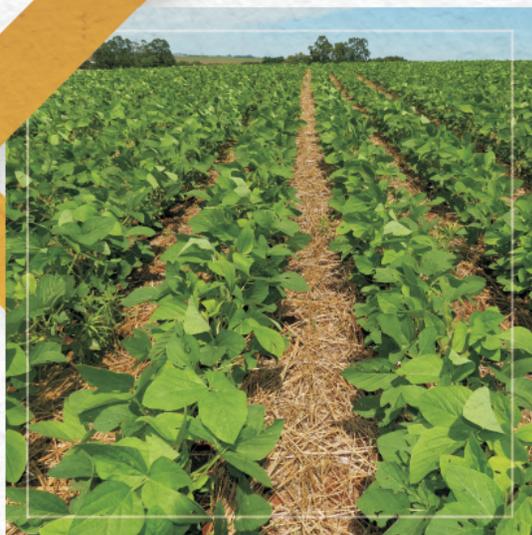


Fonte:

<https://plantiodireto.com.br/livro-sistema-plantio-direto>

SISTEMA
**PLANTIO
DIRETO**
NO BRASIL



Aldeia Norte
Editora

SISTEMA PLANTIO DIRETO NO BRASIL

Esta obra foi viabilizada com apoio:



ALDEIA NORTE EDITORA
Rua Fagundes dos Reis, 908, 302
99010-070 - Passo Fundo - RS
(54) 9 9629-5396
editora@plantiodireto.com.br

Fotos da capa: Acervo Dirceu Gassen

OBRA DESTINADA A DISTRIBUIÇÃO GRATUITA. PROIBIDA A COMERCIALIZAÇÃO

Todos os direitos reservados.

É permitida a reprodução parcial com autorização expressa da Editora Aldeia Norte e desde que citada a fonte.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)

Sistema plantio direto no Brasil [livro eletrônico]. – 1. ed. – Passo Fundo, RS :
Aldeia Norte Editora, 2022.
PDF.

Vários autores.
ISBN 978-65-87818-01-6

1. Adubação 2. Agricultura 3. Fertilidade do solo 4. Plantio (Agricultura)
5. Pragas e insetos - Controle biológico 6. Solo - Uso agrícola.

22-136730

CDD-630

Índices para catálogo sistemático:

1. Agricultura 630

Aline Grazielle Benitez - Bibliotecária - CRB-1/3129

A SLC Agrícola faz **mais** pelo

AGRO

com **eficiência** e **sustentabilidade**

Confira algumas de nossas iniciativas:

- Técnicas agrícolas sustentáveis e com menos emissões de GEE.
- Utilização de cobertura verde com plantio direto, rotação de culturas e uso de defensivos biológicos.
- Programa de Conservação do Solo e Adubação Verde.
- Aprimoramento das estimativas de emissões e de captura de carbono.
- Programa de Agricultura Digital e de Baixo Carbono.
- Agricultura certificada nas unidades de negócio.
- Integração Lavoura-Pecuária para a fixação de carbono no solo.

Acesse o QR Code e
conheça todas as iniciativas
da **SLC Agrícola** no
Relatório Integrado 2021.



SISTEMA PLANTIO DIRETO NO BRASIL



**Aldeia Norte
Editora**

Passo Fundo, 2022

DEDICATÓRIA

Este trabalho é dedicado *in memoriam* a:

Dirceu Neri Gassen
Fernando Penteado Cardoso
Gilberto de Oliveira Borges
Herbert Bartz
Manoel Henrique Pereira

Embora não estejam mais presentes, o trabalho deles foi de suma importância para o desenvolvimento e difusão do Sistema Plantio Direto no Brasil e no mundo. Se hoje estamos mais próximos de uma agricultura realmente sustentável, a essas pessoas devemos o agradecimento.

SUMÁRIO

13 CAPÍTULO 1
Manejo do carbono como componente chave do Sistema Plantio Direto
Dr. João Carlos de Moraes Sá, Dr. Clever Briedis e Dr. Ademir de Oliveira Ferreira

53 CAPÍTULO 2
Fertilidade do Solo e Manejo da Acidez e da Adubação em Sistema Plantio Direto
Dr. Pedro Alexandre Varella Escosteguy, Dr. Leandro Souza da Silva,
Dr. Álvaro Vilela de Resende e Me. Sandra Mara Vieira Fontoura

92 CAPÍTULO 3
Mecanização e Novas Tecnologias em Plantio Direto
Dr. André Luiz Johann e Dr. Ruy Casão Junior

107 CAPÍTULO 4
Manejo de Plantas Daninhas em Sistema Plantio Direto
Dr. Dirceu Agostinetto, Dr. André R. Ulguim e Dr. Leandro Vargas

119 CAPÍTULO 5
Manejo de Doenças em Sistema Plantio Direto
Dr. Rafael Moreira Soares, Dr. Henrique Debiasi,
Dr. Maurício Conrado Meyer e Dr. Murillo Lobo Junior

144 CAPÍTULO 6
Manejo de Pragas em Plantio Direto
Dr. José Roberto Salvadori, Dr. Crébio José Ávila, Dra. Lúcia Madalena Vivan,
Dr. Marco Antonio Tamai e Dr. Rodolfo Bianco

174 CAPÍTULO 7
Sistemas de produção de lavouras extensivas em Plantio Direto: cereais de inverno
Dr. João Leonardo Fernandes Pires e Dr. Gilberto Rocca da Cunha

- 195 **CAPÍTULO 8**
Arroz Irrigado em Plantio Direto
Dr. Enio Marchesan, Dr. Ibanor Anghinoni e Dr. Paulo Regis Ferreira da Silva
- 205 **CAPÍTULO 9**
**Sistema Plantio Direto de Hortaliças (SPDH):
Experiências em Santa Catarina**
Eng. Agr. Marcelo Zanella, MSc. Darlan Rodrigo Marchesi e MSc. Leandro do Prado Wildner
- 218 **CAPÍTULO 10**
**Sistema Produtivo do Café em Plantio Direto/
Cultivo mínimo/Conservacionista**
Dr. Kleso Silva Franco Júnior, Dr. Ademir Calegari e Dr. Márcio de Souza Dias
- 245 **CAPÍTULO 11**
Sistemas Integrados de Produção Agropecuária em Plantio Direto
Dr. Renato Serena Fontaneli, Dr. Roberto Serena Fontaneli e Me. Francine Talia Panisson
- 259 **CAPÍTULO 12**
**Sistemas de produção de lavouras extensivas em plantio direto:
Algodão, a experiência do Oeste da Bahia**
Eng. Agr. Celito Eduardo Breda, Dr. Alexandre Cunha de Barcellos Ferreira
e Dr. Fabiano Jose Perina
- 279 **CAPÍTULO 13**
Plantio direto no Sertão Semiárido Nordestino
Eng. Agr. Marcos Roberto da Silva e Dra. Jamile Maria da Silva dos Santos

AUTORES

Ademir Calegari

DSc. Pesquisador Sênior, IAPAR/PR. E-mail: ademircalegari@bol.com.br.

Ademir de Oliveira Ferreira

Professor adjunto, Departamento de Agronomia, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, PE. E-mail: ademir.oliveirafferreira@ufrpe.br.

Alexandre Cunha de Barcellos Ferreira

Engenheiro Agrônomo; D. Sc Fitotecnia, Embrapa Algodão, Campina Grande/PB.
E-mail: alexandre-cunha.ferreira@embrapa.br.

Álvaro Vilela de Resende

Pesquisador, Embrapa Milho e Sorgo, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Sete Lagoas/MG. E-mail: alvaro.resende@embrapa.br.

André Luiz Johann

Engenheiro Agrícola (FEAGRI/UNICAMP), MSc Engenharia Agrícola (FEAGRI/UNICAMP), Dr. Engenharia Elétrica (FEE/USP). E-mail: johann.andreluiz@gmail.com.

André R. Ulguim

Professor, Doutor, Faculdade de Agronomia da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria, RS.
E-mail: andre.ulguim@ufsm.br.

Celito Eduardo Breda

Engenheiro Agrônomo - Círculo Verde Consultoria e Pesquisa Agrícola. E-mail: celitobreda@uol.com.br.

Clever Briedis

Professor, Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Agronomia, Viçosa-MG. E-mail: clever.briedis@ufv.br.

Crébio José Ávila

Engenheiro Agrônomo, Dr. em Entomologia, pesquisador Embrapa Agropecuária Oeste. E-mail: crebio.avila@embrapa.br.

Darlan Rodrigo Marchesi

Eng. Agr., MSc. Fitotecnia, Extensionista Rural, Epagri/Florianópolis. E-mail: darlan@epagri.sc.gov.br.

Dirceu Agostinetto

Professor, Doutor, Departamento de Fitossanidade da Faculdade de Agronomia da Universidade Federal de Pelotas (UFPEL). Pelotas. RS. E-mail: aagostinetto.d@gmail.com.

Enio Marchesan

Eng. Agr. Prof. Dr. Professor Titular, Departamento de Fitotecnia/CCR da Universidade Federal de Santa Maria.

E-mail: eniomarchesan@gmail.com.

Fabiano Jose Perina

Engenheiro Agrônomo; D. Sc Fitopatologia - Embrapa Algodão. E-mail: fabiano.perina@embrapa.br.

Francine Talia Panisson

Engenheira Agrônoma, Mestre em Agronomia. E-mail: francinetalia@hotmail.com.

Gilberto Rocca da Cunha

Engenheiro-agrônomo, Dr., Pesquisador da Embrapa Trigo, Agrometeorologia. E-mail: gilberto.cunha@embrapa.br.

Henrique Debiasi

Engenheiro Agrônomo, Mestre em Engenharia Agrícola e Doutor em Ciências do Solo. Pesquisador da Embrapa Soja.

E-mail: henrique.debiasi@embrapa.br.

Ibanor Anghinoni

Eng. Agr. Prof. PhD. Professor Aposentado da UFRGS, Departamento de Solos, Consultor Técnico do IRGA.

Email: ibanghi@gmail.com.

Jamile Maria da Silva dos Santos

Engenheira Agrônoma. Doutora em Ciências Agrárias. Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos - Bahia.

E-mail: jmariasantos7@gmail.com.

João Carlos de Moraes Sá

Professor sênior aposentado (UEPG), Presidente da Comissão Técnico Científica da Federação Brasileira do Sistema Plantio Direto; Bolsista de produtividade em pesquisa, nível 1D - CNPq.

E-mail: jcmoraessa@yahoo.com.br.

João Leonardo Fernandes Pires

Engenheiro-agrônomo, Dr., Pesquisador da Embrapa Trigo, Sistemas de Produção. E-mail: joao.pires@embrapa.br.

José Roberto Salvadori

EngenheiroAgrônomo, Dr. em Entomologia, pesquisador/professor aposentado Embrapa Trigo/Universidade de Passo Fundo. E-mail: salvadori@upf.br.

Kleso Silva Franco Júnior

DSc. Coordenador Técnico Regional – EMATER MG Alfenas/Professor – Centro Superior de Ensino e Pesquisa de Machado MG. E-mail: kleso.jr@gmail.com.

Leandro do Prado Wildner

Eng. Agr., MSc. Agronomia. E-mail: lpwild@epagri.sc.gov.br.

Leandro Souza da Silva

Professor, Departamento de Solos, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria/RS. E-mail: leandrosolos@ufsm.br.

Leandro Vargas

Doutor, Pesquisador da Área de Plantas Daninhas na Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS.

E-mail: leandro.vargas@embrapa.br

Lúcia Madalena Vivan

Engenheira Agrônoma, Dra. em Entomologia, pesquisadora Fundação MT. E-mail: luciavivan@fundacaomt.com.br.

Marcelo Zanella

Eng. Agr., Extensionista Rural Epagri/Florianópolis. E-mail: marcelozanella@epagri.sc.gov.br.

Márcio de Souza Dias

DSc. Professor – Secretaria de Educação de Minas Gerais – Serrania/MG. E-mail: marciosouzadias2013@gmail.com.

Marco Antonio Tamai

Engenheiro Agrônomo, Doutor em Entomologia, Professor/Pesquisador Universidade do Estado da Bahia.

E-mail: mtamai@uneb.br.

Marcos Roberto da Silva

Engenheiro Agrônomo, Doutor, Professor Associado – Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas Universidade Federal do Recôncavo da Bahia. Email: mrsilva@ufrb.edu.br.

Maurício Conrado Meyer

Engenheiro Agrônomo, Mestre em Fitopatologia e Doutor em Agronomia. Pesquisador da Embrapa Soja.

E-mail: maurício.meyer@embrapa.br.

Murillo Lobo Junior

Engenheiro Agrônomo, Mestre em Fitossanidade e Doutor em Fitopatologia. Pesquisador na Embrapa Arroz e Feijão.

E-mail: murillo.lobo@embrapa.br.

Paulo Regis Ferreira da Silva

Eng. Agr. Prof. PhD. Professor Aposentado, Departamento de Plantas de Lavoura da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS); Consultor Técnico do Instituto Rio Grandense do Arroz (IRGA). E-mail: paulo.silva@ufrgs.br.

Pedro Alexandre Varella Escosteguy

Professor, Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo/RS.
E-mail: escosteguy@upf.br.

Rafael Moreira Soares

Engenheiro Agrônomo, Mestre e Doutor em Agronomia na área de Proteção de Plantas. Pesquisador da Embrapa Soja.
E-mail: rafael.soares@embrapa.br.

Renato Serena Fontaneli

Engenheiro Agrônomo – Embrapa/UPF. E-mail: renato.fontaneli@embrapa.br.

Roberto Serena Fontaneli

Engenheiro Agrônomo – UERGS. E-mail: roberto-fontaneli@uergs.edu.br.

Rodolfo Bianco

Engenheiro Agrônomo, Dr. em Entomologia, pesquisador IDR-Paraná. E-mail: rbianco@idr.pr.gov.br.

Ruy Casão Junior

Engenheiro Agrônomo (UNESP Jaboticabal), MSc Engenharia Agrícola (FEAGRI/UNICAMP), Dr. Projeto Mecânico (FEM/UNICAMP). E-mail: ruycasaojr@gmail.com.

Sandra Mara Vieira Fontoura

Engenheira Agrônoma, Mestre em Ciências do Solo, Pesquisadora, Fundação Agrária de Pesquisa Agropecuária, Guarapuava/PR. E-mail: sandrav@agraria.com.br.

NOTA DO EDITOR

O livro “Sistema Plantio Direto no Brasil” foi organizado com a ideia de reunir diversos tópicos relacionados a grandes temas que são Sistema Plantio Direto e a Agricultura Conservacionista, na forma de uma única obra atualizada, que reunisse uma parte considerável do conhecimento gerado e cristalizado pela pesquisa brasileira, assistentes técnicos, empresas, agricultores, e todas as pessoas e organizações que participaram da construção de uma agricultura mais sustentável nos últimos 50 anos.

A obra tem teor técnico-científico, que certamente servirá como referência por muitos anos a todos os praticantes e estudiosos da agricultura de conservação. O leitor poderá encontrar conhecimento referente aos fundamentos do sistema, como o funcionamento da dinâmica do carbono e matéria orgânica do solo, fertilidade, adubação e correção do solo, princípios do manejo de pragas, doenças e plantas daninhas em Plantio Direto, entre outros, além de capítulos sobre diferentes sistemas produtivos, em diferentes climas, relevos e solos.

Naturalmente, por ser um tema com mais de 50 anos de pesquisas e experiências, e em virtude de questões operacionais, alguns tópicos não foram incluídos nessa primeira edição. Mas isso, não retira a força e importância da obra, como o leitor poderá observar nas mais quase 300 páginas de conteúdo técnico-científico, elaborados ao longo de dois anos pelo conjunto de pesquisadores, professores e consultores que são, inquestionavelmente, parte da elite da pesquisa agropecuária brasileira.

Considerando a era em que vivemos, dominada pela tecnologia digital e pela ampla distribuição e rapidez dos meios de comunicação, escolhemos o formato digital (e-book) para facilitar e ampliar a distribuição que será gratuita. Dessa forma, o conhecimento contemplado no livro chegará mais facilmente às diversas regiões do Brasil, e também poderá transpor fronteiras e encontrar aqueles que necessitam aprender sobre Plantio Direto nos mais diversos locais do mundo.

Manejo do carbono como componente chave do Sistema Plantio Direto

Dr. João Carlos de Moraes Sá, Dr. Clever Briedis e Dr. Ademir de Oliveira Ferreira

1. Introdução

A expansão do Plantio Direto e os obstáculos superados.

A experiência realizada pelo agricultor Herbert Bartz em Rolândia-PR no verão de 1972, com o plantio de soja sobre a palhada de trigo e posteriormente pelos agricultores pioneiros da região dos Campos Gerais do PR (Manoel Henrique Pereira e Franke Dijkstra) foram o ponto de partida para a adoção, expansão e consolidação do plantio direto no país promovendo uma revolução na agricultura brasileira (Figura 1).

Na primeira década (1972 a 1982) o foco inicial foi o controle da erosão, a implementação de plantas para cobertura do solo, a adaptação de máquinas para o plantio e o controle de plantas daninhas. Adicionalmente, a criação dos Clubes Amigos da Terra e o engajamento de Instituições de pesquisa impulsionaram o desenvolvimento desse sistema de manejo do solo. Na segunda década (1982 a 1992) os principais desafios foram a adoção da rotação de cultivos, as estratégias para o manejo da fertilidade do solo com ênfase na calagem e a comparação do custo das lavouras usando o preparo do solo com os campos em plantio direto. Na terceira década (1992 a 2002) ocorreu um salto na área em plantio direto, com o engajamento da assistência técnica intensificando o treinamento dos produtores e promovendo a discussão da qualidade do sistema resultando numa expansão linear. Na quarta e quinta década, a inovação tecnológica, o desenvolvimento de sistemas integrados de produção e o enfoque ambiental deram corpo a discussão sobre o quanto esse sistema poderia sequestrar carbono (C), qual a sua contribuição na mitigação dos gases de efeito estufa e como remunerar

os serviços ambientais gerados pela adoção do plantio direto. Além disso, tem sido intensa a preocupação com a aplicação dos princípios básicos que caracterizam e regem o Sistema Plantio Direto (SPD) tais como: a) ausência de revolvimento, exceto na linha de semeadura; b) manutenção da cobertura permanente do solo e, c) diversificação na rotação de cultivos, que constituem os pilares do SPD. Nesses 50 anos, o plantio direto tendo como referência a superfície de 36 Mha atingida em 2020 (contabilizados a produção de grãos, sem a área com sistemas integrados e cana de açúcar (totaliza 44 Mha), Fuentes-Llanillo et al. (2021) deixa um legado extraordinário: evitou a perda 7,1 a 21,2 bilhões de toneladas de solo por erosão preservando 2,84 a 8,48 milhões de hectares. Um marco histórico!



Figura 1. Evolução da área (Mha = milhões de ha) em plantio direto na produção de grãos no Brasil entre 1972 e 2021. Taxa de expansão do SPD em Mha em cada década. Fonte: Adaptado de Sá e De Oliveira Ferreira, 2018.

2. O carbono como componente chave no controle dos atributos físicos, químicos e biológicos

O C do solo controla a magnitude e a interação de processos-chave no ambiente, e o seu decréscimo, devido à oxidação em decorrência do uso contínuo de preparo do solo, afeta a funcionalidade e a expressão dos atributos físicos, químicos e biológicos, conduzindo o solo à degradação (Figura 2).

O C atua como o precursor de processos que controlam os atributos do solo e a sua perda afeta diretamente os atributos físicos: a) reduz a agregação, porque o C é o principal agente de cimentação pelo fato dos compostos orgânicos possuírem cargas negativas e formarem ligações com as cargas positivas dos óxidos de Fe e Al e das argilas; b) as cargas negativas dos radicais carboxila formam pontes com o Ca^{2+} devido ao aumento da sua concentração pela calagem e gessagem; c) ocorre o aumento da densidade do solo devido a desagregação e dispersão das partículas de argila resultando no aumento da força de coesão entre as partículas de argila com a ação do Fe e Al; d) diminui a quantidade e o tamanho de macroporos em decorrência da diminuição da porcentagem de macroagregados que estão diretamente relacionados com a

macroporosidade; e) reduz a infiltração de água no solo e aumenta a resistência à penetração das raízes. Em consequência, a perda de C no solo limita o desenvolvimento radicular das plantas, a quantidade de água a ser armazenada e a absorção de ar, água e nutrientes pelas raízes das plantas. Um composto orgânico (ex. hidrocarboneto) tem a capacidade de expandir o seu volume com moléculas de H₂O formando as pontes de hidrogênio em 20 vezes, ou seja, a adição C e o seu acúmulo no solo é o principal caminho para aumentar a capacidade do solo em armazenar água.

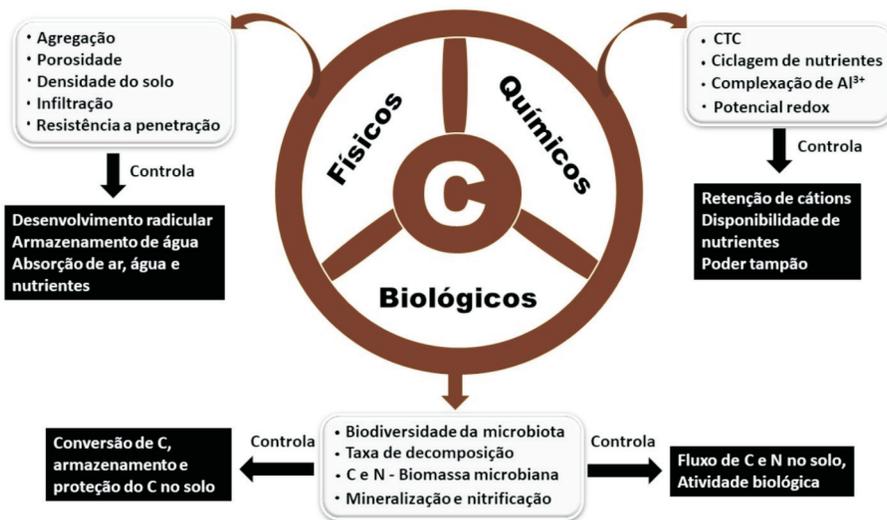


Figura 2. O C (no centro do círculo) como agente de controle dos atributos físicos, químicos e biológicos do solo. Fonte: Sá, JCM., 2022 (desenho esquemático não publicado)

Adicionalmente, a redução do conteúdo de C no solo afeta os atributos químicos porque reduz a CTC, cuja contribuição da MOS na formação das cargas negativas é de 70 a 90%, e diretamente responsável pela retenção de Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺ e outros cátions, além de reduzir a ciclagem de nutrientes e a complexação de Al³⁺. O impacto no compartimento biológico do solo é expressivo, porque diminui sensivelmente a biodiversidade da microbiota, o conteúdo de C e N microbiano, a diversidade da meso e da macrofauna, além de reduzir a taxa de decomposição, mineralização e nitrificação. A estabilidade dos solos intemperizados de regiões subtropicais e tropicais no Brasil está diretamente associado ao C orgânico (Figura 3).

Em solos ácidos da região tropical e subtropical o pH no ponto de carga zero (valor do pH onde ocorre o equilíbrio entre cargas positivas e negativas) varia entre 7,6 a 8,3. A formação de cargas negativas em solos oxidicos ocorre através da variação do pH e a estabilização do C nos solos oxidicos dá-se com resultado formação de complexos argila-humus com as substancias húmicas e as cargas positiva oriundas da variação do pH. A estabilização da matéria orgânica do solo (MOS) nesses solos ácidos ocorre através de ligações entre os radicais carboxila e as cargas positivas dos óxidos de Fe e Al e de argilas do tipo 1:1 (ex. Caulinita), formando uma espécie de filme ao redor da partícula gerando cargas negativas (Figura 3a). Por outro lado, em solos com correção da acidez através da calagem, elevando o conteúdo de Ca, a ligação dos radicais

carboxila com as argilas ocorre através do Ca^{2+} formando pontes catiônicas entre a superfície de carga negativa da argila e a superfície do composto orgânico (Figura 3b).

