,3	60,6
		Aveia branca 3ª safra	45,5	22,8
	Primavera-verão	Soja	82,6	41,3
A2	Outono-inverno	Milho 2ª safra	121,3 ⁽⁴⁾	60,6
	Primavera-verão	Soja	83,6 ⁽⁴⁾	41,8
Modelo ⁽³⁾	Outono-inverno	Milho 2ª safra	121,3	121,3
		Aveia branca 3ª safra	45,5	22,8
	Primavera-verão	Soja	83,1	83,1
2021/2022				
A1	Outono-inverno	Milho 2ª safra	75,5	37,8
	Primavera-verão	Soja	16,6	8,3
A2	Outono-inverno	Milho 2ª safra	61,6 ⁽⁴⁾	30,8
		Aveia preta cobertura	0,0	0,0
	Primavera-verão	Soja	19,0 ⁽⁵⁾	9,5
Modelo	Outono-inverno	Milho 2ª safra	68,6	68,6
	Primavera-verão	Soja	17,8	17,8
2022/2023				
A1	Outono-inverno	Milho 2ª safra	145,7	72,8
		Aveia preta cobertura	0,0	0,0
	Primavera-verão	Soja	79,3	39,6
A2	Outono-inverno	Milho 2ª safra	166,9 ⁽⁵⁾	83,5
	Primavera-verão	Soja	69,2 ⁽⁵⁾	34,6
Modelo	Outono-inverno	Milho 2ª safra	156,3	156,3
	Primavera-verão	Soja	74,2	74,2

⁽¹⁾ O número de áreas corresponde ao número de safras de duração (fases) de cada ciclo do modelo de produção, que nesse caso são duas. As culturas e valores de produtividade e produção indicados na área 1 (A1) correspondem aos obtidos no respectivo tratamento do experimento de campo. Na área 2 (A2 – virtual), as culturas correspondem à fase do ciclo do modelo de produção não contemplada no experimento físico na respectiva safra, de forma que os valores de produtividade e produção são estimados ou extraídos dos tratamentos-testemunha (sucessões de culturas). ⁽²⁾ A produção em cada área e safra corresponde à produtividade dividida pelo número de safras de duração de cada ciclo do modelo de produção. Esse é o valor utilizado para cálculo da receita bruta (RB). ⁽³⁾ Em escala de modelo de produção, a produtividade de grãos reflete a média das áreas A1 e A2. Por sua vez, a produção corresponde à soma das produções calculadas em cada área e cultura. ⁽⁴⁾ Produtividade igual à obtida no modelo de produção (MP) 1, uma vez que a sequência de culturas preconizada na área 2 na safra em questão foi a mesma do MP1. ⁽⁵⁾ Produtividade estimada (P_{A2}) conforme equações (1) e (2) e Anexo V.

Anexo X. Produtividade e produção de grãos observada e estimada para fases do modelo de produção 8.

Área ⁽¹⁾	Período	Culturas	Produtividade (sacas ha ⁻¹)	Produção ⁽²⁾ (sacas)
2020/2021				
A1	Outono-inverno	Milho 2 ^a safra + braquiária	111,5	55,8
	Primavera-verão	Soja	91,0	45,5
A2	Outono-inverno	Trigo	61,4 ⁽⁴⁾	30,7
	Primavera-verão	Soja	88,3 ⁽⁴⁾	44,2
Modelo ⁽³⁾	Outono-inverno	Milho	111,5	55,8
		Trigo	61,4	45,5
	Primavera-verão	Soja	89,7	89,7
2021/2022				
A1	Outono-inverno	Trigo ⁽⁶⁾	0,0	0,0
	Primavera-verão	Soja	16,6	8,3
A2	Outono-inverno	Milho + braquiária	61,6 ⁽⁵⁾	30,8
	Primavera-verão	Soja	24,4 ⁽⁵⁾	12,2
Modelo	Outono-inverno	Milho	61,6	30,8
		Trigo	0,0	0,0
	Primavera-verão	Soja	20,5	20,5
2022/2023				
A1	Outono-inverno	Milho + braquiária	136,1	68,0
	Primavera-verão	Soja	77,1	38,6
A2	Outono-inverno	Trigo	61,0 ⁽⁴⁾	30,5
	Primavera-verão	Soja	79,3 ⁽⁵⁾	39,6
Modelo	Outono-inverno	Milho	136,1	68,0
		Trigo	61,0	30,5
	Primavera-verão	Soja	78,2	78,2

⁽¹⁾ O número de áreas corresponde ao número de safras de duração (fases) de cada ciclo do modelo de produção, que nesse caso são duas. As culturas e valores de produtividade e produção indicados na área 1 (A1) correspondem aos obtidos no respectivo tratamento do experimento de campo. Na área 2 (A2 – virtual), as culturas correspondem à fase do ciclo do modelo de produção não contemplada no experimento físico na respectiva safra, de forma que os valores de produtividade e produção são estimados ou extraídos dos tratamentos-testemunha (sucessões de culturas). ⁽²⁾ A produção em cada área e safra corresponde à produtividade dividida pelo número de safras de duração de cada ciclo do modelo de produção. Esse é o valor utilizado para cálculo da receita bruta (RB). ⁽³⁾ Em escala de modelo de produção, a produtividade de grãos reflete a média das áreas A1 e A2. Por sua vez, a produção corresponde à soma das produções calculadas em cada área e cultura. ⁽⁴⁾ Produtividade igual à obtida no modelo de produção (MP) 2, uma vez que a sequência de culturas preconizada na área 2 na 2020/2021 foi a mesma do MP2. Na safra 2022/2023, a produtividade do trigo no MP2 foi novamente utilizada como referência para a área 2 no MP8 por se tratar do único tratamento a apresentar trigo cultivado em época normal na referida safra. ⁽⁵⁾ Produtividade estimada (P_{A2}) conforme equações (1) e (2) e Anexo VI. ⁽⁶⁾ Perda total de produtividade por geada.

Embrapa

Soja