A distribuição do C no perfil do solo diminui conforme aumenta a profundidade no perfil e o conteúdo de C está diretamente relacionado ao conteúdo de argila. Quanto mais argiloso é o solo maior será o conteúdo de C (Figura 4).

Estabilização do C em solos e intemperizados com argila 1:1 (caulinita) e Óxidos de Fe e Al



Estabilização do C através da ponte catiônica (Ca^{2+}) em solos corrigidos pela calagem

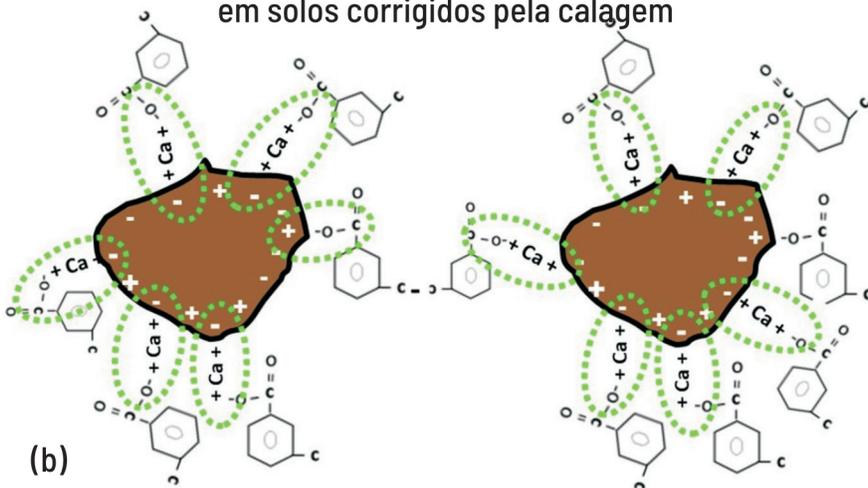


Figura 3. Estabilização do C associados aos minerais de argila e/ou óxidos de Fe e Al em solos ácidos (a); o cálcio (Ca^{2+}) como principal ponte catiônica na ligação com as cargas negativas das argilas (b). Fonte: Esquema proposto por Sá, JCM (não publicado).

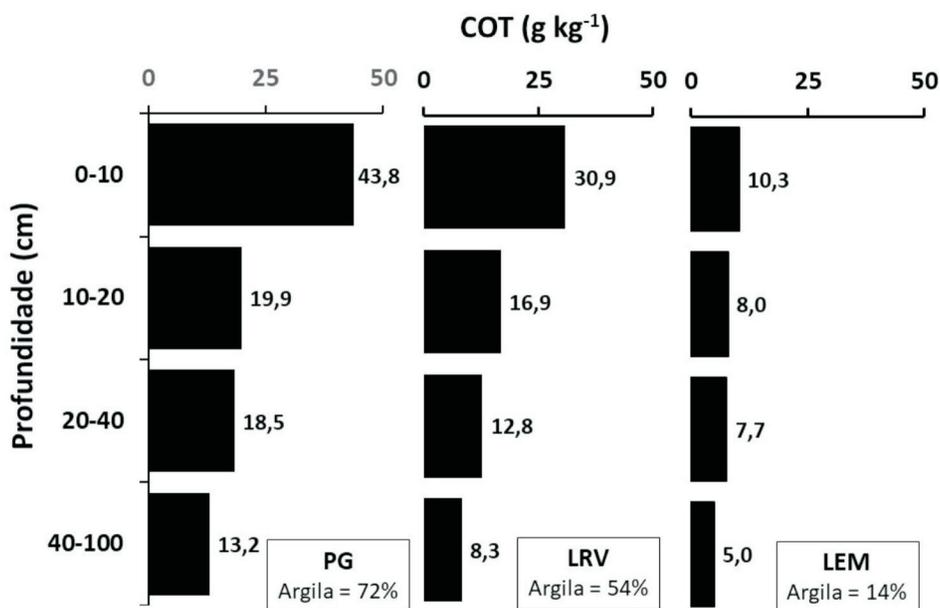


Figura 4. Distribuição do C em um Latossolo muito argiloso (72% de argila) em Ponta Grossa-PR, argiloso (54%) em Lucas do Rio Verde-MT e em um Neossolo (14% de argila) em Luiz Eduardo Magalhaes-BA.

O conteúdo ideal de C no solo é aquele encontrado sob vegetação nativa e relacionado a sua textura e será a referência para a comparação com as áreas agrícolas. Portanto, uma amostra coletada em área agrícola na mesma classe de solo e com a mesma textura ao ser comparada com a referência nos mostra o quanto próximo ou distante estaremos do conteúdo de referência. Outro ponto importante é saber a porcentagem do estoque de C.

A amostragem do solo estratificada até a camada de 100 cm mostra a importância do acúmulo de C nas camadas entre 40 e 100 cm (Tabela 1). Na camada de 0-40 cm para os Latossolos a % do estoque de C variou de 52,2 (textura média) a 58,6% (textura muito argilosa) e para os Cambissolos variou de 50,4 (textura muito argilosa) a 63,7% (textura média). Pode se afirmar que em média 55% do estoque de C situa-se na camada de 0-40 e 45% na camada de 40-100cm. Entretanto o maior déficit de C está nessa camada de 40-100. Conforme reportado por Briedis et al., (2016) a camada de 40-100 cm tem capacidade de armazenar três vezes mais C do que a camada de 0-40 cm. Os desafios para aumentar C em profundidade estão relacionados com a maior saturação de Al e a carência de Ca como principais obstáculos a serem superados.

A severidade das perdas de C na forma de CO₂ devido à oxidação da MOS pelo preparo do solo associado à monocultura será maior em ambientes sob clima tropical e pode ser 5 a 10 vezes superior às regiões sob clima temperado (Figura 5).

Tabela 1. Estoque de carbono em Latossolos e Cambissolos (média de 27 perfis amostrados em casa classe de solo) nas classes texturais muito argilosa, argilosa e média sob vegetação nativa (VN) e com mais de 20 anos no sistema plantio direto (SPD-20).

Classe de solo	Classe textural	Camada do solo cm	Tipo de uso do solo			
			VN		SPD - 20	
			----- Mg C ha ⁻¹ -----		----- % C -----	
Latossolos‡	Muito argilosa	0-40	122,8	119,2	58,6	57,2
		40-100	86,6	89,0	41,4	42,7
		0-100	209,4	208,3		
	Argilosa	0-40	111,0	98,6	53,6	58,2
		40-100	95,9	70,7	46,3	41,8
		0-100	207,0	169,3		
	Média	0-40	58,9	57,3	52,2	52,5
		40-100	53,8	51,9	47,7	47,5
		0-100	112,8	109,2		
Cambissolos‡	Muito argilosa	0-40	135,7	116,0	50,4	60,7
		40-100	133,8	75,2	49,6	39,3
		0-100	269,5	191,2		
	Argilosa	0-40	93,2	90,0	56,3	56,3
		40-100	72,2	70,0	43,7	43,8
		0-100	165,4	160,0		
	Média	0-40	96,2	74,0	63,7	54,3
		40-100	54,9	62,2	36,3	45,7
		0-100	151,1	136,2		

‡ Os resultados de Latossolos e Cambissolos referem-se a média de 27 perfis de cada classe de solo para as camadas de 0-40 e 40-100 cm.
Fonte: Adaptado de Sá et al., 2013

A contribuição da matéria orgânica do solo (MOS) na formação das cargas negativas que compõem a CTC varia de 70 a 90% (Tabela 2) e foram reportadas há décadas em solos da região Sul, Sudeste e Centro-Oeste.

Esses resultados reforçam que a construção da fertilidade química do solo está diretamente associada ao manejo da MOS, ou seja, a dinâmica do C está estreitamente relacionada à implantação de sistemas de produção com base no aporte de C para garantir a recuperação da MOS e a qualidade do solo.

A relação linear entre o C e a CTC ressalta que o manejo do C em solos intemperizados das regiões subtropicais e tropicais é fundamental para garantir a melhor performance dos cultivos quanto a demanda de nutrientes como o Ca, Mg, e K diretamente ligados ao complexo de troca.

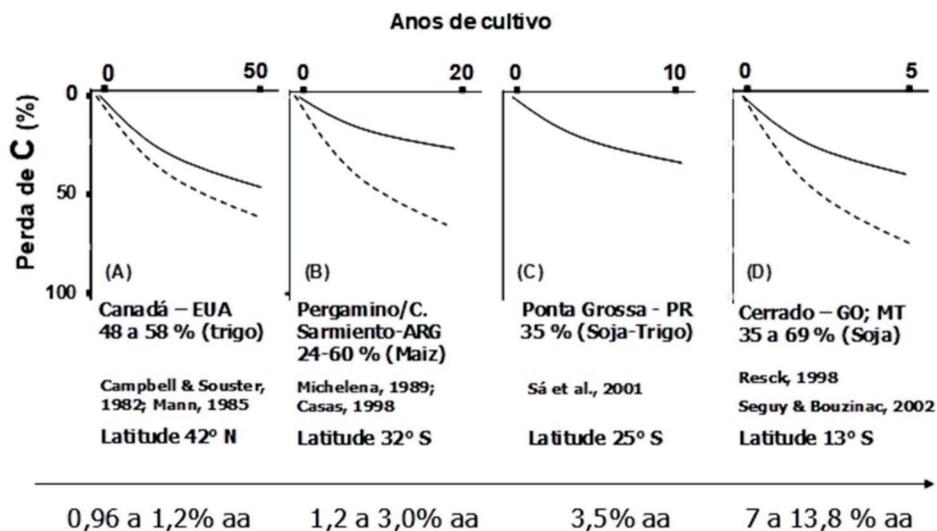


Figura 5. Redução do conteúdo original de carbono devido ao preparo convencional associado à monocultura. As letras maiúsculas nos parênteses referem-se aos locais onde se desenvolveram os trabalhos (A) = Canadá; (B) = Argentina; (C) e (D) = Brasil. Números abaixo da seta representam as perdas anuais em porcentagem ao ano (aa) de C devido ao preparo do solo.

Tabela 2. Contribuição da MOS na formação de cargas negativas da CTC.

Local	Solos (Tipos)	% da CTC devido a MOS	Referência
Estado de SP	16	70 a 74	Raij, 1979
Estado do PR	12	75 a 90	Pavan, 1985
Região dos Cerrados	14	75 a 85	Lopes, 1978
Região dos Cerrados	Sd	80 a 90	Resck, 1998

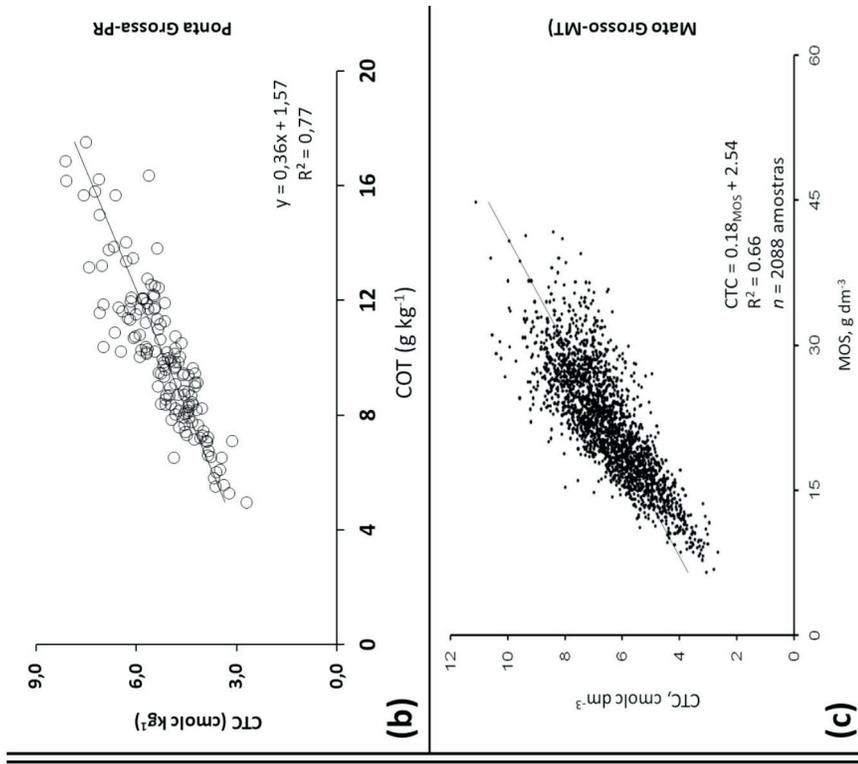
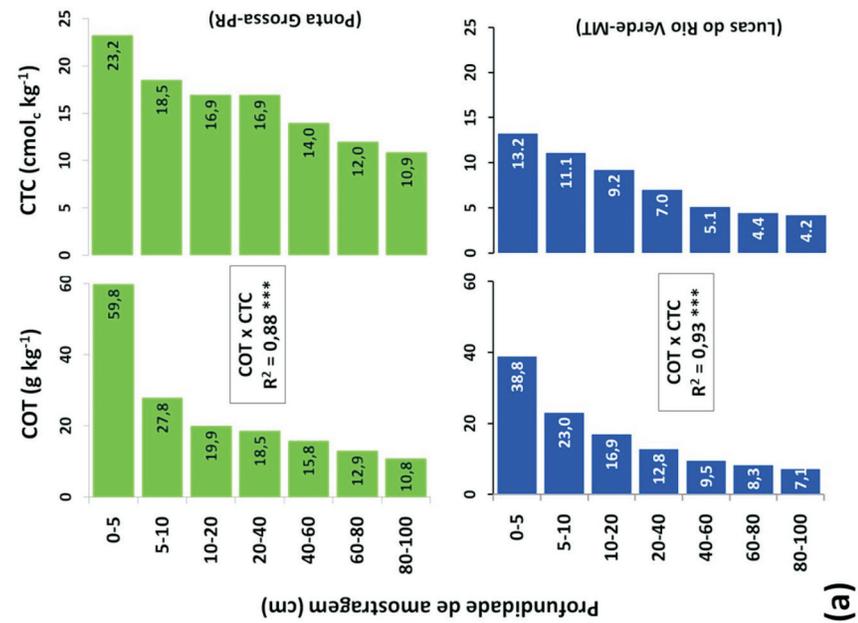


Figura 6. (a) Distribuição do conteúdo de C no perfil do solo sob vegetação nativa em Ponta Grossa-PR (Região Subtropical) e Lucas do Rio Verde-MT (Região Tropical); (b) Relação linear entre carbono orgânico total (COT) e CTC em solos sob plantio direto em Ponta Grossa-PR; (c) Relação linear entre matéria orgânica do solo (MOS) e CTC em solos sob plantio direto em Mato Grosso-MT. Fonte: Sá, JCM (2022b)

Tem sido demonstrado que a relação entre o aumento de C no solo e o aumento no conteúdo dos nutrientes (Sá et al., 2009) como o Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , P e do pH do solo é linear e positiva (Figura 7).

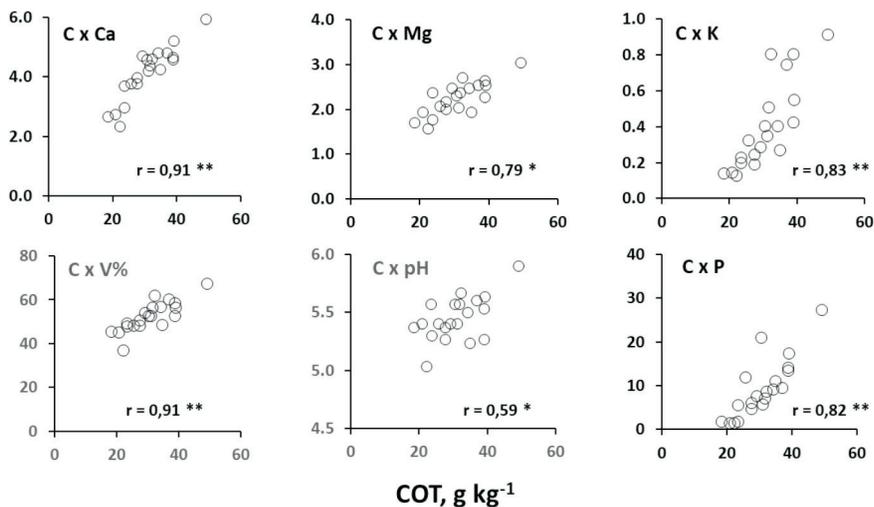


Figura 7. Coeficiente de correlação linear entre o C (COT em g kg^{-1}) e os componentes da fertilidade do solo (Ca, Mg, K em cmolc kg^{-1}), V% (saturação por bases), pH e P (g kg^{-1}) em um experimento de longa duração com plantio direto. * refere-se ao valor $p < 0,05$ e ** $p < 0,01$. Fonte: Sá et al., 2009.

Portanto, o manejo da MOS ressalta três pontos básicos para o sucesso com os sistemas de produção em plantio direto em solos intemperizados da região subtropical e tropical: a) geração de cargas negativas visando aumentar a CTC e a capacidade de armazenamento de cátions resultando na melhoria da fertilidade química do solo; b) recuperação e aumento do C como agente cimentante para agregação e reconstrução de nova estrutura do solo, além de atuar na formação de macroagregados como o caminho para a proteção do C intra-agregado e aumento da capacidade de retenção de água através da formação de pontes de hidrogênio (Figura 8); c) fonte de energia básica para promover a atividade biológica e geração de um fluxo de C e N microbiano estimulando a cadeia de transformação da MOS.

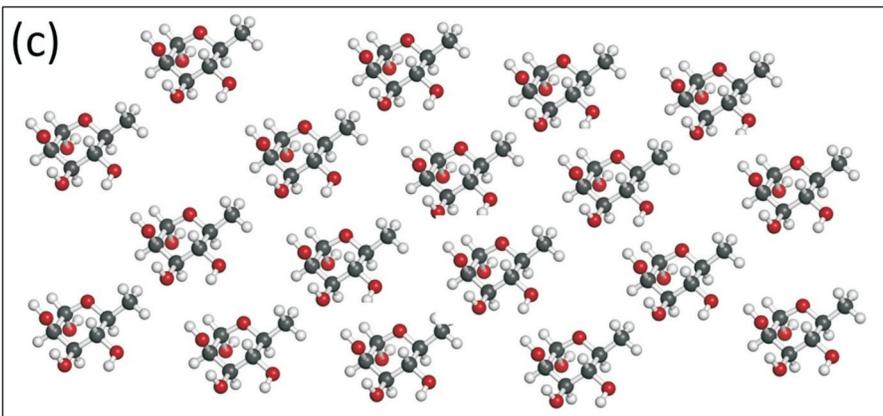
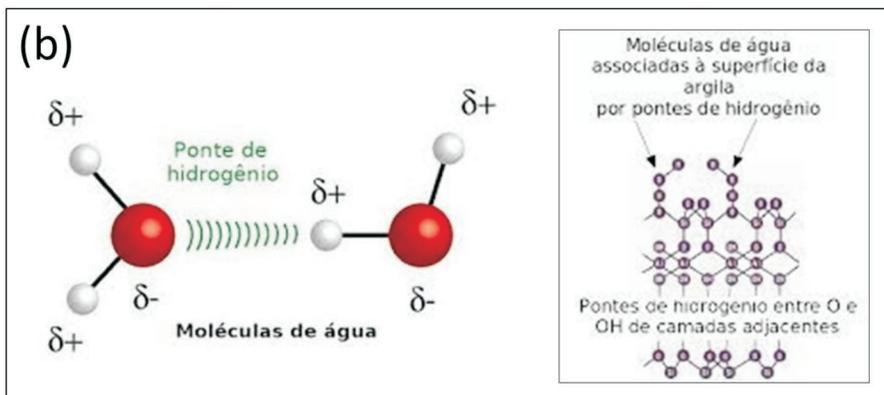
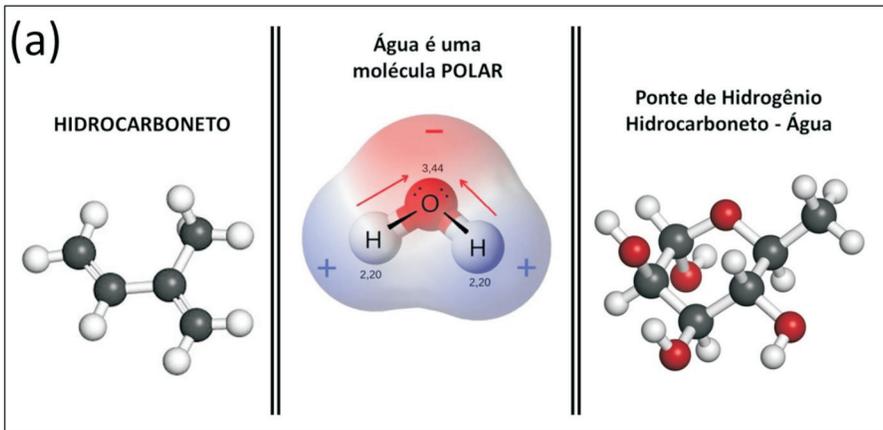


Figura 8. Formação das pontes de hidrogênio: a) Hidrocarboneto – Água; b) Água – Água e Água – superfície dos coloides; c) expansão da ligação do volume e hidrocarboneto – água. Fonte: Ilustração elaborada por Sâ, JCM., 2022 (Não publicado).

3. O que a mãe natureza nos ensinou sobre o solo?

Independente da zona climática, do tipo de solo e do relevo, a “mãe natureza” (observando-se as áreas sob vegetação nativa) nos dá três ensinamentos básicos sobre o solo (Figura 9): a) solo sempre coberto em todas as estações do ano; b) biodiversidade de espécies vegetais, organismos do solo (microbiota, micro, meso e macrofauna) e atividade biológica contínua; c) solo estruturado, sem impedimentos para o desenvolvimento radicular das plantas e um fluxo contínuo de água, ar e nutrientes para atender a demanda das plantas.

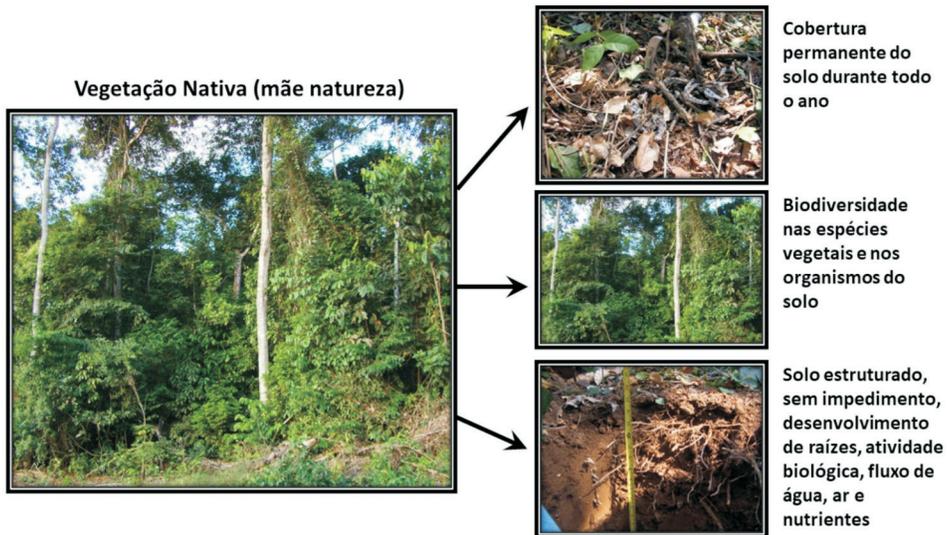


Figura 9. Os componentes chave do aprendizado com a “mãe” natureza: a) Cobertura permanente do solo; b) diversidade de espécies vegetais e de organismos do solo; c) solo estruturado, sem impedimento e com atividade biológica. Fonte: Sá, JCM (Desenho esquemático não publicado).

A manutenção de cobertura permanente do solo (viva ou resíduos culturais = parte aérea + raízes) promove três ações fundamentais para a reorganização da nova estrutura (Tivet et al., 2013a; Briedis et al., 2016; De Oliveira Ferreira et al., 2018): a) amortece o impacto das gotas de chuva que causam a dispersão de partículas, microestruturas, micro e macroagregados; b) mantém os macroagregados protegidos, reduzindo a taxa de oxidação do C intra-agregado; c) as raízes das plantas criam um processo de envelhecimento em torno das partículas de argila dispersas aproximando-as ao seu redor, devido ao secamento e umedecimento das raízes gerando a compressão e a reorganização de partículas e microestruturas dispersas, além do reagrupamento dos agregados. Ao mesmo tempo, as raízes exsudam compostos orgânicos do tipo -glomalin, polissacarídeos, aminoácidos interestratificados, que atuam como agente cimentante promovendo a maior estabilidade e longevidade da nova estrutura do solo.

A diversidade de espécies proporciona a adição de diferentes compostos via a parte aérea das plantas e tipos de sistema radicular que irão exsudar diferentes compostos orgânicos que irão interagir com a microbiota, micro e meso fauna do solo criando um fluxo contínuo de C e N. Há uma estreita correlação entre o aumento de C no solo, da atividade biológica e da resiliência (Figura 10) com o aumento da diversidade de espécies e o aumento de C (Sá et al., 2018).

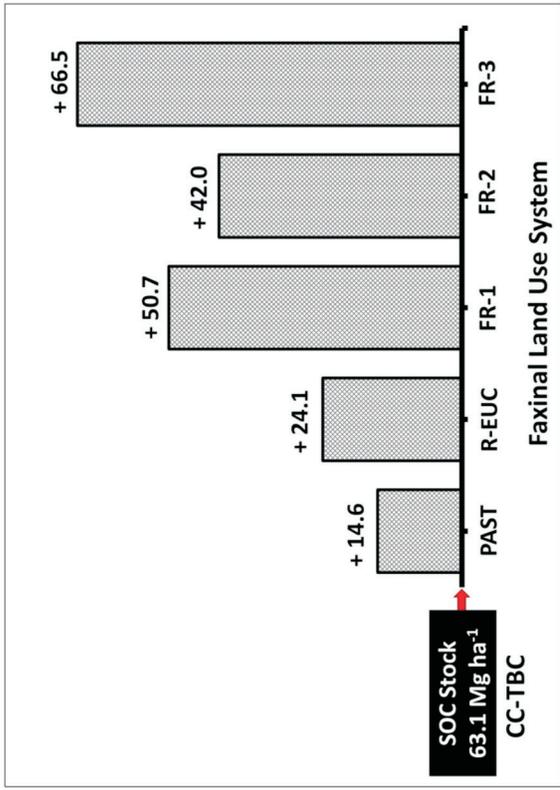
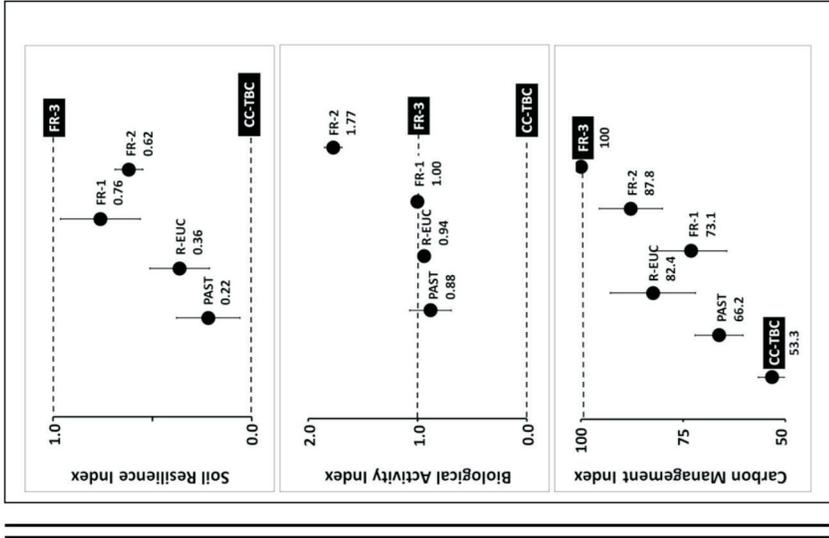


Figura 10. (a) Ganho de carbono orgânico do solo (SOC) por cada sistema de uso da terra em relação ao CC-TBC (cultivo convencional de tabaco) para a camada de 0-40 cm. A linha preta horizontal pesada representa o estoque SOC de uso da terra CC-TBC = 63,1 Mg ha^{-1} ; b) Frações de carbono do solo, atividade biológica e índices de resiliência para sistema de uso da terra e avaliação da restauração da sucessão ecológica. Fonte: Sá, et al., 2018

No exemplo da figura 10, deve ser ressaltado a recuperação do C a partir do sistema de uso do solo mais simples (monocultivo de tabaco = CC-TBC) ao sistema mais complexo e diversificado (mais de 30 espécies arbóreas) após 35 anos de recuperação da vegetação. No sistema mais complexo, o estoque de C na camada de 0-40 cm duplicou e a estrutura do solo se assemelhou ao solo sob mata nativa. As alterações ocorreram desde as frações lábeis à fração estável (Sá et al., 2018) criando um fluxo contínuo de C.

A estrutura do solo desenvolvida nas áreas de vegetação nativa é o resultado da evolução dos processos de transformação envolvendo a interação dos organismos, solo e vegetação, garantindo que em cada poro esteja disponível ar, água e nutrientes para atender a demanda das plantas em desenvolvimento. Em resumo, a “mãe natureza” nos ensinou que para termos sucesso na produção de alimentos, em harmonia com o ambiente, devemos manejar a MOS para atender a demanda dos cultivos com um fluxo de água, ar e nutrientes. Mantendo o solo permanentemente coberto, com diversidade e elevada adição de C iremos produzir soja, milho, algodão, feijão etc., com rentabilidade, responsabilidade social e ao mesmo tempo garantindo a continuidade das gerações futuras.

4. Macroagregados e a estrutura do solo sob vegetação nativa e a ruptura com o preparo do solo

A agregação do solo tem se destacado por ser sensível às mudanças no uso do solo e estar diretamente relacionada ao sequestro de C (Castro Filho et al., 2002; Green et al., 2007; Ferreira et al., 2011; Briedis et al., 2012b; Tivet et al., 2013a; De Oliveira Ferreira et al., 2018). Os agregados do solo consistem na união de partículas primárias do solo em pequenas estruturas que se formam através da ação de organismos como cadeias gelatinosas de polissacarídeos (agentes transientes), raízes de plantas, hifas de fungos (agentes temporários) e também pela atuação do húmus e íons de Fe, Al e Ca (agentes persistentes) (Tisdall; Oades, 1982). Os agregados consistem na principal forma de proteção física do C do solo contra os processos de oxidação pela biomassa microbiana (Figura 10). Os macroagregados exercem papel fundamental na funcionalidade, na macroporosidade e na estabilidade da estrutura do solo. O caminho para a maior proporção de macroagregados em ambientes de mata nativa passa pela não movimentação do solo e pela deposição contínua de resíduos vegetais e cobertura permanente, o que cria um fluxo contínuo de compostos lábeis de origem biológica capazes de estabilizar de forma eficiente os macroagregados. Os principais componentes dos macroagregados estão descritos na Figura 11. O processo de agregação e a distribuição de classes de agregados em solos sob vegetação nativa tem sido uma referência para o manejo de solos, uma vez que o equilíbrio existente dentro e entre os macroagregados gera uma rede poral que permite o desenvolvimento pleno do sistema radicular e o suprimento de água, ar e nutrientes (Figura 12).

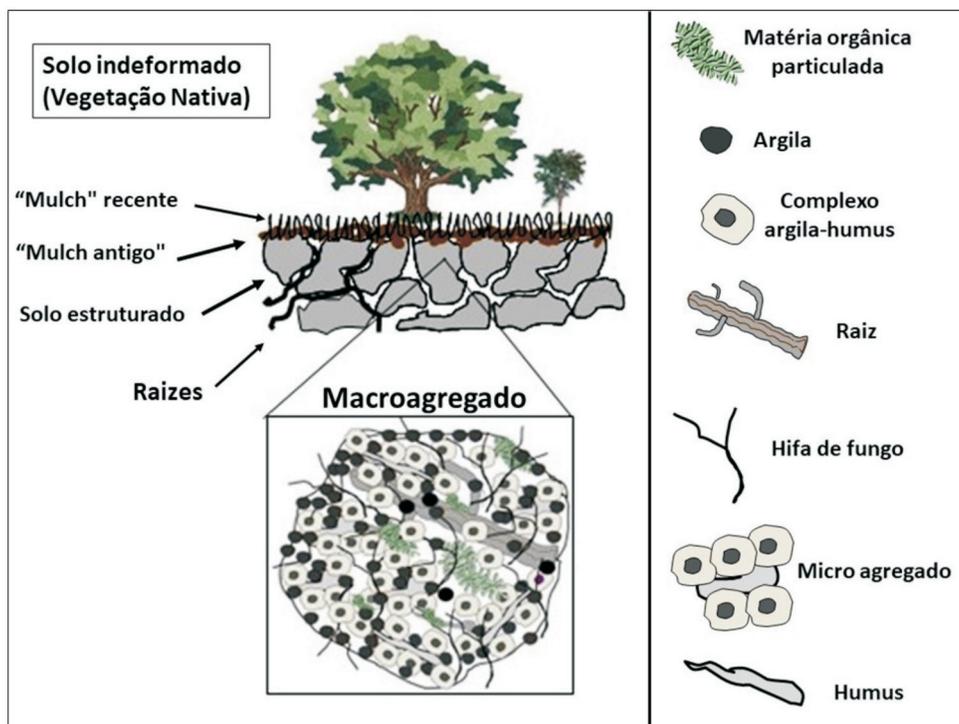


Figura 11. Ilustração da estrutura do solo sob vegetação nativa e descrição dos componentes do macroagregado. Fonte: Adaptado de Tivet et al., 2013.

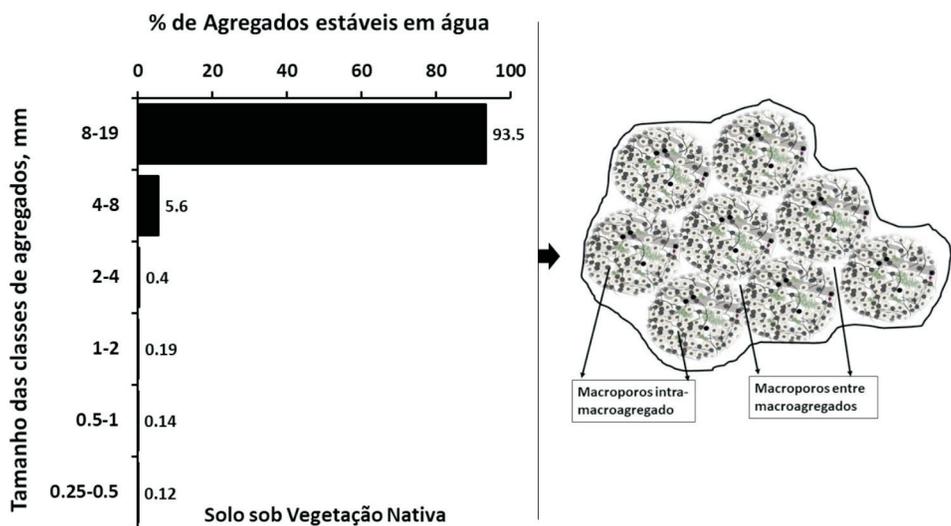


Figura 12. Predominância de agregados extra grandes em solo muito argiloso (720 g kg^{-1} de argila, camada 0-20 cm) sob vegetação nativa (Ponta Grossa, PR). Fonte: Sá, JCM (dados não publicados).

A conversão de áreas de vegetação da mata nativa para áreas agrícolas com uso contínuo do preparo convencional para a produção de grãos resulta, com o passar do tempo, na oxidação do C dos diversos compartimentos associados aos minerais. O primeiro impacto ocorre com a redução drástica de C dos agregados extra grandes devido ao preparo do solo (Figura 13) e como consequência, uma exposição das frações da MOS ao ataque microbiano.

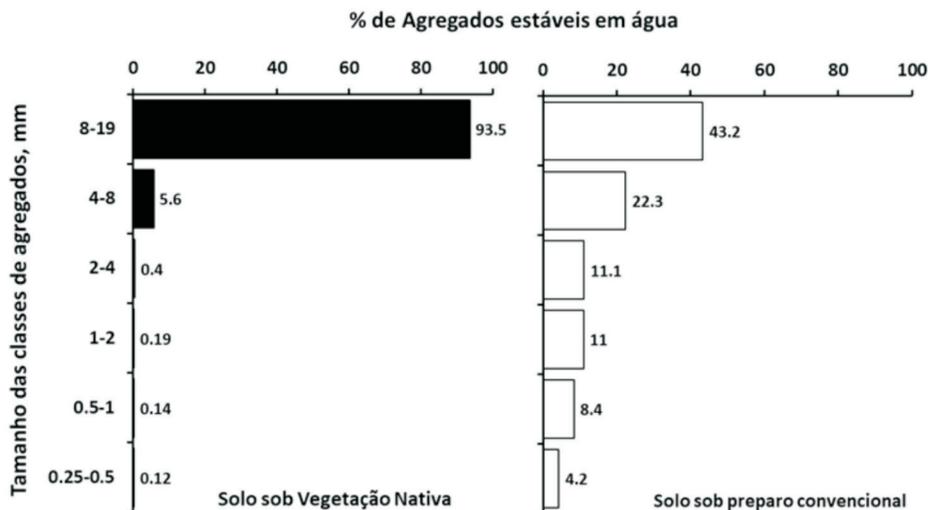


Figura 13. Distribuição das classes de agregados em solo sob vegetação nativa e sob preparo convencional. Fonte: Sá, JCM (dados não publicados).

Além disso, o rompimento dos macroagregados vai gerando e dispersando, microestruturas, microagregados e partículas de argila, resultando em uma estrutura mais densa e compacta. Nesse momento inicia-se o processo de compactação (Figura 14).

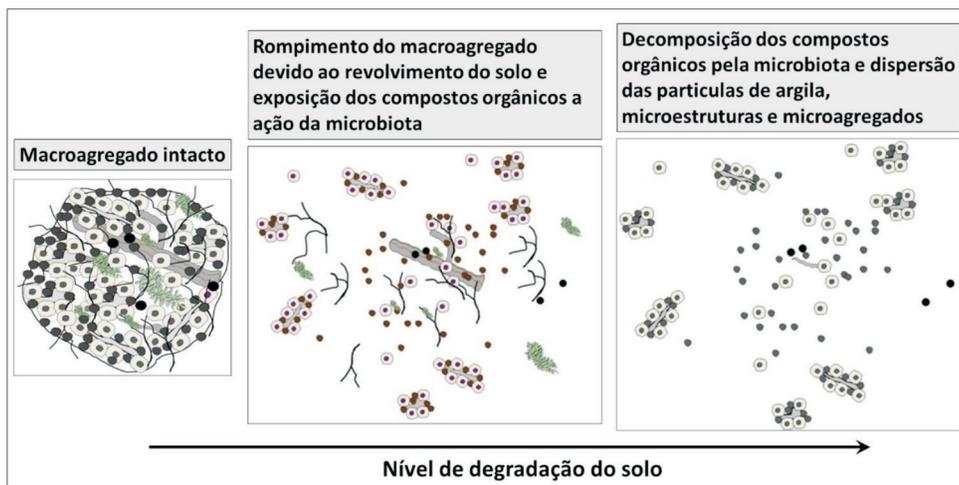


Figura 14. Ilustração elaborada por Sá, J.C.M (Não publicada).

5. Perda de C da mata nativa e do solo devido a conversão em área agrícola e o impacto do preparo convencional

Recentemente, em um ambiente subtropical e tropical, Sá et al. (2022) reportaram as perdas de C devido a conversão em área agrícola (computando o C existente na vegetação nativa e no solo), até a sua recuperação através de sistemas de produção fundamentados no plantio direto. O estoque de C encontrado na vegetação nativa e no solo (100 cm de profundidade) ilustra que a quantidade de C perdida em 01 hectare é muito expressiva (tabela 3).

Tabela 3. Estoque de C na vegetação nativa e no solo sob vegetação nativa na área adjacente ao experimento.

Zona Climática	Estoque de C na vegetação nativa				Estoque de C no solo	Estoque de C na Vegetação + Solo
	Parte aérea	Raízes	Liteira	Total		
----- Mg C ha ⁻¹ -----						
Subtropical [†]	34,8 ± 2,8 [§]	15.9 ± 1.7	3,6 ± 0,3	54,3 ± 4,9	258 ± 17	312 ± 22
Tropical	69,0 ± 6,2	15.2 ± 2.1	11,4 ± 1,2	95,6 ± 7,2	130 ± 12	227 ± 19

[†] Clima subtropical se refere a área experimental localizada na cidade de Ponta Grossa-PR clima tropical a cidade de Lucas do Rio Verde - MT;

[§] Representa o desvio padrão em relação à média.

Fonte: Sá et al., 2022

Na região sob clima subtropical (Ponta Grossa, PR), as perdas de C da vegetação nativa com a conversão para área agrícola devido a queima foram de 54,3 Mg C ha⁻¹, enquanto o C perdido pelo preparo contínuo do solo foi de 25,4 Mg C ha⁻¹ na camada de 0-40 cm. Entretanto, 97% das perdas (equivalente a 24,6 Mg C ha⁻¹) ocorreram na camada de 0-20 cm (Figura 15a). Também se constatou um aumento de 17 Mg C ha⁻¹ na camada de 40 a 100 cm, indicando uma migração de C das camadas superiores para as mais profundas (Figura 15a). O balanço final resultou em saldo negativo de 8,4 Mg C ha⁻¹ (Figura 15a). A perda total de C incluindo a queima da vegetação nativa mais solo até a camada de 0-100 cm foi de 62,7 Mg C ha⁻¹.

Na região tropical, a queima da vegetação nativa causou a perda de 95,6 Mg C ha⁻¹ e o preparo contínuo do solo provocou a perda de 27,0 Mg C ha⁻¹ na camada 0-100 cm de profundidade (Figura 15b) em 8 anos, totalizando 122,6 Mg C ha⁻¹ (Vegetação + Solo). As perdas na camada de 0-20 cm representaram 54,1% (equivalente a 14,6 Mg C ha⁻¹) enquanto que na camada de 20-100 cm foram de 45,9% (equivalente a 12,4 Mg C ha⁻¹).

Em região tropical, com estação seca definida entre abril até o final de setembro, as perdas de C nesse período podem atingir até 40% da perda anual em solos sem cobertura (Figura 16).

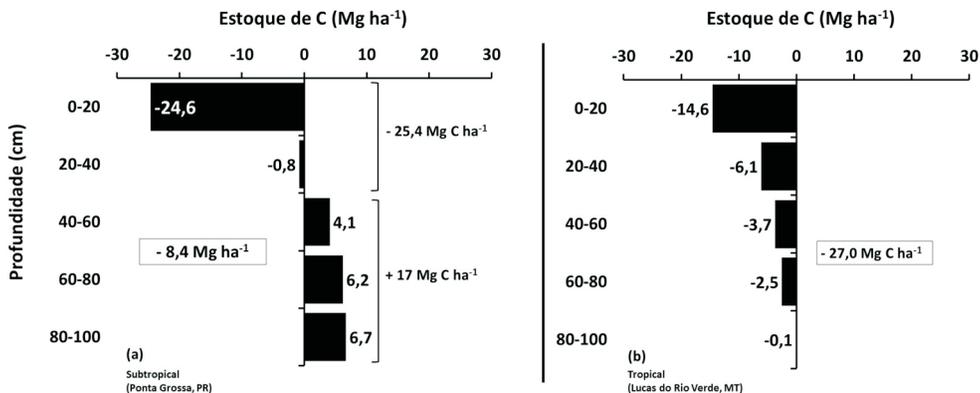
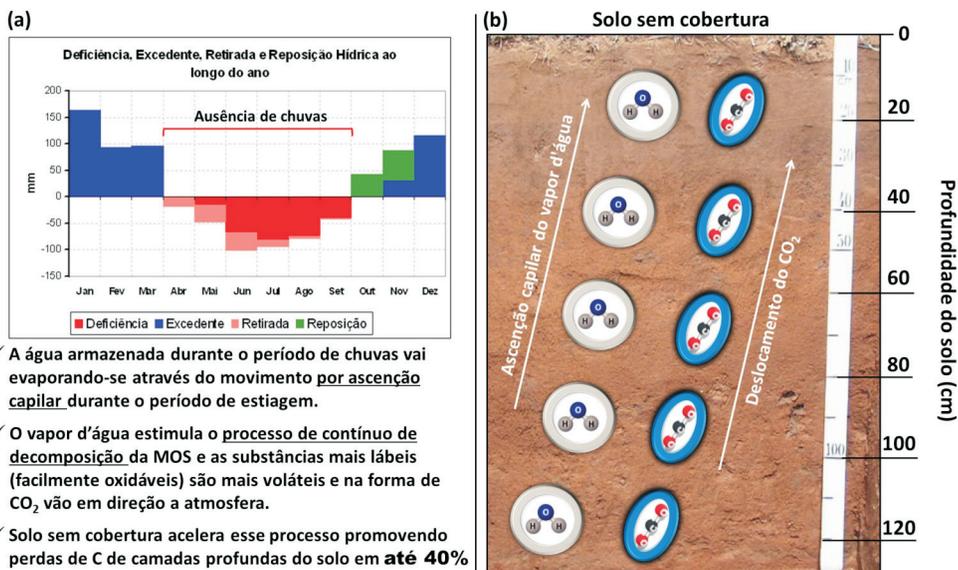


Figura 15. Perdas de C com a conversão do solo sob mata nativa para área agrícola e manutenção do preparo convencional do solo para a produção de grãos em uma região subtropical (a) Ponta Grossa, PR e tropical (b), Lucas do Rio Verde, MT. Fonte: Sá, et al., 2022



- ✓ A água armazenada durante o período de chuvas vai evaporando-se através do movimento por ascensão capilar durante o período de estiagem.
- ✓ O vapor d'água estimula o processo de contínuo de decomposição da MOS e as substâncias mais lábeis (facilmente oxidáveis) são mais voláteis e na forma de CO₂ vão em direção a atmosfera.
- ✓ Solo sem cobertura acelera esse processo promovendo perdas de C de camadas profundas do solo em **até 40%**

Figura 16. Perda de C no período seco (ausência de chuvas) na região dos Cerrados em solo sem cobertura: a) esquema do balanço hídrico e os processos de perda; b) desenho esquemático ilustrando o movimento ascendente de H₂O e o CO₂ das camadas mais profundas em direção a superfície do solo e atmosfera. Fonte: Ilustração elaborada por Sá, 2022.

A razão dessas perdas é fundamentada nos seguintes pontos: a) a água infiltrada para as camadas mais profundas durante o período de chuvas retorna para a atmosfera na forma de vapor d'água por ascensão capilar das camadas abaixo de 80 a 100 cm; b) durante o período seco esse vapor d'água estimula a atividade da microbiota promovendo a oxidação de compostos orgânicos lábeis do tipo polissacarídeos e proteí-

nas associadas a açúcares simples resultando na emissão de CO₂; c) o CO₂ é arrastado pelo vapor d'água e liberado na atmosfera. Em resumo, a cobertura do solo através de uma ponte verde (resíduos culturais ou planta viva) no período de seca reduz expressivamente o fluxo de vapor d'água e CO₂ para a atmosfera garantindo maior armazenamento de C no solo.

6. Escala de evolução do Sistema Plantio Direto como suporte para tomada de decisões

Desde o início dos anos 2000 tem sido discutido como identificar o estágio de evolução do sistema plantio direto. Isto porque a decisão da mudança do solo sob preparo convencional para o solo em plantio direto tem diversos motivos e depende do estado de degradação do solo no momento da conversão. Além disso, o regime de chuvas da região, o tipo de solo e sua susceptibilidade a erosão, o conteúdo e o tipo de argila. Por exemplo, quanto mais longo foi o período de preparo convencional para o cultivo de grãos e o início da adoção do sistema plantio direto maior será o rompimento da estrutura e a desagregação, maior será a perda de C e em consequência maior serão as limitações nos atributos físicos, químicos e biológicos. Esse cenário indica que a recuperação do conteúdo de C e dos atributos do solo irão necessitar de um período mais longo. Com intuito de entender as alterações temporais nos componentes e atributos químicos, físicos e biológicos do SPD Sá (2004) desenvolveu a escala de evolução do sistema plantio direto (Figura 17). Essa escala estabelece as fases nas quais esses atributos vão se alterando com o passar do tempo.

Escala de Evolução do Sistema Plantio Direto

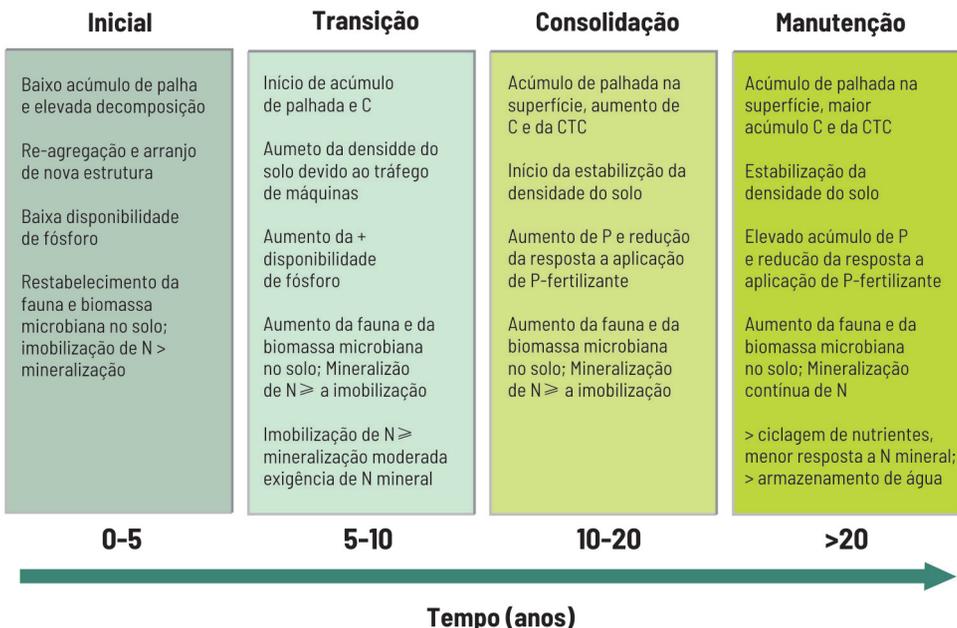


Figura 17. Escala de evolução do Sistema Plantio Direto.

A fase inicial (0 - 5 anos) é caracterizada pelo baixo acúmulo de palhada (durante uma época do ano o solo fica sem cobertura), elevada taxa de decomposição da palha, baixo teor de C, re-agregação e rearranjo da estrutura do solo. Ainda nessa fase, há o início da recuperação da atividade da micro, meso e macro fauna e da biomassa microbiana como resultado da ausência do revolvimento do solo. Também nesta fase, há maior necessidade na aplicação de N para atender os cultivos de gramíneas devido a imobilização do N mineral ser maior do que a mineralização do N-orgânico.

A fase de transição (5 - 10 anos) é caracterizada por um aumento do conteúdo de C e maior densidade do solo devido ao tráfego de máquinas e o não revolvimento do solo. Há o aumento do tamanho dos agregados gerando maior estabilidade dos agregados em água, melhora a infiltração de água e efeitos positivos na diversidade da fauna e atividade microbiana no solo. Além disso, a imobilização do N mineral é semelhante a mineralização tendo uma demanda moderada de N. A fase de consolidação (10 - 20 anos) engloba o acúmulo de camada de cobertura morta na superfície do solo com restos de culturas de anos anteriores como resultado de uma diminuição na taxa de decomposição da biomassa que permite a criação de uma camada de cobertura viva permanente que trabalha na proteção de agregados do efeito deletério do impacto direto da chuva e da luz solar. Portanto, essa camada de cobertura vegetal cria uma entrada contínua de fluxo de C do solo que aumenta o estoque de C e melhora uma biota diversificada com alto carbono da biomassa microbiana do solo. Nesta fase também há uma restauração do estoque de Nitrogênio Total do Solo (TN) que resulta em alta oferta de N orgânico para o processo de mineralização que sustenta uma comunidade de organismos diversificada. A fase de manutenção (> 20 anos) é caracterizada por um elevado acúmulo de resíduos culturais de diferentes estações de crescimento e elevado estoque de C. Há estabilização da densidade do solo, aumento expressivo da quantidade de macroagregados e aumento da fauna e microbiota. A maior ciclagem de N (Figura 18) contribui expressivamente para atender a demanda de N pelas plantas resultando em menor resposta a N-Fertilizante.

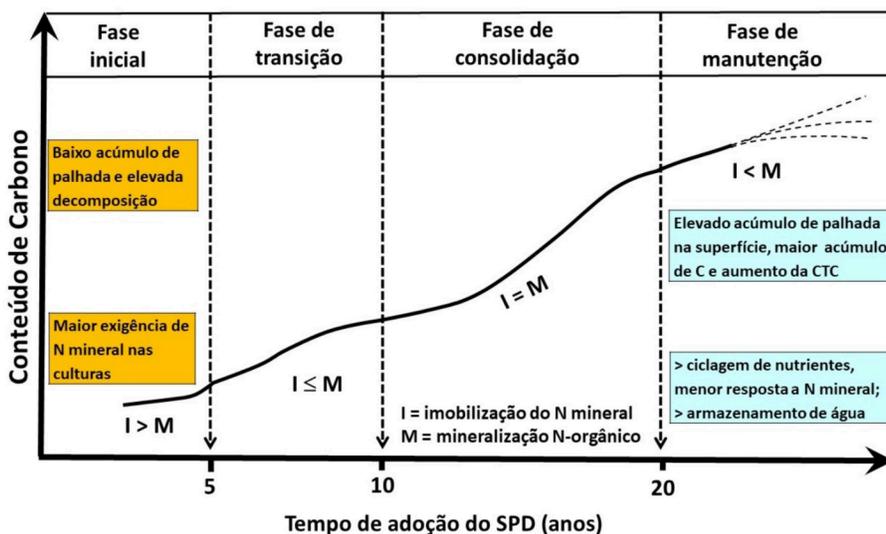


Figura 18. Variação da imobilização do nitrogênio em função da escala de evolução do Sistema Plantio Direto (SPD) e do conteúdo de C.

Na fase inicial de adoção do SPD a maior exigência na adubação nitrogenada é devido a maior imobilização do N mineralizado pela microbiota em resposta ao déficit entre a demanda pela planta e a reutilização do N pela microbiota para manter a população em atividade. O pico de imobilização ocorre entre 4 a 6 semanas após o retorno de palhada e em geral coincide com o estágio V2 a V4 na cultura de milho. Para evitar uma carência inicial de N nos cultivos de milho a aplicação de 30 a 45 kg ha⁻¹ no sulco de semeadura atende esse período de carência (Sá, 1993).

7. Desenvolver sistemas de produção com elevado aporte de C e baixa emissão de CO₂

O primeiro passo para atingirmos sistemas de produção com elevado acúmulo de C é o estabelecimento da cobertura permanente no solo, seja com resíduos de cultivos (parte aérea e raízes) ou sistemas intercalares com cultivo em desenvolvimento. A manutenção de cobertura permanente do solo, juntamente com as raízes, é fundamental para a estruturação do solo e proteção do C em macroagregados. (Tivet et al., 2013a; De Oliveira Ferreira et al., 2018). De maneira semelhante como ocorre em ambientes naturais, a cobertura do solo em áreas de SPD amortece o impacto das gotas de chuva e mantém os macroagregados protegidos, reduzindo a taxa de oxidação do C intra-agregado. Aliado a isso, as raízes, principalmente das plantas de cobertura, proporcionam a aproximação, e reorganização de partículas e microestruturas dispersas através do processo de secamento e umedecimento ao seu redor, além de promoverem o entrelaçamento dos agregados e exsudarem compostos orgânicos cimentantes que ajudam na estabilização dos agregados e na manutenção da estruturação do solo. Finalmente, a cobertura constante do solo e o fluxo de C lábil proporcionam um ambiente favorável para a maior atividade de microrganismos, principalmente fungos, os quais através da exsudação de polissacarídeos extracelulares e glomalina e enredamento de microagregados com suas hifas, aumentam a estabilidade de macroagregados (Figura 19).

Com o passar do tempo, a adição frequente de palhada e de raízes cria um fluxo contínuo de C e N, alojando-se nas diversas frações granulométricas do solo. Inicialmente, as principais alterações são na fração lábil ou leve (parte grosseira da MOS com partículas de tamanho entre 250 a 2000 micras), a qual varia conforme a entrada de resíduos culturais (Sá et al., 2014), porém também sendo a mais sensível a oxidação (Figura 20). Nessa fração, a contribuição das raízes como agentes temporários é de suma importância.



Figura 19. a) Reagrupamento de partículas de argila dispersas pelo processo de umedecimento e secamento das raízes. As raízes reorganizam as partículas de argila com a compressão e estabilizam com os polissacarídeos excretados pelos microrganismos e as raízes. Fonte: Ilustração elaborada por Sá, 2022 (não publicada).

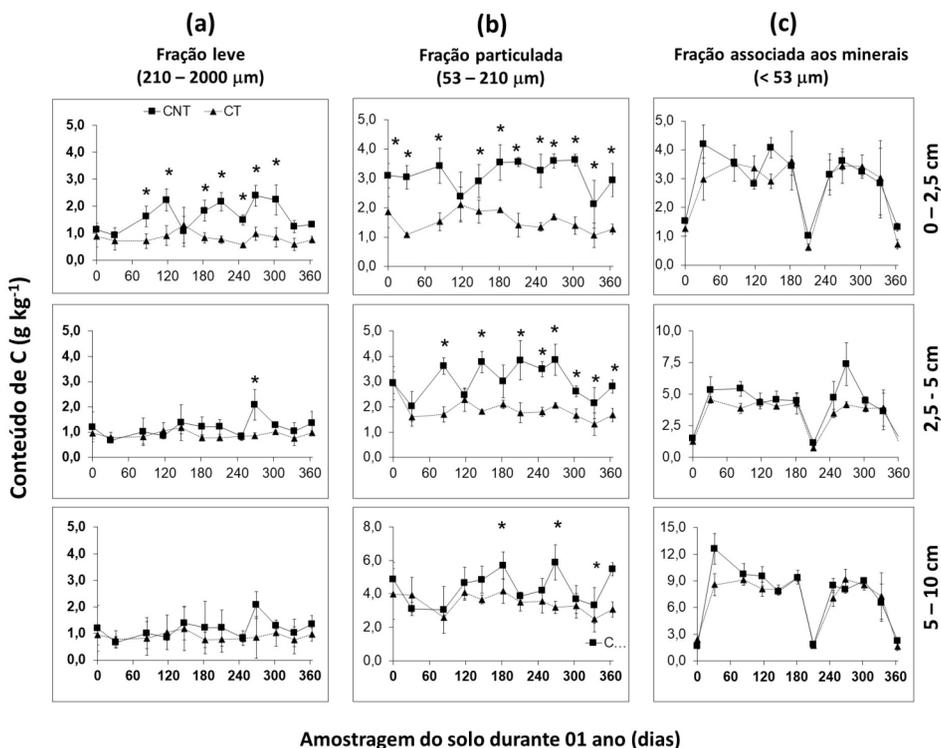
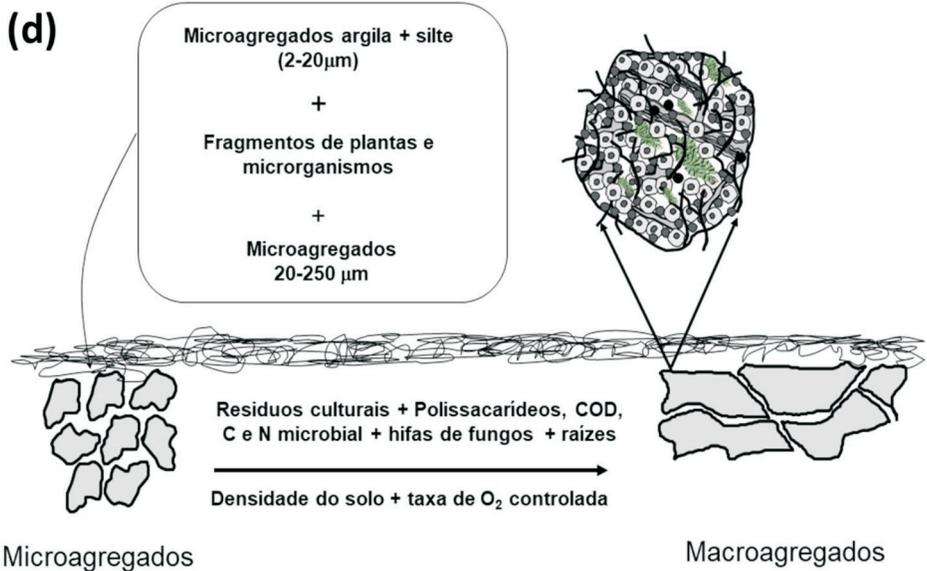
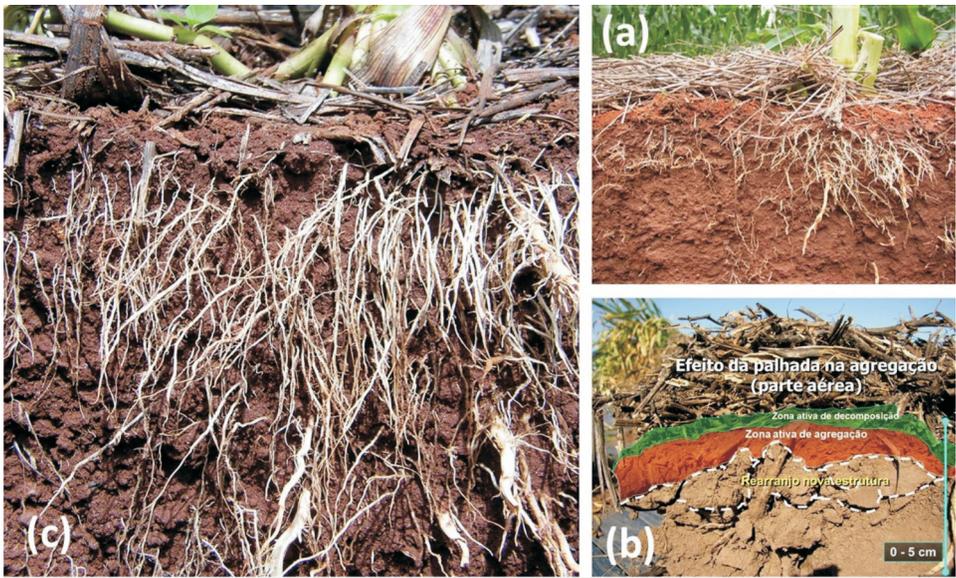


Figura 20. Flutuação das frações de C no período de 360 dias de amostragem nas camadas de 0-2,5 cm, 2,5-5 cm e 5-10cm de profundidade em um experimento de longa duração em Ponta Grossa-PR. ■ Plantio direto contínuo; ▲ Preparo convencional. Fração leve (210 – 2000 μm), particulada (53 – 210 μm) e associada aos minerais (< 53 μm). Fonte: Sá et al., 2014.

A flutuação da fração leve e particulada da MOS está diretamente relacionada com a quantidade, qualidade e frequência do aporte de biomassa (parte aérea e raiz). Portanto, em adições cuja relação C:N seja inferior a 25, com a presença de brássicas (nabo forrageiro), leguminosas (ervilhacas, crotalárias, guandu, etc.) em misturas com gramíneas (Aveia preta, braquiárias, etc.), haverá maior flutuação durante o ano e será promovido um fluxo maior de C e N via biomassa microbiana. Essa flutuação é mais intensa na camada superficial (0 – 10 cm) com a liberação de compostos orgânicos oriundos da decomposição da parte aérea (Figura 21).



Caminhos na formação, proteção e estabilização dos agregados no Sistema Plantio Direto

Figura 21. a) Proteção da superfície do solo e abundância de raízes; b) Etapas da agregação do solo na camada superficial (0-5 cm) pela ação da palhada (parte aérea); c) Processo de agregação unindo os microagregados, fragmentos de plantas aos resíduos culturais, compostos orgânicos e ação da microbiota para formação de macroagregados. Fonte: Ilustração elaborada por Sá, 2022 (Não publicada)

Entretanto o maior desafio é manter essa tríade (quantidade, qualidade e frequência no aporte de biomassa) visando atingir as etapas de compensação de C. Isso significa que num período de 5 anos a precipitação, a flutuação da temperatura e a radiação solar variam e em períodos de seca prolongada há uma redução expressiva da produção de biomassa. A reorganização das classes de agregados irá responder ao aporte de biomassa e a longevidade dessa estratégia fará com que o SPD se assemelhe a condição do solo da vegetação nativa (Figura 22).

Manter uma sequência de combinações com diversificação nas espécies é fundamental na recuperação dos macroagregados (Tivet et al., 2013; Briedis et al., 2016; de Oliveira Ferreira, 2018) para conseguir a compensação de C, ou seja, os anos em que ocorrem menor aporte de biomassa-C possam ser compensados com anos com maior aporte e acima da necessidade do ponto equilíbrio dinâmico.

A formação da ponte verde através da cobertura do solo com plantas vivas durante o período de estiagem na região do Cerrado é fundamental para manter o C fixado pelas plantas no ano anterior (Figura 23).

A ponte verde tem a função de manter o solo coberto com espécies de plantas que adicionem elevada quantidade de massa seca e tenham raízes robustas e agressivas para atingir profundidades abaixo de 1m durante o período de estiagem. Essa estratégia gera os seguintes benefícios: a) Controle da temperatura do solo e manutenção da atividade biológica; b) promove a barreira física contra evaporação da água oriunda das camadas mais profundas durante o período seco; c) Ocupação dos poros pelas raízes e absorção de água e nutrientes das camadas mais profundas; d) maior produção de C em profundidade através das raízes; e) 60% do C armazenado no solo é oriundo das raízes. Portanto, sistemas de produção envolvendo cultivos intercalares como o milho + braquiária ruziziensis e outras combinações envolvendo várias espécies - “Mix de plantas”, é uma estratégia para manter o solo coberto e preencher a “janela” entre o final da estação chuvosa e o período seco até o início da nova estação chuvosa visando compensar as perdas de C. A inclusão de espécies de plantas de cobertura com raízes robustas, que se desenvolvem em camadas abaixo de 100 cm e sejam mais tolerantes à presença de Al tóxico em profundidade é o caminho e o desafio para aumentar o C em profundidade e recuperar nutrientes perdidos por lixiviação (Figura 24).

A figura 24, exemplifica a habilidade das plantas em modificar o ambiente solo e dar condições para os cultivos geradores de renda expressarem seu potencial. O caminho para a recuperação de C inicia com o estímulo da multicompartimentalização do C, ou seja, a adição de biomassa-C irá revitalizar a diversidade da microbiota e a atividade biológica resultando em maior resiliência do sistema de produção (figura 25).

O processo de recuperação do C em SPD inicia-se com o controle da decomposição microbiana através da proteção dos macroagregados (Figura 25). A recuperação do C segue dois caminhos distintos: a) no ambiente subtropical (Ponta Grossa-PR) sob SPD ocorreu um aumento significativo do C orgânico particulado (POC) e a transferência para o compartimento de C associado aos minerais (MAOC); b) para o ambiente tropical (Lucas do Rio Verde-MT) as frações MAOC aumentaram e tiveram saldo positivo com o SPD, exceto para o POC que não foi totalmente recuperado mesmo com os altos aportes de biomassa-C. Vale lembrar que o tempo em SPD em Lucas do Rio Verde situava-se entre 8 e 9 anos.

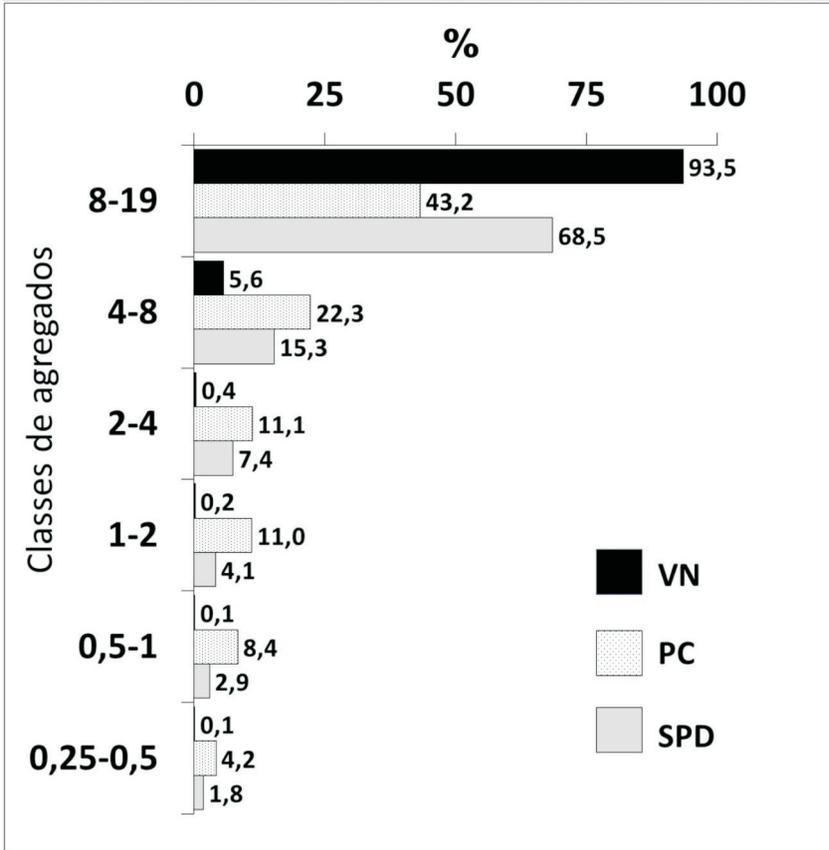
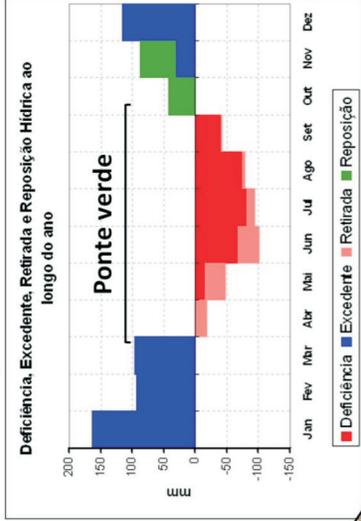
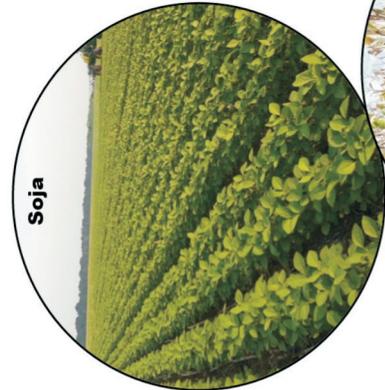


Figura 22. Impacto do manejo do solo sob vegetação nativa (VN), Preparo convencional (PC) e a recuperação da agregação com o sistema plantio direto (SPD) na distribuição das classes de agregado. Fonte: Tivet et

Manter o solo coberto com plantas no período seco



Fotos: cedidas por Zecão, Valmor, JCMS

Fonte: Elaborado por JCMS

Figura 23. Sequência de cultivos incluindo a ponte verde no sistema de produção.

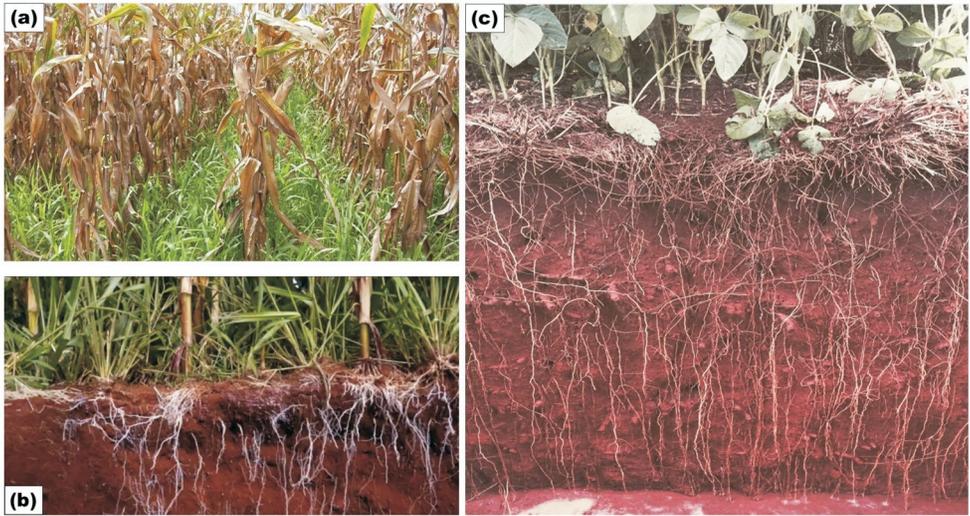


Figura 24. a) Cultivo de *Braquiária ruziziensis* consorciado com milho (foto cedida por Sá); b) Desenvolvimento das raízes de milho e *Braquiária ruziziensis* antes da colheita de milho (foto cedida por José Carlos Soares-Zecão, Lucas do Rio Verde-MT); c) desenvolvimento das raízes do cultivo de soja e as raízes remanescentes de braquiária ruziziensis (foto cedida por José Carlos Soares-Zecão, Lucas do Rio Verde-MT).

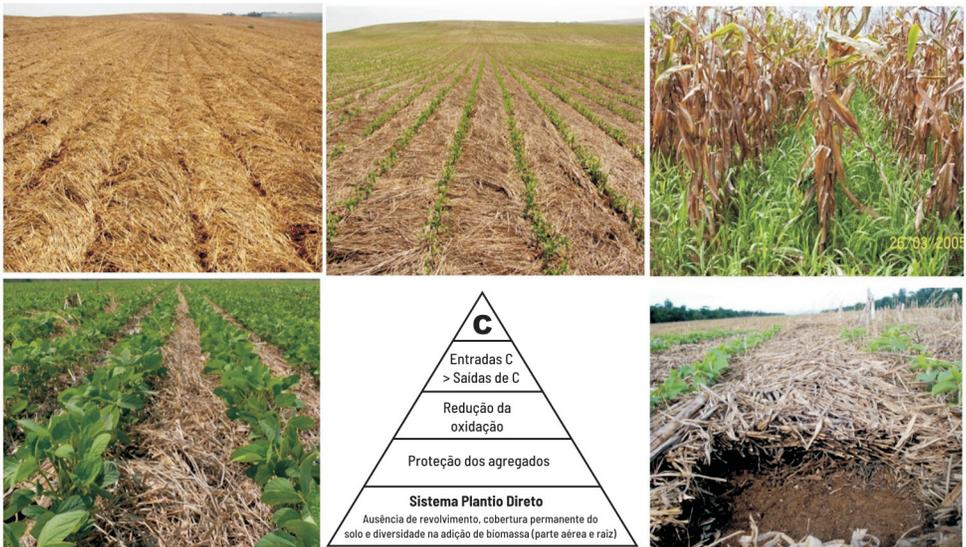


Figura 25. Bases para o acúmulo de C no solo: ilustração da pirâmide com as etapas associadas aos exemplos de proteção dos agregados, redução da oxidação, entrada > saída. Fonte: Ilustração elaborada por Sá, 2022 (não publicada).

Na região subtropical (Ponta Grossa-PR) ao longo de 29 anos, o SPD recuperou 7,4 Mg C ha⁻¹ (Figura 26 c) que foi perdido devido ao preparo contínuo do solo representando 39% do estoque de POC em solo de vegetação nativa. Nesse ambiente, cujas chuvas se distribuem ao longo do ano, sem um período seco definido, ocorreu translocação de parte do POC para o MAOC, uma vez que houve um aumento expressivo do MAOC. Em contraste, no ambiente tropical (Lucas do Rio Verde-MT), o SPD recuperou parcialmente o POC e todo o C perdido na fração MAOC, com um aumento de 19,6 Mg C ha⁻¹ (Figura 26 f).

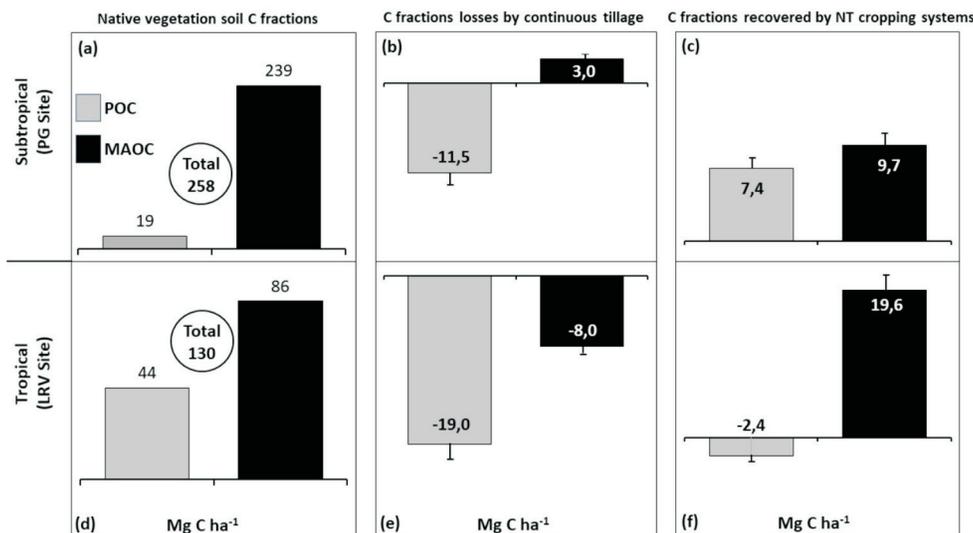


Figura 26. (26a e 26d) refere-se ao estoque de carbono orgânico total do solo (COS) ilustrado no círculo, o C orgânico particulado (POC) e o C orgânico associado mineral (MAOC) expressos em Mg C ha⁻¹ para camada de 0-100 cm sob vegetação nativa; (26b e 26c) referem-se as perdas do estoque de POC e MAOC na camada de 0-100 cm devido ao preparo contínuo; (26c e 26f) referem-se ao estoque de C que foi recuperados nas frações POC e MAOC através do SPD para camada de 0-100 cm. O valor dentro do círculo representa a soma das frações POC e MAOC. Fonte: Sá et al., 2022

Com o passar do tempo, a adição frequente de palhada e de raízes cria um fluxo contínuo de C e N, alojando-se nas frações granulométricas do solo (Figura 27) em diferentes estágios de oxidação dos compostos orgânicos (Sá et al., 2001).

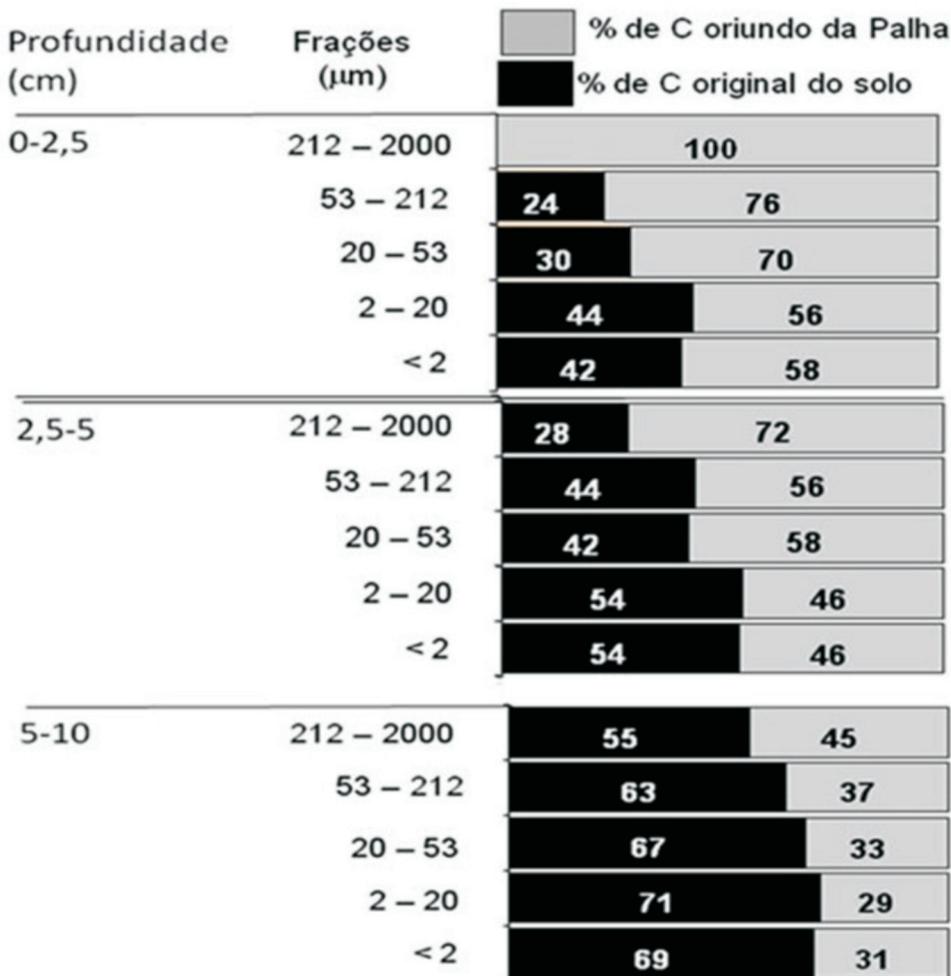


Figura 27. Contribuição da palhada (parte aérea + raízes) no C acumulado nas frações granulométricas: fração lábil (212-2000 μm), fração particulada (53-212 μm) e fração associadas aos minerais de argila (2-20 e < 2 μm). Fonte: Sá et al., 2001

O acúmulo de C no solo inicia nas frações mais lábeis (212 a 2000 μm) constituídas por diversos tipos de compostos orgânicos, tais como os açúcares simples, proteínas interestratificadas, polissacarídeos de cadeia longa e as glomalinas que atuam como aglutinadores. Nessa fase, a proteção desses compostos simples pelos macroagregados é determinante para o acúmulo de C por longo período. A contínua proteção contra a oxidação microbiana proporcionada pelos macroagregados em SPD, permite o tempo necessário para que na sequência o C orgânico particulado (53 a 212 μm) exerça um papel fundamental como ponte para a estabilização do C, proporcionando a maior longevidade do C intra agregado. Essa fração protegida fisicamente é o caminho para a formação de compostos mais resistentes (Tivet et al., 2013a; Briedis et al., 2018; Sá et al., 2018) e aromatizados pelo processo de humificação (Tivet et al., 2013b),

além de interagir e se associar aos minerais de argila e silte (20-53, 20-2 e < 2 μm), permanecendo no solo por longo período. Todo esse processo descrito é, entretanto, dependente do aporte contínuo de biomassa-C (parte aérea e raízes) e da ausência de revolvimento do solo, para garantir a estabilidade da nova estrutura. Os atributos físicos, tais como densidade, resistência à penetração e infiltração de água no solo, respondem positivamente a essa construção do C nas distintas frações, resultando em melhor performance dos cultivos.

8. O cálcio (Ca) oriundo da calagem e gessagem como estratégia para acumular C no solo em SPD

Os solos brasileiros são na sua maioria ácidos e com elevada atividade de Al^{3+} . Dessa forma, a agricultura brasileira é dependente da calagem e da gessagem para alcançar elevadas produtividades nas culturas. Além de corrigir problemas associados à acidez e elevar e melhorar a fertilidade do solo, essas práticas adicionam íons Ca^{2+} , Mg^{2+} e SO_4^{2-} , macronutrientes importantes para as plantas e no caso do Ca^{2+} , um nutriente de grande importância no aumento do sistema radicular quando deslocado para as camadas mais profundas do solo. Entretanto, o resultado dessas práticas culturais sobre a MOS foi por muito tempo controversa. Isso porque, a elevação do pH para próximo da neutralidade após a calagem, permite um ambiente mais favorável à decomposição microbiana de C, principalmente pelas bactérias. Além disso, estudos mais antigos apontam que a calagem, principalmente incorporada, aumenta a dispersão de colóides de argila em solos ácidos, levando a desagregação do solo e assim a menor proteção física do C (Roth; Pavan, 1991). Entretanto, Briedis et al. (2012a) demonstraram, a partir de um experimento de longa duração com calagem em plantio direto, os efeitos positivos dessa prática sobre o C do solo. Os autores evidenciaram que a calagem para a manutenção da saturação de bases próxima a 70% (aplicação de 6 Mg ha^{-1} em 1993 e reaplicação de 3 Mg ha^{-1} em 2000) proporcionou um acúmulo de 7,6 Mg ha^{-1} na camada de 0-20 cm após 15 anos (2008), o que representou uma taxa anual de sequestro de 0,51 Mg ha^{-1} (Tabela 4) devido a contribuição da calagem em superfície. Um dos mecanismos para explicar esse aumento de C foi o efeito benéfico da calagem sobre a produção das culturas (de grãos e de cobertura), principalmente raízes. No experimento, o tratamento com aplicação e reaplicação de calcário proporcionou, em relação ao tratamento sem calagem, um acréscimo de aporte anual de C via resíduos (parte aérea e raiz) na ordem de 1,2 Mg ha^{-1} . Entretanto, existem outros mecanismos de elevada importância do maior acúmulo de C com calagem, sendo destacado a maior agregação do solo e o favorecimento de pontes catiônicas nos colóides de argila entre o Ca^{2+} com grupos carboxílicos e fenólicos da MOS.

Nos itens anteriores, foi relatado a importância dos agregados sobre o controle da decomposição microbiana no processo de recuperação de C em SPD. Como mencionado previamente, a formação e estabilização dos macroagregados passa primeiramente pela proteção contínua do solo (plantas vivas ou cobertura morta) e deposição constantes de C-resíduos, porém a calagem também desempenha papel importante nesse processo. No mesmo experimento citado acima, Briedis et al. (2012b) observaram aumento do diâmetro de agregados no tratamento com aplicação e reaplicação de calcário (Figura 28), indicando maior agregação e maior proteção física do C nessas condições. A maior quantidade de raízes reportada no tratamento com calagem foi um dos fatores para a maior agregação. As raízes quando vivas, juntam fisicamente par-

tículas de solo e liberam compostos cimentantes que estabilizam agregados. Quando mortas, elas ainda podem ser o núcleo de formação de novos agregados, uma vez que servem de energia para o desenvolvimento dos microrganismos do solo, os quais produzem polissacarídeos capazes de estabilizar agregados, principalmente os macros. No trabalho de Briedis e colaboradores (2012a), maior concentração de polissacarídeos e C microbiano (observado pelo C extraído por água quente) foi observado no tratamento com calagem. Outro elemento importante para a maior agregação do solo e maior proteção física do C em solos que receberam calcário e gesso é o próprio Ca. O Ca pode exercer uma influência na complexação organo-mineral, atuando como ponte catiônica entre partículas de argila e matéria orgânica, aumentando a agregação do solo, principalmente em nível de microagregado. Esse papel do Ca a nível de micro-escala pode ser apontado como um dos principais mecanismos para o efeito de longo prazo da calagem na estabilidade estrutural do solo.

Tabela 4. Estoque de C influenciado pela calagem superficial em sistema plantio direto conduzido na região dos Campos Gerais-PR.

Profundidade cm	Dose de calcário em superfície, Mg ha ⁻¹			
	0+0 ¹	6+0	0+3	6+3
	----- COT, Mg ha ⁻¹ -----			
0-2,5	8,40 b	9,55 ab	9,26 b	10,82 a
2,5-5	7,72 b	7,74 b	7,95 b	9,40 a
5-10	12,72 b	13,98 ab	13,19 ab	14,15 a
10-20	21,02 b	21,66 b	22,25 ab	23,16 a
Σ 0-20	49,85 b	52,93 ab	52,66 ab	57,63 a

¹Os números antes do sinal de adição representam as doses de calcário aplicadas em 1993 e os depois do sinal representam as doses de calcário aplicadas em 2000. ²Letras iguais minúsculas nas linhas, comparando tratamentos e maiúsculas nas colunas, comparando profundidade, não diferem entre si pelo teste de LSD ao nível de 5% de probabilidade
Fonte: Briedis et al, 2012a

Além de aumentar a agregação a nível de microagregados, e com isso aumentar a proteção da MOS (atuação indireta), a ponte catiônica entre Ca²⁺ e a MOS pode ser considerado um mecanismo direto de acúmulo de C em solos que receberam calcário e gesso. Quando o Ca²⁺ atua como ligação entre MOS e argila através da união de cargas negativas dos dois coloides, ele permite uma proteção química da MOS contra a ação microbiana, sendo um dos principais mecanismos para o controle de decomposição da MOS por longo período. Classicamente, tem-se considerado que o Ca²⁺ interage com a MOS através de reações de esfera externa, as quais são consideradas fracas e de curta duração. Entretanto, trabalhos mais atuais já consideram a possibilidade dessa reação ser de esfera interna, principalmente com grupamentos carboxílicos, o que a torna a interação Ca-MOS muito mais forte e de longa duração (Rowley et al, 2018). A elevada dependência de Ca com o C a nível molecular foi demonstrada através da análise de agregados do solo por espectroscopia de raios X com dispersão de energia (Briedis et al., 2012b). Nessa análise, foi demonstrado que a relação existente entre Ca e C foi maior no tratamento com calagem (R² = 0,70) do que no tratamento sem calcário (R² = 0,51). Além disso, foi demonstrado que o C teve maior correlação a nível molecular com o Ca do que com Al (R² = 0,43) e Fe (R² = 0,01), dois elementos abundantes em solos brasileiros.

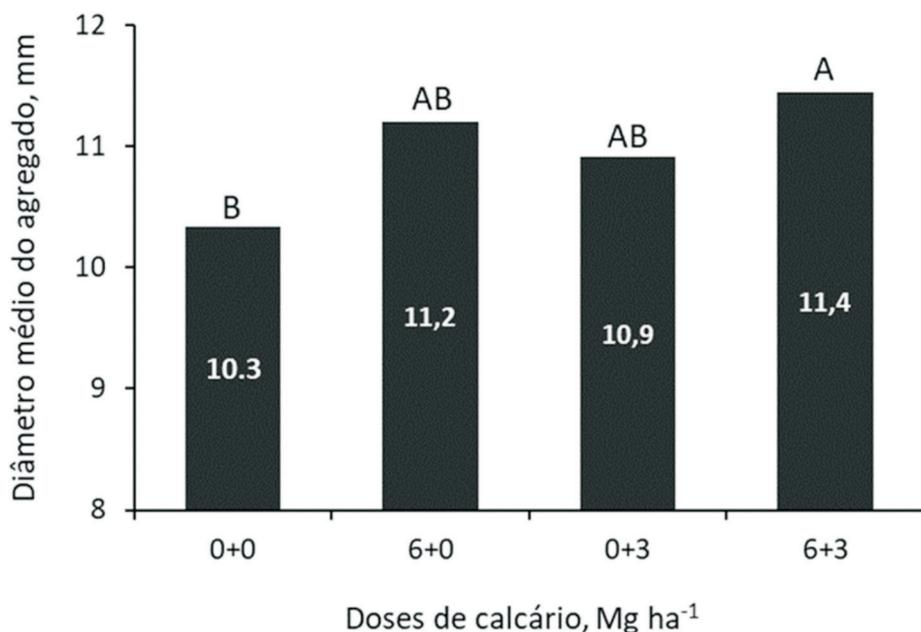


Figura 28. Diâmetro médio de agregados influenciado pela calagem superficial em sistema plantio direto conduzido na região dos Campos Gerais-PR. Os números antes do sinal de adição representam as doses de calcário aplicadas em 1993 e os depois do sinal representam as doses de calcário aplicadas em 2000. Letras iguais não diferem entre si pelo teste de LSD ao nível de 5% de probabilidade. Fonte: Briedis et al, 2012b.

Além disso, as relações do Ca com os compartimentos do C, tais como o C lábil (extraído por água quente e o extraído com a solução de permanganato de K a baixa concentração) e o C particulado (extraído por peneiramento via úmida) demonstram a importância do Ca na atividade biológica, mensurada com a enzima Arylsulfatase, à estabilização do C no solo (Figura 29).

Adicionalmente ao aumento do Ca no solo, o acúmulo de C é identificado pela reação da enzima Arylsulfatase (ligada ao ciclo de S no solo) respondendo positivamente ao aumento de Ca via gesso. Esse resultado demonstra que em condições naturais de solos dos trópicos, o Fe e Al são os principais cátions que atuam como ponte catiônica, mas em solos agrícolas que receberam calcário e gesso, o Ca se torna a ponte catiônica mais importante. Posteriormente, Inagaki et al. (2016) reportou aumento na taxa de sequestro com a aplicação de gesso que variou de 0,26 a 0,33 Mg C ha⁻¹ ano⁻¹.

Em resumo, a calagem e gessagem em doses adequadas promovem maior produção de biomassa-C (principalmente raízes), maior agregação do solo e maior interação Ca-MOS, tornando-se, portanto, uma ferramenta essencial para acúmulo de C ao longo do tempo em solos brasileiros.

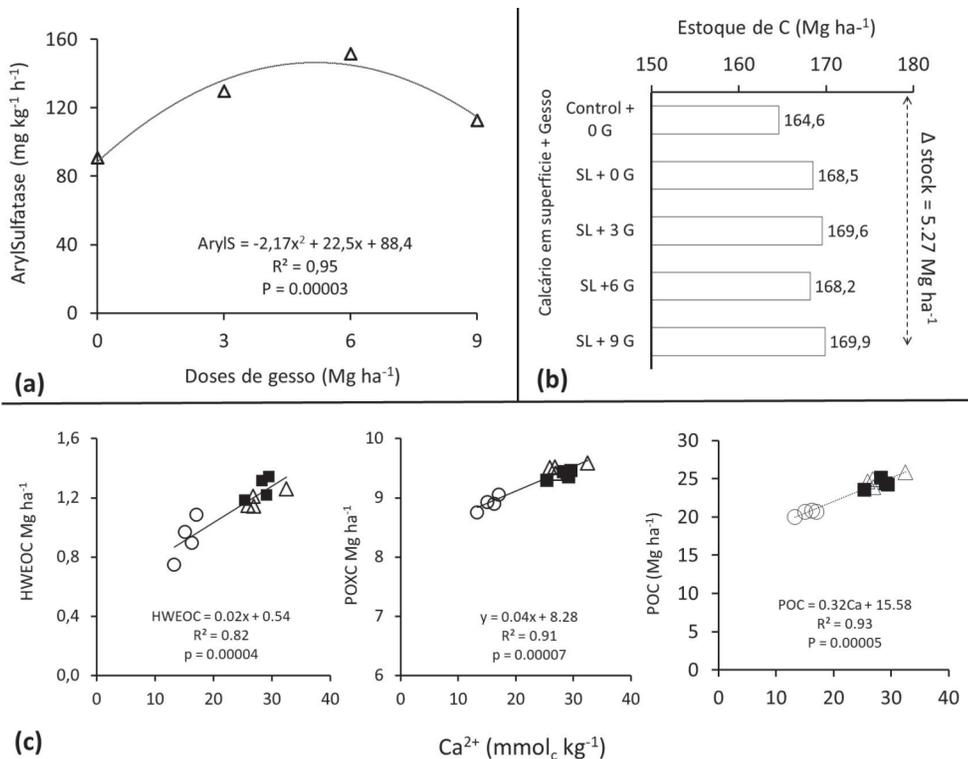


Figura 29. (a) resposta da enzima ArylSulfatase a doses de gesso em experimento de longa duração em plantio direto (cedido por prof. Eduardo F. Caires) com calcário e gesso; (b) aumento do estoque de C no solo na camada de 0-40 cm em função de doses de gesso; (c) relação linear entre C extraído por água quente (HWEOC), C oxidado por solução de baixa concentração de permanganato de K (POXC) e o C orgânico particulado obtido com o tamizamento em peneira de 250 e 53 μm . Fonte: Adaptado de Briedis et al., 2012

9. Balanço de C em sistemas de produção com elevado aporte de C e baixa emissão de CO_2

A agricultura de C baseia-se em maximizar o acúmulo no solo do C fixado pelas plantas cultivadas durante a fotossíntese. A variação de C do solo pode ser expressa da seguinte forma:

$\text{C orgânico do solo} = \text{Aporte de C via fotossíntese} - [(\text{C Respiração da Planta} + \text{C decomposição pela microbiota do solo}) + (\text{C Perdas por Erosão} + \text{C Perdas por lixiviação})]$.

Onde a entrada de C via fotossíntese representa a entrada líquida primária através da biomassa seca (parte aérea + raízes) e os outros componentes constituem as transformações e saídas de C. Assim, o acúmulo de C no solo ocorrerá apenas quando os aportes de biomassa-C forem maiores do que as perdas de C (Lal, 2004; Sá et al., 2015; Lal et al., 2018; Sá et al., 2022). O desafio dos sistemas de produção será gerenciar a entrada de biomassa-C de uma forma que exceda a quantidade mínima de C exigida para atingir o nível de equilíbrio dinâmico de C no solo, ou seja, balanço neutro ou zero. Para o ambiente tropical, a quantidade mínima de C é estimada em 5,1 a 5,8 $\text{Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (Figura 30), equivalente a 11,7 a 13,3 $\text{Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de biomassa seca (Sá et al., 2015).

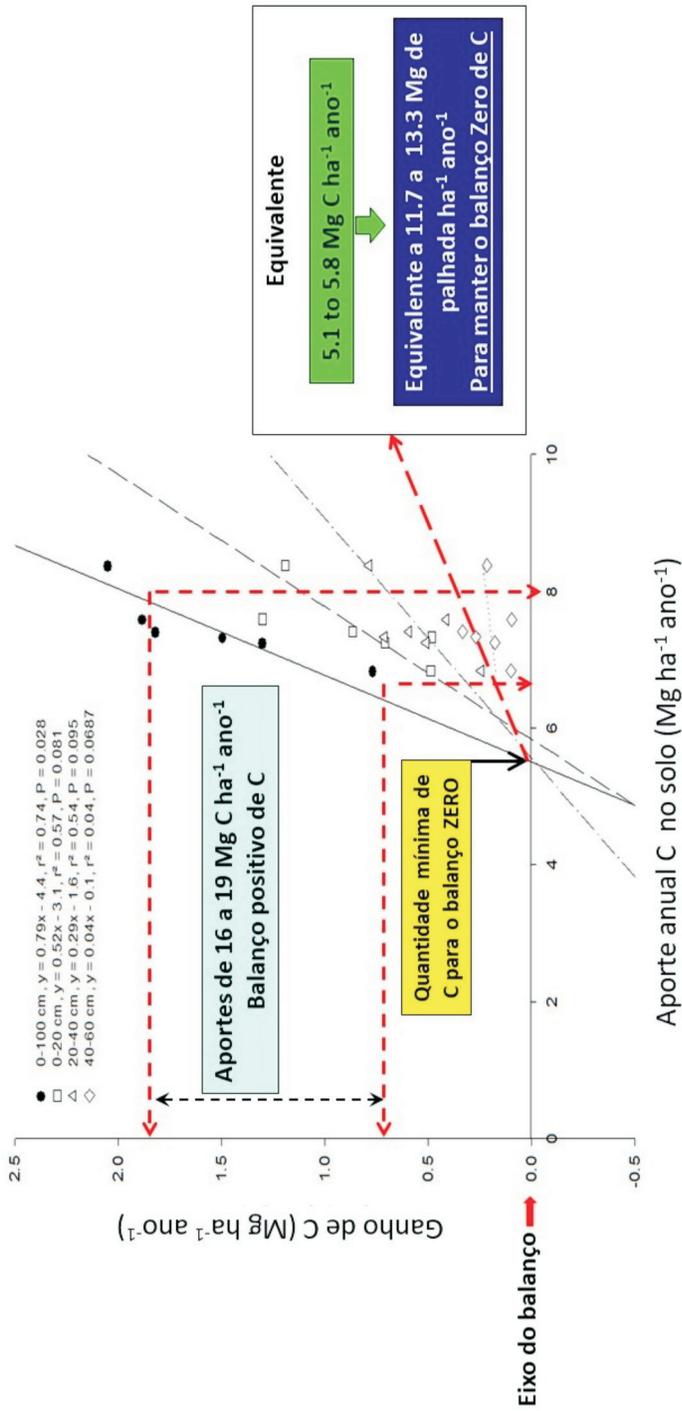


Figura 30. Quantidade mínima de C e equivalente palhada (Parte aérea + Raízes) para manter o equilíbrio dinâmico de C na região dos Cerrados (locais envolvidos: Sinop, Lucas do Rio Verde, Campo Verde em MT) e quantidade para atingir o balanço positivo de C. Fonte: Adaptado de Sá et al., 2006 e 2015.

Em sistemas agrícolas, o balanço anual de C pode ser calculado usando a seguinte expressão:

Balanço de C do solo (taxa líquida de sequestro de C) = [(entrada de biomassa-C x taxa de humificação) - (taxa de decomposição de C do solo x estoque de C do solo)]

Onde, o balanço de C é representado pela taxa líquida de sequestro de C considerando o aporte de biomassa-C (parte aérea + raízes), a taxa de humificação representada pela % de conversão de C da biomassa seca em C do solo (para Lucas do Rio Verde-MT e Luiz Eduardo Magalhães-BA a % de humificação é de 19% ou 0,19); a taxa de decomposição de C do solo representa a % de C que é perdida anualmente pela atividade da microbiota do solo no sistema plantio direto para a região de Lucas do Rio Verde-MT e Luiz Eduardo Magalhães-BA (1,2% e 1,6% ao ano, respectivamente); o estoque de C do solo foi calculado por meio dos dados obtidos através da amostragem do solo (teor de C do solo e densidade do solo) para a camada de 0-20cm.

Tabela 5. Balanço de carbono em um sistema de produção sob plantio direto em Lucas do Rio Verde-MT.

Período do Balanço de C	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5
Rotação de cultivos	Soja/Milho + Brq Rz	Soja/Milho + Crt Ochrol	Soja/ Mix CC	Arroz/Nabo Forrageiro	Soja/Milho + Brq Rz
Componentes do balanço	----- Mg ha ⁻¹ -----				
Aporte anual de MS (parte aérea)*	15.94	14.21	9.03	5.84	17.69
Aporte anual de MS (raiz)	3.94	3.19	2.54	1.49	3.92
Aporte anual total de MS	19.88	17.40	11.56	7.32	21.61
Aporte anual total de C	7.02	6.12	5.01	3.14	9.59
Taxa de sequestro bruta §	1.33	1.16	0.95	0.60	1.82
Estoque de C solo (0-20cm)	40.50	41.35	42.02	42.46	42.55
Taxa anual de decomposição (perdas)	0.49	0.50	0.50	0.51	0.51
Taxa líquida de sequestro = C Balance	0.84	0.66	0.45	0.09	1.31
Média de 05 anos					0.66

C= carbono; Brq Rz= *Brachiaria ruziziensis*; Crt Ochrol = *Crotalaria ochroleuca*; Mix de CC= consórcio de plantas de cobertura.
Fonte: Sá, J.C.M., 2022, dados não publicados.

O balanço positivo de C em Lucas do Rio Verde-MT (Tabela 5) e Luiz Eduardo Magalhães-BA (Tabela 6) é o resultado da combinação da quantidade de biomassa adicionada + qualidade da biomassa + frequência de adição (Sá et al., 2022). Isso significa que atendemos o que é preconizado na fundamentação do sistema plantio direto (SPD): ausência de revolvimento, solo permanentemente coberto e diversificação na rotação de cultivos. Além disso, a quantidade de C aportada é superior a preconizada como quantidade mínima para atender o equilíbrio dinâmico de C no solo.

Tabela 6. Balanço de carbono para Luiz Eduardo Magalhães-BA.

Período do Balanço de C	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5
Rotação de cultivos	Soja/Sorgo + Brq Rz	Soja/Milleteo + Mombassa	Milho/ Brq Rz	Soja/Milho + Brq Bzt	Soja/Sorgo + Brq Rz
Componentes do balanço	----- Mg ha ⁻¹ -----				
Aporte anual de MS (parte aérea)*	14.40	14.67	17.34	16,64	17.83
Aporte anual de MS (raiz)	3.57	4.48	4.91	4.42	3.94
Aporte anual total de MS	17.97	19.14	22.25	21.07	21.77
Aporte anual total de C	5.96	6.26	10.02	9.31	9.65
Taxa de sequestro bruta §	1.13	1.19	1.90	1.77	1.83
Estoque de C solo (0-20cm)	20,50	21,30	22,15	23,70	25,09
Taxa anual de decomposição (perdas)	0,33	0,34	0,35	0,38	0,40
Taxa líquida de sequestro = Balanço de C	0,80	0,85	1,55	1,39	1,43
					1,205

Em ambos locais, a quantidade média de C aportado (5 anos de monitoramento) foi de 6,17 e 8,24 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ para Lucas do Rio Verde-MT e Luiz Eduardo Magalhães-BA, sendo superior a quantidade mínima exigida para o equilíbrio dinâmico de C no solo. Em ambiente tropical o grande desafio é a manutenção do SPD contínuo, fundamentado na entrada de biomassa-C através do elevado aporte, com qualidade e frequência, para recuperar o C perdido e compensar as perdas de C em anos com limitação hídrica. O tempo de retorno do C com base nas taxas de sequestro em região subtropical e tropical levam à recuperação do C perdido da vegetação nativa + solo em 77 e 49 anos, respectivamente, indicando que é acessível e viável em uma ou duas gerações de agricultores.

10. Balanço de C em sucessão Soja-Milho e monocultivo de Soja em região tropical

A discussão sobre o cultivo de soja em sucessão com o milho safrinha (segunda safra) tem gerado intenso debate. Em algumas regiões do Brasil, tais como, sudoeste e centro sul do Paraná, Mato Grosso do Sul (Dourados e vizinhança) e Mato Grosso (eixo de Sinop a Tangará da Serra e outras) e Bahia, a produção de milho varia desde 6850 Kg/ha (cerca de 115 sacas) a 10800 kg/ha (180 sacas). Entretanto os valores mais frequentes situam-se entre 7000 e 7500 kg/ha e em consequência teremos balanço de C neutro (Zero) ou negativo em anos com menor precipitação pluviométrica (Tabela 7).

Tabela 7. Balanço de C para a sucessão soja / milho safrinha em Lucas do Rio Verde-MT.

Período Balanço de C	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5
Sucessão de cultivos	Soja/Milho	Soja/Milho	Soja/Milho	Soja/Milho	Soja/Milho
Produção de grãos (ton/ha)	3,6 + 7,0	3,7 + 7,0	3,2 + 7,0	3,0 + 6,3	3,2 + 7,1
Componentes do balanço	----- Mg ha ⁻¹ -----				
Aporte anual de MS (parte aérea)	10,16	10,24	9,85	8,96	9,95
Aporte anual de MS (raiz)	1,92	1,93	1,87	1,70	1,89
Aporte anual total de MS	12,08	12,17	11,72	10,65	11,84
Aporte anual total de C	4,47	4,51	5,16	4,68	5,21
Taxa de sequestro bruta §	0,85	0,86	0,98	0,89	0,99
Estoque de C solo (0 -20 cm)	40,50	40,50	40,66	40,79	40,82
Taxa anual Perdas*	0,85	0,85	0,85	0,86	0,86
Taxa líquida de sequestro = Balanço de C †	0,00	0,10	0,13	0,03	0,13
Média de 5 anos					0,08

* Taxa anual de Perdas considera o coeficiente de decomposição na sucessão Soja-Milho = 2,1% (0,021); cálculo da taxa anual de perdas = 0,021 x 40,5 (estoque de C no solo 0-20cm) = 0,85

† Taxa de sequestro bruta - Taxa anual de perdas (0,85 - 0,85 = 0,00)

A sucessão soja / milho safrinha não promoverá acúmulo de C no solo que possa evitar um colapso do sistema. Em anos de estiagem a produção de grãos será menor e produzirá menor quantidade de biomassa-C gerando balanço negativo e deixará o sistema vulnerável às intempéries climáticas. A figura 31 sumariza a taxa de aporte, taxa de sequestro de C e o tempo de recuperação de C em função do sistema de produção.

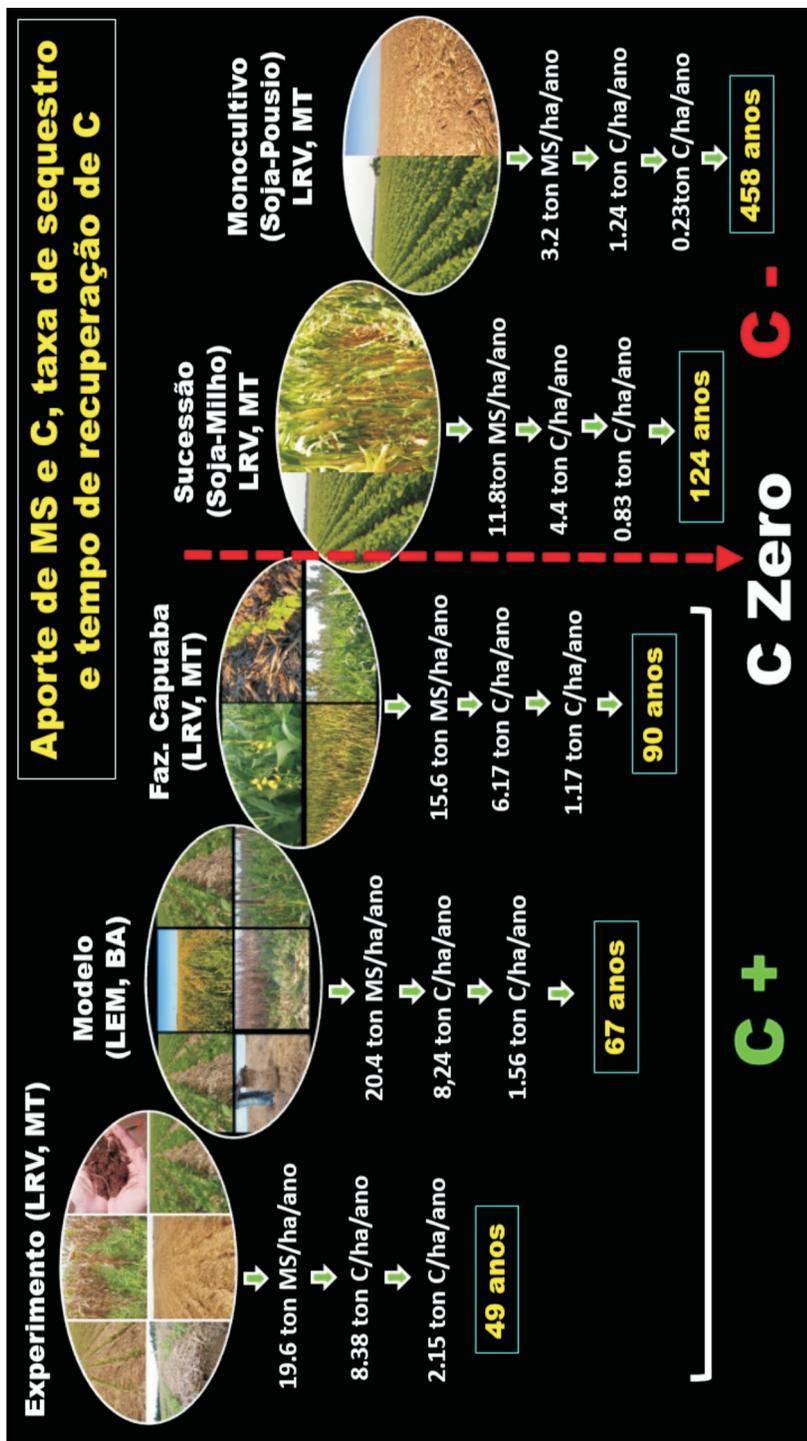


Figura 31. Balanço e tempo de recuperação de C em função do sistema de produção em SPD

11. Considerações finais

O manejo do C em solos das regiões subtropicais e tropicais do Brasil é preponderante para construir a fertilidade química, física e biológica. Irá promover maior resiliência e capacidade de aumentar a produção nos anos com condições climáticas favoráveis (“anos bons”) e resistir e tolerar à queda na produção em anos com período de estiagem e com isso reduzindo riscos na atividade agrícola. Além disso, promover serviços ecossistêmicos que irão beneficiar a sociedade alocada nas cidades grandes e consumidoras de alimentos e benefícios do sistema agrícola.

Referências

- BRIEDIS, C.; SÁ, J.C.M.; LAL, R.; TIVET, F.; DE OLIVEIRA FERREIRA, A.; FRANCHINI, J. C.; SCHIMIGUEL, R.; DA CRUZ HARTMAN, D.; SANTOS, J. Z. D. Can highly weathered soils under conservation agriculture be C saturated? **Catena**, v. 147, p. 638-649, 2016.
- BRIEDIS, C.; SÁ, J.C.M.; LAL, R.; TIVET, F.; FRANCHINI, J. C.; DE OLIVEIRA FERREIRA, A.; DA CRUZ HARTMAN, D.; SCHIMIGUEL, R.; BRESSAN, P. T.; INAGAKI, T. M.; ROMANIW, J.; GONÇALVES, D. R. P. How does no-till deliver carbon stabilization and saturation in highly weathered soils? **Catena**, v. 163, p. 13-23, 2018.
- BRIEDIS, C.; SÁ, J. C. D. M.; CAIRES, E. F.; NAVARRO, J. D. F.; INAGAKI, T. M.; BOER, A.; FERREIRA, A. D. O.; NETO, C. Q.; CANALLI, L. B.; BÜRKNER DOS SANTOS, J. Changes in Organic Matter Pools and Increases in Carbon Sequestration in Response to Surface Liming in an Oxisol under Long-Term No-Till. **Soil Science Society of America Journal**, v. 76, n. 1, p. 151-160, 2012a.
- BRIEDIS, C.; SÁ, J.C.M.; CAIRES, E. F.; NAVARRO, J. D. F.; INAGAKI, T. M.; BOER, A.; NETO, C. Q.; FERREIRA, A. D. O.; CANALLI, L. B.; SANTOS, J. B. D. Soil organic matter pools and carbon-protection mechanisms in aggregate classes influenced by surface liming in a no-till system. **Geoderma**, v. 170, p. 80-88, 2012b.
- CASTRO FILHO, C.; LOURENÇO, A.; DE F. GUIMARÃES, M.; FONSECA, I. C. B. Aggregate stability under different soil management systems in a red latosol in the state of Parana, Brazil. **Soil and Tillage Research**, v. 65, n. 1, p. 45-51, 2002.
- DE OLIVEIRA FERREIRA, A.; SÁ, J.C.M.; LAL, R.; TIVET, F.; BRIEDIS, C.; INAGAKI, T. M.; GONÇALVES, D. R. P.; ROMANIW, J. Macroaggregation and soil organic carbon restoration in a highly weathered Brazilian Oxisol after two decades under no-till. **Science of The Total Environment**, v. 621, p. 1559-1567, 2018.
- DE OLIVEIRA FERREIRA, A.; SÁ, J.C.M.; FABÍOLA, N.; GIAROLA, B.; HARMS, M. G.; MIARA, S.; BAVOSO, M. A.; BRIEDIS, C.; NETTO, C. Q. Variação na resistência tênsil de agregados em função do conteúdo de carbono em dois solos na região dos Campos Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 2, p. 437-445, 2011.
- FUENTES-LLANILLO, R.; TELLES, T. S.; SOARES JUNIOR, D.; DE MELO, T. R.; FRIEDRICH, T.; KASSAM, A. Expansion of no-tillage practice in conservation agriculture in Brazil. **Soil and Tillage Research**, v. 208, p. 104877, 2021.
- GREEN, V. S.; STOTT, D. E.; CRUZ, J. C.; CURTI, N. Tillage impacts on soil biological activity and aggregation in a Brazilian Cerrado Oxisol. **Soil and Tillage Research**, v. 92, n. 1-2, p. 114-121, 2007.
- LAL, R. Soil carbon sequestration to mitigate climate change. **Geoderma**, v. 123, n. 1-2, p. 1-22, 2004.

LAL, R.; SMITH, P.; JUNGKUNST, H. F.; MITSCH, W. J.; LEHMANN, J.; NAIR, P. K. R.; MCBRATNEY, A. B.; DE MORAES SÁ, J. C.; SCHNEIDER, J.; ZINN, Y. L.; SKORUPA, A. L. A.; ZHANG, H.-L.; MINASNY, B.; SRINIVASRAO, C.; RAVINDRANATH, N. H. The carbon sequestration potential of terrestrial ecosystems. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 73, n. 6, p. 145A-152A, 2018.

ROTH, C. H.; PAVAN, M. A. Effects of lime and gypsum on clay dispersion and infiltration in samples of a Brazilian Oxisol. **Geoderma**, v. 48, n. 3, p. 351-361, 1991.

ROWLEY, M. C.; GRAND, S.; VERRECCHIA, É. P. Calcium-mediated stabilisation of soil organic carbon. **Biogeochemistry**, v. 137, n. 1, p. 27-49, 2018.

SÁ, J.C.M.; CERRI, C. C.; DICK, W. A.; LAL, R.; FILHO, S. P. V.; PICCOLO, M. C.; FEIGL, B. E. Organic Matter Dynamics and Carbon Sequestration Rates for a Tillage Chronosequence in a Brazilian Oxisol. **Soil Science Society of America Journal**, v. 65, n. 5, p. 1486-1499, 2001.

SÁ, J.C.M.; SÉGUY, L.; GOZÉ, E.; BOUZINAC, S.; HUSSON, O.; BOULAKIA, S.; TIVET, F.; FOREST, F.; DOS SANTOS, J. B. Carbon sequestration rates in no-tillage soils under intensive cropping systems in tropical agroecosystems. **Edafologia**, vol 13, n3, p. 139-150, 2006

SÁ, J.C.M.; CERRI, C. C.; LAL, R.; DICK, W. A.; DE CASSIA PICCOLO, M.; FEIGL, B. E. Soil organic carbon and fertility interactions affected by a tillage chronosequence in a Brazilian Oxisol. **Soil and Tillage Research**, v. 104, n. 1, p. 56-64, 2009.

SÁ, J.C.M.; SÉGUY, L.; TIVET, F.; LAL, R.; BOUZINAC, S.; BORSZOWSKI, P. R.; BRIEDIS, C.; DOS SANTOS, J. B.; DA CRUZ HARTMAN, D.; BERTOLONI, C. G.; ROSA, J.; FRIEDRICH, T. Carbon Depletion by Plowing and its Restoration by No-Till Cropping Systems in Oxisols of Subtropical and Tropical Agro-Ecoregions in Brazil. **Land Degradation & Development**, v. 26, n. 6, p. 531-543, 2015.

SÁ, J.C.M.; TIVET, F.; LAL, R.; BRIEDIS, C.; HARTMAN, D. C.; DOS SANTOS, J. Z.; DOS SANTOS, J. B. Long-term tillage systems impacts on soil C dynamics, soil resilience and agronomic productivity of a Brazilian Oxisol. **Soil and Tillage Research**, v. 136, p. 38-50, 2014.

SÁ, J.C.M.; LAL, R.; BRIEDIS, C.; DE OLIVEIRA FERREIRA, A.; TIVET, F.; INAGAKI, T. M.; POTMA GONÇALVES, D. R.; CANALLI, L. B.; BURKNER DOS SANTOS, J.; ROMANIW, J. Can C-budget of natural capital be restored through conservation agriculture in a tropical and subtropical environment? **Environmental Pollution**, v. 298, p. 118817, 2022.

SÁ, J.C.M.; POTMA GONÇALVES, D. R.; FERREIRA, L. A.; MISHRA, U.; INAGAKI, T. M.; FERREIRA FURLAN, F. J.; MORO, R. S.; FLORIANI, N.; BRIEDIS, C.; DE OLIVEIRA FERREIRA, A. Soil carbon fractions and biological activity based indices can be used to study the impact of land management and ecological successions. **Ecological Indicators**, v. 84, n. Supplement C, p. 96-105, 2018.

TISDALL, J. M.; OADES, J. M. Organic matter and water-stable aggregates in soils. **Journal of soil science**, v. 33, n. 2, p. 141-163, 1982.

TIVET, F.; SÁ, J.C.M.; LAL, R.; BRIEDIS, C.; BORSZOWSKI, P. R.; DOS SANTOS, J. B.; FARIAS, A.; EURICH, G.; HARTMAN, D. D. C.; NADOLNY JUNIOR, M.; BOUZINAC, S.; SÉGUY, L. Aggregate C depletion by plowing and its restoration by diverse biomass-C inputs under no-till in sub-tropical and tropical regions of Brazil. **Soil and Tillage Research**, v. 126, p. 203-218, 2013a.

TIVET, F.; SÁ, J.C.M.; LAL, R.; MILORI, D. M. B. P.; BRIEDIS, C.; LETOURMY, P.; PINHEIRO, L. A.; BORSZOWSKI, P. R.; HARTMAN, D. D. C. Assessing humification and organic C compounds by laser-induced fluorescence and FTIR spectroscopies under conventional and no-till management in Brazilian Oxisols. **Geoderma**, v. 207-208, p. 71-81, 2013b.

Fertilidade do Solo e Manejo da Acidez e da Adubação em Sistema Plantio Direto

Dr. Pedro Alexandre Varella Escosteguy, Dr. Leandro Souza da Silva,
Dr. Álvaro Vilela de Resende e Me. Sandra Mara Vieira Fontoura

1 - Evolução dos atributos químicos do solo nas fases do SPD em sistemas de produção agrícola

Nos primeiros anos após a adoção do sistema plantio direto (SPD), em relação ao sistema de preparo convencional de solo (SPC), os teores dos nutrientes e de outros atributos químicos variam de forma marcante no perfil do solo, conhecida por ser a fase de implantação do sistema. No SPD, os teores de matéria orgânica (MO) do solo aumentam gradativamente nas camadas mais superficiais (0-5 ou 0-10 cm), de forma mais intensa em regiões mais frias e áreas com maior aporte de resíduos vegetais. Esse aumento resulta, principalmente, do não revolvimento do solo, já que esse é mobilizado apenas na linha de semeadura, e da menor perda de solo por erosão. O teor de MO aumenta até atingir uma concentração de equilíbrio entre as taxas de adição e de humificação de carbono orgânico, principal elemento constituinte, representando cerca de 58% da MO do solo. Esse equilíbrio depende das características de cada ambiente e do manejo adotado pelo produtor. Durante essa fase, outras propriedades químicas, físicas e biológicas do solo vão sendo modificadas, até que atinjam um patamar de menor variação, caracterizando a fase de consolidação do SPD.

O acréscimo de MO, que pode acontecer já nos primeiros anos do SPD, ocorre associado com o aumento do pH e teores de nutrientes também nas camadas superficiais, resultado da aplicação de corretivos de acidez e fertilizantes na superfície ou na linha de semeadura e sem o revolvimento do solo. O aumento da atividade biológica e da ciclagem de nutrientes, a maior capacidade do solo em tamponar a acidez e em reter cátions em formas trocáveis (maior capacidade de troca de cátions, ou CTC), e

a menor atividade de formas tóxicas de alumínio (Al) na solução do solo, sucedem os acréscimos de MO, nutrientes e de pH observado nos primeiros anos do SPD. Por outro lado, nessa fase, temporariamente, ocorre maior imobilização de nitrogênio (N), e que pode se estender por muitos anos, até que o SPD esteja consolidado. O tempo de consolidação desse sistema varia com as condições edafoclimáticas de cada local e do sistema de manejo, e pode demorar até dez anos até que ocorra a condição de plantio direto consolidado.

1.1 - Solos do Cerrado

Nos solos do Cerrado, a adoção do SPD foi mais recente, comparativamente à região Sul do Brasil, e a evolução do sistema de acordo com as premissas de não revolvimento do solo, com cobertura permanente de palhada e rotação de culturas, ainda esbarra em limitações. As principais dificuldades de implantação dentro do conceito pleno de SPD podem ser atribuídas à ocorrência de uma estação seca com duração de vários meses na entressafra, o que restringe as possibilidades de introdução de uma maior quantidade de espécies para cultivo ao longo do ano, as quais serviriam para incrementar o aporte de resíduos vegetais (palhada) e a diversificação de sistemas de produção.

A rigor, a estação chuvosa nos principais polos agrícolas do Cerrado permite apenas cultivos de safra (primavera/verão) e segunda safra (verão/outono). Atualmente, a modalidade amplamente predominante consiste no sistema soja/milho segunda safra, enquanto algodão, trigo, feijão e sorgo participam em menor proporção. Assim, a rotação de culturas não tem sido um padrão modal no Cerrado e muito do que entra nas estatísticas como área de SPD, na realidade, trata-se apenas de semeadura direta. Também nesse sentido, a recorrência da sucessão soja/milho segunda safra tem aproximado as lavouras à condição semelhante à monocultura.

Além da limitada diversificação de culturas, que reduz o aporte de restos culturais, as temperaturas médias mais elevadas contribuem para o contraste entre o Cerrado e o Sul do Brasil no tocante às possibilidades de aumento da MO do solo pelo SPD. Mesmo sem o revolvimento do solo, a decomposição da palhada é acelerada sob condições de alta temperatura e umidade na época chuvosa. Desse modo, o acúmulo de restos culturais não se sustenta e costuma ser insuficiente até mesmo para uma adequada proteção do solo contra a erosão. Mesmo em sistemas com maior adição de resíduos, os incrementos nos níveis de MO tendem a ocorrer em mais longo prazo de adoção do SPD no Cerrado, estendendo a fase de implantação do sistema. De acordo com Bayer et al. (2006), o acúmulo médio de C até a profundidade de 20 cm em áreas sob SPD é da ordem de 350 e 480 kg ha⁻¹ ano⁻¹ para condições tropicais e subtropicais no território brasileiro, respectivamente. Nesse contexto, estima-se que seria necessária a adição anual ao redor de 12,5 t ha⁻¹ de biomassa seca de restos culturais para manter a sustentabilidade do SPD em lavouras no Norte do Mato Grosso (Sá et al., 2015) e cerca de 10 t ha⁻¹ nas áreas do Rio Grande do Sul (Bayer et al., 2019).

O desafio dos produtores no Cerrado para alcançar um SPD de qualidade é grande, mas tem progredido a percepção de que investir em intensificação e diversificação de sistemas dá retorno, mesmo quando envolve espécies sem remuneração direta, como no caso das plantas de cobertura. Com essa perspectiva, vem aumentando as áreas com inserção de crotalárias, nabo forrageiro, milheto e gramíneas forrageiras tropicais, aproveitando as últimas chuvas antes do período seco ou mesmo em consórcios com as culturas de grãos. Os benefícios incluem ciclagem de nutrientes, maior adição de C ao sistema, prevenção da compactação e controle fitossanitário (nematóides, mofo branco, etc).

Casos de sucesso têm sido o cultivo consorciado de espécies de braquiária e *Panicum* com o milho verão ou segunda safra, objetivando aumentar a produção de palhada no SPD ou viabilizar o sistema de integração lavoura-pecuária (ILP). O bioma Cerrado abrange entre 50 e 60 milhões de hectares de pastagens cultivadas, em que cerca de 80% destes possuem algum grau de degradação, conforme estimativas disponíveis. Sendo a MO o pilar da sustentabilidade da fertilidade do solo e sua perda um dos principais fatores que acentuam a degradação, fica claro o papel da ILP e do SPD na reversão desse problema que é alvo de severas críticas pela comunidade internacional, com repercussões geopolíticas e econômicas relevantes para o Brasil.

1.2 - Terras Altas do Sul do Brasil

As áreas com cultivo de cereais e pastagens em terras altas do Sul do Brasil normalmente são caracterizadas por uma boa distribuição de chuvas durante praticamente todo o ano, possibilitando adequado suprimento de água às culturas no verão e no inverno. Em termos de manejo de solos, com destaque para a região Centro-Sul do PR e Planalto do RS, a fase inicial de desenvolvimento da agricultura foi baseada no SPC, com intenso revolvimento do solo por meio de aração e gradagens, principalmente para implantação da soja no verão. As consequências do revolvimento do solo, associado à ocorrência de chuvas intensas foram graves, com elevadas perdas de solo fértil por erosão hídrica. Como isso resultou na degradação do solo, houve uma grande preocupação com a melhoria do manejo de solo na região. Nesse contexto, a área com SDP na região Centro-Sul do PR passou de 5% na década de 70, para 30% na década de 80 e mais de 95% a partir de 1995 (Fontoura et al., 2015).

Em termos de qualidade do manejo de solos, tão importante quanto a adoção do SPD, foi a ampliação da área cultivada com cereais de inverno, pastagens ou plantas de cobertura, que foi fundamental para formação de palhada para cobrir o solo sob SPD. Além disso, outro grande avanço em termos de manejo de solos na região foi a ampliação da área com rotação de culturas de soja (2/3) - milho (1/3). Dessa forma, o SPD tem contribuído para a melhoria da estabilidade de agregados, maior armazenamento de água, aumento dos teores de MO, dos valores da capacidade de troca de cátions (CTC) e do aumento dos teores de P, K, Ca e Mg no solo, em comparação ao SPC, refletindo em incremento na produtividade da soja, milho e cereais de inverno (Fontoura e Bayer, 2008).

1.3 - Terras Baixas do Sul do Brasil

Nas terras baixas do RS e SC, o cultivo do arroz irrigado é a principal atividade econômica, às vezes associado com pastagens na pecuária de corte extensiva ou, mais recentemente, em rotação com cultivos de sequeiro como a soja. Essas terras se situam em áreas de relevo plano à suave ondulado, com baixa suscetibilidade à erosão e facilmente mecanizáveis, mas com restrições físicas e difícil drenagem. O sistema tradicional de cultivo de arroz irrigado foi o preparo convencional com intensa mobilização do solo, tendo em vista a necessidade de preparar a área para a semeadura e a construção das taipas de irrigação. Esse sistema promoveu, ao longo do tempo, uma degradação dos atributos físicos do solo e, na maioria dos solos sob esse sistema, os teores de MO e a disponibilidade de P são baixos, enquanto a disponibilidade de K é média (Marchesan et al., 2019).

Como as áreas de cultivo de arroz irrigado não estão sujeitas à erosão, como nas terras altas, não existe um apelo ao uso de sistemas conservacionistas. Entretanto, nas

últimas décadas, a baixa rentabilidade da lavoura arrozeira, entre outros fatores, tem proporcionado a expansão significativa de outros sistemas de manejo, como o cultivo mínimo ou o plantio direto, além da rotação do arroz com a soja. Essa expansão tem sido motivada pela redução de custos e controle mais efetivo do arroz vermelho, sem que os requisitos da mínima movimentação do solo, da cobertura permanente do solo e da rotação de culturas sejam plenamente adotados, como no SPD em terras altas. Assim, o SPD, como preconizado para as terras altas, é pouco utilizado para o cultivo do arroz irrigado.

O manejo conservacionista do arroz em terras baixas passou a envolver o preparo antecipado do solo e das taipas das áreas de pousio ou pós-colheita das áreas de arroz no verão. Essa operação, associada com a possibilidade da semeadura da cultura diretamente sob a resteva dessecada de plantas espontâneas ou cultivadas no inverno, reduziu expressivamente as operações de mobilização do solo no manejo do arroz irrigado, razão pela qual os termos “cultivo mínimo” e “plantio direto” são frequentemente adotados para caracterizar este novo sistema, mas ele também pode ser denominado de “plantio direto com preparo de verão” tendo em vista a realização de revolvimento prévio do solo. Baseado nesse contexto, os impactos da recente adoção dos sistemas conservacionistas e da rotação de culturas em arroz irrigado ainda são pouco percebidos ou menos intensos nas terras baixas como um todo do que aqueles detectados em terras altas.

2 - Variabilidade espacial e amostragem de solo em SPD

Conforme comentado no item 1, os teores de MO e de nutrientes (N, P, K, Ca e Mg, principalmente) concentram nas camadas mais superficiais (0-5 ou 0-10 cm) de solos manejados com o SPD. Inicialmente, também é gerada maior acidez nessas camadas, resultante das reações do ciclo do N no solo (nitrificação), da respiração de microrganismos e do sistema radicular das plantas, e da decomposição dos compostos orgânicos. Contudo, ela pode ser corrigida com a calagem aplicada em superfície, proporcionando um aumento do pH superficial em comparação com as camadas da subsuperfície. Por outro lado, a correção da acidez da subsuperfície (neste capítulo considerada a camada mais profunda que 10 cm, em solos do extremo Sul do Brasil; ou mais profunda que 20 cm, no PR e Cerrado) tende a ser pouco ou lentamente afetada por essa prática. A acidez nessas camadas é típica de solos argilosos e ácidos sob SPD, especialmente aqueles que não foram corrigidos com a incorporação prévia de calcário, ou a dose incorporada foi insuficiente, na implantação do SPD. Outros aspectos relacionados à acidez em subsuperfície e ao manejo da calagem e da gessagem constam no item 4.1 deste Capítulo.

Como o solo no SPD passa a ser mobilizado somente na linha de semeadura e no sulco de deposição de fertilizantes, a concentração de nutrientes pouco móveis, como o P, aumenta em camadas superficiais, pois essa não é misturada e homogeneizada como na camada arável (cerca de 0-20 cm) do sistema convencional. O acúmulo de resíduos vegetais e de MO, incrementando a CTC, associados à aplicação de fertilizantes e de corretivos de acidez na superfície do solo, também contribuem para a formação de camada contendo maior concentração de nutrientes nos primeiros centímetros do perfil do solo. A maior concentração de nutrientes na camada mais superficial também pode resultar da compactação, especialmente de solos argilosos, ocasionada pelo tráfego de máquinas, o que diminui a percolação da solução do solo ao longo do perfil.

Assim, a maior variabilidade vertical dos atributos químicos de solo é uma característica do SPD que, tipicamente, proporciona maior acúmulo de nutrientes nas camadas mais superficiais. Por outro lado, em solos manejados com o SPC, o preparo da camada arável torna os atributos químicos do solo mais homogêneos até a profundidade revolvida, permitindo que uma amostragem do solo na camada de 0 a 20 cm represente bem as condições da lavoura.

A variação vertical dos nutrientes em solos sob o SPD varia com a quantidade aplicada, a solubilidade e reatividade das formas iônicas que ocorrem na solução do solo. Em função disso, a variabilidade do P (fosfatos), em geral, é maior que a do Ca (cátion divalente) e a variabilidade desses dois nutrientes é maior que a do Mg (cátion divalente) e que a do K (cátion monovalente); isso também ocorre com o enxofre (S, na forma de sulfato) e o boro (B, na forma de boratos). Contudo, esses nutrientes são mais solúveis que o P, Ca, Mg e K, o que facilita a correção da disponibilidade e de S e B no solo da camada de 0-20 cm ou abaixo, mesmo com aplicações superficiais dos fertilizantes.

Além da estratificação vertical, a adoção do SPD também promove um aumento da estratificação horizontal dos atributos químicos do solo. Essa varia, principalmente, com a forma de aplicação dos fertilizantes e dos corretivos de acidez, além da rotação de culturas (diferentes espaçamentos entre as linhas de semeadura), a fase de evolução do SPD e a dose e o tipo de fertilizante aplicado. Em geral, a variabilidade horizontal é maior em solos com baixa fertilidade e adubados com a aplicação de fertilizantes na linha de semeadura, comparada à aplicação a lanço. Entretanto, isso se refere à aplicação a lanço efetuada com equipamentos bem regulados, o que nem sempre ocorre. É comum, por exemplo, a aplicação de doses baixas ($< 2,0 \text{ t ha}^{-1}$) de calcário a lanço utilizando distribuidores de discos centrífugos, o que ocasiona variabilidade de distribuição desse corretivo na faixa de aplicação (alto coeficiente de variação). Nessa situação, a variabilidade horizontal dos indicadores de acidez do solo pode aumentar. De forma similar, o mesmo pode ocorrer com a aplicação a lanço de fertilizantes granulados com teores elevados de partículas pequenas ($< 1 \text{ mm}$) ou em forma de pó, como se verifica frequentemente com a aplicação de cloreto de potássio em doses menores que 150 kg ha^{-1} . De modo geral, a desuniformidade do tamanho ou da densidade dos grânulos de fertilizantes aplicados a lanço resulta em variabilidade horizontal da fertilidade do solo no SPD.

Apesar do SPD gerar uma variabilidade horizontal em solos adubados com a aplicação de fertilizantes na linha de semeadura, essa variabilidade tende a diminuir com os anos de uso dessa prática. Isso resulta da aplicação de fertilizantes em diferentes localizações, tendo em vista a não coincidência das linhas de semeadura em diferentes cultivos e do diferente espaçamento entre as espécies de inverno e de verão tradicionalmente cultivadas. Assim, após alguns anos de adoção do SPD com aplicação de fertilizantes na linha de semeadura, a importância dessa prática na variabilidade espacial e na amostragem do solo é reduzida, pois os teores dos nutrientes já foram corrigidos com certa uniformização da fertilidade, o que resulta em menor necessidade de aplicação de fertilizantes. Em solos corrigidos, as doses de fertilizantes fosfatados e potássicos são dimensionadas para manter a disponibilidade alta desses nutrientes no solo, ou para repor o que é exportado com as colheitas, diminuindo, em relação a solos ainda não corrigidos (Sousa e Lobato, 2004; NRS/SBCS, 2016; NEPAR/SBCS, 2019).

2.1 - Solos do Cerrado

A variabilidade vertical dos atributos químicos deve ser considerada na camada diagnóstica ao amostrar o solo, pois ela é determinante nas recomendações de calagem e de adubação. No Cerrado, as camadas diagnósticas de 0-10 e de 10-20 cm são utilizadas por alguns produtores para o manejo da fertilidade do solo no SPD, embora não haja tabelas de interpretação específicas para cada uma dessas camadas. Por outro lado, outros utilizam a camada de 0-20 cm com certa frequência e consideram que esse procedimento atende satisfatoriamente aos objetivos de monitoramento temporal da fertilidade do solo nas lavouras.

Contudo, é reconhecida a existência do gradiente de fertilidade no perfil em solos manejados com o SPD. Desse modo, amostragens estratificadas são recomendadas, sobretudo, para aferição esporádica do grau de estratificação da fertilidade entre as camadas de 0-10 e de 10-20 cm. Esse procedimento é especialmente importante para subsidiar a tomada de decisão para adubação fosfatada a lanço em superfície do solo, a qual é desaconselhável quando o teor de P na camada de 10-20 cm for menor que o nível crítico. Cabe ainda destacar que, em solos do Cerrado, a coleta de amostras a maiores profundidades, nas camadas de 20-40 e 40-60 cm, é um pré-requisito para diagnóstico da necessidade de gessagem e o dimensionamento da dose de gesso, visando o manejo da acidez subsuperficial (Sousa et al., 2016).

2.2 - Terras Altas do Sul do Brasil

No RS e em SC, a primeira recomendação de amostragem de solo, para culturas de grãos em SPD, preconizava a coleta de camadas estratificadas (0-5 e 5-20 cm; CFS-RS/SC, 1995). Contudo, como o sistema de recomendação de adubação da época era para o SPC, as doses de correção de P e de K eram para a camada arável (0 a 20 cm). Posteriormente, essas doses foram ajustadas para a correção de solos sob SPD, e a camada de 0 a 10 cm solo foi preconizada para a amostragem nesse sistema (CQFS-RS/SC, 2004). Esse ajuste foi baseado na similaridade das curvas de rendimento das culturas de grãos em ambos os sistemas de produção (Anghinoni e Salet, 1998). Além disso, esse ajuste evitou que novos ensaios de calibração fossem realizados, o que demandaria tempo e custo elevado. Assim, foi possível atender a forte demanda do setor produtivo, da época, por tabelas de adubação aplicáveis ao SPD.

No RS e em SC, preconiza-se que os níveis de acidez e de nutrientes do solo da camada de 0 a 20 cm sejam corrigidos, quando da implantação do SPD (NRS/SBCS, 2016). No entanto, isso não ocorreu em todas as áreas em que esse sistema tem sido implantado. Nessas áreas, a amostragem da camada de 0 a 10 cm deve ser complementada com a amostragem da camada 10 a 20 cm. Assim, é possível monitorar a acidez e os teores de nutrientes em subsuperfície, complementando a tomada de decisão da calagem e da adubação no RS e em SC (NRS/SBCS, 2016).

Em solos com fertilidade construída ao longo da evolução do SPD, a camada de 0 a 20 cm pode ser utilizada para avaliar os atributos químicos do solo, como é indicado no PR, pois a estratificação horizontal e vertical dos nutrientes tende a diminuir. Complementarmente, nesse Estado, indica-se ainda a coleta da camada de 20 a 40 cm, para avaliar a acidez e os nutrientes em subsuperfície e decidir se é necessário corrigir essa parte do perfil do solo (Fontoura et al., 2015; NEPAR/SBCS, 2019).

2.3 - Terras Baixas do Sul do Brasil

Em áreas de arroz irrigado, a análise de solo tem sido indicada anualmente (SOSBAI, 2018). Em áreas de terras baixas do Sul do Brasil, tendo em vista a pouca expressão do cultivo de arroz irrigado sem algum revolvimento do solo, a camada de 0 a 20 cm é indicada para a amostragem do solo, independentemente do sistema de manejo adotado. Nesse caso, recomenda-se que se aproveite algum eventual momento de revolvimento do solo para a incorporação de corretivos, quando necessários (SOSBAI, 2018).

2.4 - Tipos de amostragem de solo

No que se refere ao tipo de amostragem, os procedimentos tradicionais de obtenção de uma amostra composta pela coleta de 10 a 20 subamostras, em glebas de 10 a 20 ha e coleta manual, foram sendo substituídos, a partir do início da década de 2000, pela amostragem sistemática, mecanizada e georreferenciada da agricultura de precisão. Essa consiste em dividir as áreas em grades (“malhas”) com tamanho de 1 até 2 a 4 ha, mas, geralmente, com coleta de menor número de subamostras por “malha” (5 a 8). Os resultados das análises de solo de cada grade são interpolados por modelos matemáticos para gerar os mapas que refletem a variabilidade espacial de atributos analisados nas lavouras (Resende e Coelho, 2017).

Esse procedimento permite o conhecimento da distribuição espacial dos atributos do solo e, dessa forma, a aplicação de insumos (corretivos e fertilizantes) à taxa variável, conforme a variabilidade encontrada na lavoura. Embora os custos sejam relativamente maiores (maior número de amostras, assistência técnica especializada), estes podem ser compensados com uma aplicação mais racional dos insumos (quantidades ajustadas à realidade da área) e maior homogeneidade da produtividade da área após a correção da variabilidade encontrada. Entretanto, cabe salientar que a produtividade das culturas em SPD não é resultado exclusivamente dos atributos químicos e o monitoramento das condições físicas (ex. densidade, resistência à penetração, taxa de infiltração) e biológicas (ex. fixação biológica de nitrogênio, atividade microbiana, teores de enzimas específicas), bem como o atendimento aos demais fatores de produção, também são fundamentais para o sucesso dos empreendimentos.

Além da amostragem ao acaso ou da sistemática, o solo pode ser coletado com o procedimento de amostragem direcionada. Esse procedimento consiste em amostrar, de forma independente, subáreas ou zonas homogêneas de manejo, identificadas dentro de uma área maior, e tem sido utilizado de forma crescente no SPD. Outros procedimentos de coleta de solo, que são menos utilizados, são a amostragem intensificada e a amostragem do perfil cultural. Na amostragem intensificada, coleta-se um maior número de subamostras (40 a 60) por gleba homogênea, enquanto na amostragem do perfil cultural, são abertas pequenas trincheiras, mostrando camadas que correspondem ao perfil de distribuição do sistema radicular da cultura e realizando uma análise expedita da estrutura do solo. Os diferentes tipos de amostragem ainda podem ser utilizados em conjunto com algumas técnicas de detecção da variabilidade espacial dos nutrientes no solo, como os índices de vegetação (ex., NDVI), sensores de solo (ex., condutividade elétrica), etc.

Independente do procedimento de amostragem, a maior variabilidade espacial dos atributos químicos dos solos manejados com o SPD indica que a avaliação da fertilidade deve ser realizada com maior frequência e maior detalhamento, quando

pertinente, para identificar estratos horizontais e verticais de variação espacial, em relação ao SPC. Nesse sentido, tem sido indicada a frequência de análise de solo a cada dois cultivos adubados ou dois anos, quando a correção do solo estiver em andamento, ou a cada dois a três anos, em solos já corrigidos. Qualquer que seja a situação, as amostragens de solo também devem ser tão mais frequentes quanto mais intensivo for o sistema de produção (ex: duas ou mais colheitas por ano, cultivos de alto rendimento/exportação de nutrientes, remoção de plantas inteiras para ensilagem ou forrageamento animal).

Como comentado anteriormente, as camadas diagnósticas e a frequência de amostragem utilizadas para avaliar a fertilidade do solo podem variar entre regiões. Isso está relacionado com as diferenças dos sistemas de recomendações de calagem e adubação, que são regionalizados e construídos (ou adaptados) para o SPD. Assim, é importante considerar qual o sistema de recomendação (tabelas de interpretação de análises de solo e de recomendação da calagem e da adubação) utilizado pelo usuário, a fim de que possa utilizar a camada de solo indicada para a região.

3 - Matéria orgânica e ciclagem de nutrientes no SPD

Como comentado no item 1.1, o uso contínuo e bem manejado do SPD resulta em aumento do teor de MO do solo, adicionando carbono ao solo via raízes e resíduos culturais. Nesse sistema de manejo, o teor de MO do solo aumenta de modo diretamente proporcional ao acréscimo de restos culturais inseridos no sistema de produção. Conforme mencionado no item 1.1, são necessárias entre 10 a 15 t ha⁻¹ ano⁻¹ de matéria seca desses materiais, dependendo do ambiente de produção, para manter os teores de MO do solo.

Embora seja reconhecido o papel do SPD no aumento da MO do solo, a sua simples adoção como estratégia isolada pode não produzir os efeitos positivos esperados em relação ao acúmulo de carbono no solo, especialmente em clima tropical em que as taxas de decomposição dos resíduos culturais são mais elevadas. Assim, são necessários sistemas de cultivo diversificados e com alto nível de adição de resíduos culturais, incluindo resíduos oriundos de plantas leguminosas. A capacidade de produção de biomassa e a velocidade de decomposição dos restos culturais de gramíneas e de leguminosas são muito distintas. Em geral, as primeiras contribuem com maiores quantidades de resíduos, de alta relação C/N, de maior resistência à decomposição, enquanto o inverso se aplica ao segundo grupo.

Caso o sistema de produção envolva a alternância entre gramíneas e leguminosas, tem-se a combinação de quantidade e qualidade de substratos orgânicos que favorecem o incremento de C e de N necessários à formação da MO do solo, além de melhorar a ciclagem de nutrientes (Yagi et al., 2005; Siqueira Neto et al., 2009; Aita et al., 2014; Urquiaga et al., 2014). Amado et al. (2002) sugerem que o uso de leguminosas, combinado com maior diversidade de espécies em sucessão ou rotação de culturas, aumenta de forma significativa o acúmulo de C e N no solo. Da mesma forma, Sisti et al. (2004) demonstraram que, após 13 anos de cultivo de trigo/soja/ervilhaca, o estoque de carbono (C) do solo aumentou em 1,3 t C ha⁻¹ sob SPD em comparação com o SPC, enquanto no sistema apenas com trigo/soja nenhum acúmulo foi verificado, mesmo em SPD. Esses resultados ressaltam a importância da rotação de culturas e do alto aporte de resíduos vegetais quando se visa o acúmulo da MO do solo em SPD e, conseqüentemente, os demais benefícios do sistema.

Embora no SPD haja menor demanda de aporte de resíduos culturais para manter o teor de MO do solo quando comparado com o SPC, em áreas com sucessão soja-pousio de inverno ou soja-aveia cobertura, a adição de matéria seca é insuficiente para manter os teores de MO do solo, principalmente, nas regiões mais quentes e de baixa altitude. Áreas sem plantas de cobertura de inverno ou com aveia-preta de baixa produção de biomassa ($< 4,0 \text{ t ha}^{-1}$ de matéria seca), em que não são aplicados fertilizantes nitrogenados e/ou fungicidas, ou áreas em que não houve a semeadura dessa espécie (aveia espontânea ou “guacha”), em que as cultivares de soja produzem pouca biomassa da parte aérea, também contribuem para o decréscimo ou a não evolução da MO do solo. Esses fatores, em conjunto ao não uso das práticas de conservação de solo preconizadas, restringem a evolução da fertilidade ou a consolidação do SPD.

A concentração de nutrientes nos restos culturais oscila conforme as características das espécies componentes do sistema (Tabela 1), a região e o ambiente de cultivo, as condições de crescimento e a forma como são manejadas. A quantidade de biomassa produzida interfere na concentração ou diluição dos nutrientes contidos, de modo que não é possível assumir indicadores padronizados de ciclagem, embora alguns valores possam ser obtidos nas Tabelas 1 e 2. Dessa forma, o ideal é que, sempre que necessário obter indicadores locais, se realize análise da palhada após as colheitas na propriedade. Assim, pode-se estimar de forma mais realista os créditos de nutrientes oriundos da ciclagem e considerá-los para definição de manejo das adubações (Re-sende et al., 2019).

Um aspecto importante é que determinadas espécies vegetais possuem qualidades específicas, que as tornam especialmente aptas a absorver e reciclar nutrientes, enquanto algumas também têm outras qualidades como ação descompactadora ou supressora de pragas, doenças e plantas daninhas. O reconhecimento dessas capacidades pode ser útil no aprimoramento do manejo cultural, por meio da escolha das espécies mais convenientes para compor a diversificação no SPD. Não por acaso, além do milheto, a inclusão de gramíneas forrageiras (braquiária, *Panicum*) em sistemas de produção de grãos tem se disseminado, sobretudo na região do Cerrado. Essas plantas desenvolvem sistema radicular abundante e profundo, captando nutrientes no perfil de solo abaixo da zona de exploração radicular das culturas comerciais e colocando-os ao alcance para os cultivos subsequentes. O nabo forrageiro é reconhecido por aliviar a compactação do solo e melhorar o suprimento de K e N ao cultivo seguinte, embora não seja uma leguminosa (Tabela 2). Já, algumas crotalárias associam a fixação biológica de nitrogênio (FBN), a ciclagem de K e outros nutrientes e a redução de problemas com nematoides.

A produção de grãos no SPD inicialmente foi suportada com o uso de quantidades elevadas de fertilizantes, o que pode ser considerado insustentável em muitas situações. Mais recentemente, algumas alternativas foram desenvolvidas para aumentar a eficiência desse sistema, potencializando a fertilidade do solo e o aproveitamento de fertilizantes e prevenindo as perdas de nutrientes. Entre as alternativas desenvolvidas, destaca-se o uso de consórcio de plantas de coberturas (mix de culturas), que tem aumentado nos últimos anos em áreas com SPD. Entre as vantagens atribuídas a esse tipo de cultivo se destacam a diversificação biológica, a produção de matéria seca (MS) e, conseqüentemente, a ciclagem de nutrientes (Tabela 3).

Tabela 1. Conteúdo equivalente de macro e micronutrientes, nos grãos ou caroço e nos restos culturais, por tonelada de produto colhido de diferentes culturas no Brasil.

	Macronutriente						Micronutriente					
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Mo	Zn
	kg t ⁻¹ de produto colhido						g t ⁻¹ de produto colhido					
Algodão em caroço												
Caroço e fibras	35,0	11,0	17,0	2,4	7,3	3,2	22	8	104	13	-	28
Restos culturais	35,0	6,0	41,0	20,2	6,4	2,1	98	35	526	59	-	25
Cevada												
Grão	15,6	6,2	6,6	0,4	1	0,9	5	5	63	16	0,3	18
Restos culturais	7,5	1,3	15,7	2,6	1,1	0,7	5	4	126	18	0,4	10
Feijão												
Grão	25,0	9,1	17,7	2,2	2,0	2,1	23	7	140	116	-	22
Restos culturais	13,8	2,3	22,5	15,5	2,9	2,3	24	8	231	205	-	34
Milho												
Grão	14,0	6,0	4,4	0,1	1,1	1,0	5	2	15	5	0,6	18
Restos culturais	14,4	0,3	13,6	4,9	2,7	1,0	13	7	205	58	0,3	27
Soja												
Grão	54,0	11,0	22,0	2,8	2,5	2,8	31	12	65	39	5	41
Restos culturais	24,0	5,0	36,0	19,3	8,2	1,4	51	8	310	159	2	34
Sorgo granífero												
Grão	20,8	12,2	10,3	3,7	2,7	1,4	25	9	23	68	-	28
Restos culturais	18,0	5,2	26,0	8,7	2,5	1,6	47	34	969	201	-	70
Trigo												
Grão	20,0	7,3	4,2	0,2	0,8	1,2	3	3	14	13	-	15
Restos culturais	8,0	1,6	19,7	2,2	1,5	2,3	17	3	360	93	-	5

Fonte: Adaptado de Resende et al. (2019), a partir de dados de várias publicações.

Tabela 2. Produção de matéria seca (MS), acúmulo e concentração de nutrientes por crotalária (*Crotalaria juncea*) e milheto (*Pennisetum americanum*) no Mato Grosso do Sul e por ervilhaca (*Vicia sativa* L.) e nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L. var. *oleiferus*), no Rio Grande do Sul, em dois anos agrícolas.

Espécie/ Ano	MS	N	P	K	Ca	Mg	S	Cu	Fe	Mn	Zn
	t ha ⁻¹	kg ha ⁻¹									
Crotalária/ 2001	9,8	169	32	240	97	53	18,6	0,12	1,30	0,71	0,26
Crotalária/ 2002	8,6	189	23	223	83	41	13,4	0,09	1,70	0,52	0,21
Milheto/ 2001	7,7	68	24	194	32	21	11,1	0,05	4,82	0,69	0,23
Milheto/ 2002	6,4	64	14	171	24	18	5,1	0,04	2,01	0,36	0,16
Ervilhaca/ 1995	3,3	98	15	156	34	9					
Ervilhaca/ 1996	6,5	198	24	239	59	22					
Nabo forrag. 1995	4,6	110	27	204	85	27					
Nabo forrag. 1996	7,2	166	17	204	106	42					
						Concentração					
						kg t ⁻¹			g t ⁻¹		
Crotalária/ 2001		17,3	3,3	24,6	9,9	5,4	1,9	12	133	73	27
Crotalária/ 2002		22,0	2,7	25,9	9,6	4,7	1,6	10	198	60	24
Milheto/ 2001		8,9	3,1	25,1	4,1	2,8	1,4	6	624	89	30
Milheto/ 2002		10,1	2,2	26,9	3,8	2,8	0,8	6	316	57	25
Ervilhaca/ 1995		30,0	4,6	47,7	10,4	2,8					
Ervilhaca/ 1996		30,5	3,7	36,8	9,1	3,4					
Nabo forrag. 1995		23,7	5,8	43,9	18,3	5,8					
Nabo forrag. 1996		23,1	2,4	28,4	14,7	5,8					

Fonte: Adaptado de Fiorin et al. (1998) e Silva et al. (2006).

Tabela 3. Produção de matéria seca (MS), concentração (%) e acúmulo (kg ha⁻¹) de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) na parte aérea de plantas de coberturas, aos 90 dias após a semeadura. Passo Fundo, Rio Grande do Sul, 2020.

Cobertura	MS		N		P		K	
	t ha ⁻¹	%	kg ha ⁻¹	%	kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹	%	kg K ₂ O ha ⁻¹	
Aveia-branca	4,3	1,63	70	0,26	26	3,25	168	
Aveia-preta	4,6	2,12	98	0,28	29	2,58	142	
Centeio	6,5	1,08	70	0,15	22	0,85	66	
Nabo forrageiro	11,6	2,06	239	0,30	80	1,98	276	
Mix 1	13,4	1,96	263	0,41	126	2,68	431	
Mix 2	14,1	2,20	310	0,45	145	3,48	589	
Mix 3	14,6	2,37	346	0,55	184	3,34	585	
Mix 4	14,7	2,96	435	0,32	108	2,57	453	

Mix 1: 17,5% de aveia-preta, 15% de nabo, 17% de centeio, 50,5% de aveia branca. Mix 2: 53% de aveia-branca, 17,5% de aveia-preta, 17% centeio, 7,5% ervilhaca comum, 5% nabo forrageiro. Mix 3: 65% de aveia preta, 20% de centeio, 15% de nabo. Mix 4: 65% de aveia-preta, 22,5% de centeio, 7,5% ervilhaca comum, 5% de nabo forrageiro.

Fonte: Viebrantz e Escosteguy(2021).

Os resultados apresentados na Tabela 3 evidenciam que a quantidade de MS e a ciclagem de N, P e K são maiores com os mix de cobertura (aveia, nabo, ervilhaca e centeio), em relação à monocultura de gramínea, como a aveia-preta. Além disso, os resultados indicam que a composição ou a proporção das espécies que compõem o mix influenciam a produção de MS e a ciclagem desses nutrientes, como se observa em relação aos Mix 2 e 3 que proporcionaram maior ciclagem de N, P e K, em relação as demais coberturas avaliadas.

Em terras baixas, como o cultivo tradicional de arroz irrigado ocorria com intenso revolvimento do solo, praticamente não havia a presença dos resíduos culturais de cultivos anteriores na semeadura do arroz. Com a adoção do cultivo mínimo ou o plantio direto, a semeadura da cultura passou a ocorrer com a presença dos resíduos dessecados da vegetação espontânea de inverno ou previamente cultivada (embora poucas opções se adaptem aos solos com excesso de umidade). Apesar dos benefícios para a ciclagem de nutrientes, um dos impactos da presença de grande quantidade de resíduos culturais no alagamento do arroz é a ocorrência de ácidos orgânicos de cadeia curta (acético, propiônico, butírico, entre outros) devido aos processos de decomposição anaeróbica do carbono após o alagamento do solo (Silva et al., 2008). Esses ácidos podem causar distúrbios às plantas de arroz na fase de estabelecimento da lavoura e também justificaram a pouca adesão ao SPD pleno em terras baixas. Assim, os preparos antecipados do cultivo mínimo (ou plantio direto com preparo de verão) ajudam também a eliminar o excesso de resíduos culturais por favorecer a decomposição aeróbica, de modo que a semeadura do arroz sob a resteva ocorra em níveis de resíduos que não chegam a comprometer o estabelecimento da lavoura.

4 - Técnicas utilizadas para o manejo da fertilidade química em SPD

4.1 - Correção da acidez

A acidez do solo resulta de processos naturais e do uso antrópico do solo, que liberam os íons ácidos hidrogênio (H^+) e Al^{+3} , e/ou removem os cátions (Na^+ , K^+ , Ca^{+2} e Mg^{+2}), substituindo-os pelos íons ácidos (Bolan et al., 2003). A principal causa natural da acidez é a água da chuva, que atua em longo prazo (centena a milhares de anos). Porém, a acidificação pode ser gerada em curto prazo, pelo uso agrícola. Geralmente, isso ocorre devido aos efeitos da mineralização da MO e da nitrificação do N, além das aplicações de fertilizantes amoniacais, como p. ex. o sulfato de amônio. Adicionalmente, a geração do gás carbônico resultante do aumento da atividade biológica também acidifica o solo. Como mencionado no item 1.1, a mineralização da MO na fase de implantação do SPD é menor, resultando em maior acúmulo de N imobilizado em formas orgânicas e, conseqüentemente, menor nitrificação. Assim, até que o acúmulo de MO atinja o equilíbrio entre as taxas de adição e mineralização de C, a geração de acidez desta fonte é menor no SPD do que no SPC. A menor erosão no SPD também contribui para isso.

As causas de acidez antrópica variam com o ambiente de produção (solo e tipo de uso, espécie de planta, produtividade, clima, etc) e o manejo de solo, ou seja, são específicas de cada gleba de cultivo agrícola. Por exemplo, a conversão do N amoniacal (N na forma de NH_4^+), resultante da mineralização da MO ou adicionado por outras fontes, em nitrato (NO_3^-), libera H^+ para a solução e pode acidificar o solo, conforme abordado anteriormente. Contudo, essa causa de acidez é mais acentuada em solo com baixa capacidade de tamponar o aumento de H^+ , como os solos com baixa CTC, baixos teores de MO e de argila, e sem adição de calcário, dependendo ainda da quantidade de N mineralizada ou aplicada ao solo e da quantidade em que esse nutriente é removido pelas culturas agrícolas. Nesse sentido, essa fonte de acidez deve ser considerada uma causa potencial e cálculos baseados na equivalência química da reação de neutralização do H^+ com o $CaCO_3$ devem ser ajustados com base na análise da real acidez potencial do solo.

Em lavouras de grãos, especialmente com o predomínio da soja que não recebe aplicação de N, os processos de acidificação não são suficientes para baixar o pH do solo de forma acentuada em curto prazo. Por outro lado, em áreas com maior presença de milho ou com a produção de feno, silagem ou com pastejo intensivo, a quantidade de N aplicada é geralmente maior e intensifica a acidificação do solo. A diferença entre ambientes de produção pode ser também ilustrada com os resultados da análise de solo de amostras coletadas em lavouras manejadas com o SPD, nas regiões do Sul e do Cerrado do país (Tabela 4). Os resultados dessa tabela mostram que tanto os valores de referência (VR) dos indicadores de acidez (pH em água, V%, Al% e teores de Al, Ca, Mg) e a capacidade tampão do solo (indicada pela CTC potencial) como a percentagem das amostras de solos com resultados em valores abaixo destes variam entre os solos dessas regiões. Entretanto, os resultados dessa tabela mostram que a maioria dos solos do Sul do Brasil e do Cerrado tem valores de pH em água < 6,0 ou 5,5, respectivamente, ou baixa saturação por bases < 75 ou 60%, respectivamente; indicando o predomínio de solos com acidez moderada a acentuada e que essa é uma das principais limitações químicas do solo.

Tabela 4. Valores de referência limitantes (VRL) de atributos químicos de solos e percentual de amostras de solos (%) com limitações químicas, avaliadas em levantamentos de algumas lavouras com plantio direto do Paraná (PR), Rio Grande do Sul (RS) e do Cerrado brasileiro.

Atributo	PR (0-20 cm)		RS (0-10 cm)		RS (Várzea)		Cerrado (0-20 cm)	
	VRL	%	VRL	%	VRL	%	VRL	%
pH (H ₂ O)	≤ 4,9 ⁽¹⁾	18	< 5,5 < 6,0	49 93	< 5,5	77	< 5,5	12,9
V (%)	< 60	40	< 65 < 75	40 76	< 40	31	< 60	80,0
Ca (cmol _c dm ⁻³)	≤ 2	0	< 4,0	20	≤ 4,0	71	< 1,5	6,8
Mg (cmol _c dm ⁻³)	≤ 1,0	0	< 1,0	6	< 1,0	52	< 0,5	11,5
Al (cmol _c dm ⁻³)	≤ 1,5	0	≤ 1,1	84	> 0,2	54	> 0,2	2,7
MO (%)	≤ 2,4	2	≤ 2,4	20	< 2,0	71	< 2,0	7,3
P (mg dm ⁻³)	≤ 18; ≤ 12; ≤ 9 em solos com < 25; 25 e 40 e > 40% de argila, respectivamente	60	≤ 9; ≤ 12; ≤ 18; ≤ 30, em solos com > 60; 41-60; 21-40 e < 20% de argila, respectivamente	44	≤ 6, sem considerar o teor de argila	39	≤ 6,0	25,3
K	≤ 0,21 cmol _c dm ⁻³	14	≤ 60; ≤ 90; ≤ 120; ≤ 135 mg dm ⁻³ , em solos com CTC _{pH7,0} > 7,6; 7,6-15; 15,1-30 e > 30 cmol _c dm ⁻³ , respectivamente	10	≤ 60; ≤ 90; ≤ 120; ≤ 135 mg dm ⁻³ , em solos com CTC _{pH7,0} > 7,6; 7,6-15; 15,1-30 e > 30 cmol _c dm ⁻³ , respectivamente	18,4	< 0,2 cmol _c dm ⁻³	18,4
CTC _{pH7,0} (cmol _c dm ⁻³)	≤ 14	18	≤ 15	72	≤ 8,6	69,1	≤ 8,6	69,1
S (mg dm ⁻³)	≤ 3	0	≤ 10	26	≤ 4	54,4	< 4	54,4

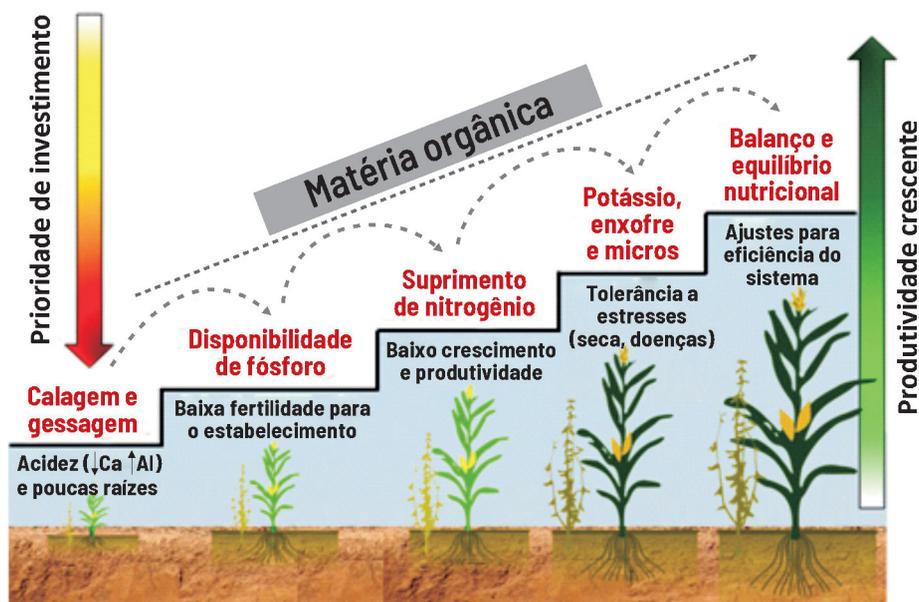
VRL: ⁽¹⁾ pH em CaCl₂; RS: adaptado de MRS/SBCS (2016); RS (Várzea, arroz): adaptado de SOSBAI (2018); Cerrado: adaptado de Souto e Lobato (2004) e CFSEMG (1999). Os teores de S em lavouras, em geral, são maiores em profundidade abaixo de 20 cm. **Fonte:** Paraná: 466 amostras, coletadas em 2018 em lavouras de Cooperativas Agrárias Agroindustrial, representando 115 mil ha de lavouras na região Centro-Sul do Paraná; RS: Laboratório de Análise de Solos da Universidade de Passo Fundo (não publicado); 4.300 amostras, coletadas em 2014, em áreas de 18,5 ha, no Apelo Médio do RS; RS (Várzea, arroz): SOSBAI (2018); Levantamento de 30.527 amostras de solos publicadas em Bogni et al. (2010); Cerrado: dados da empresa CATI O - Centro de Tecnologia Agrícola e Ambiental (Linhaça, 1981); 73.122 amostras, coletadas entre 2008 e 2012, representando cerca de 100 mil ha de lavouras nos estados de MG, GO, DF e BA.

Em solos ácidos (pH em água < 5,5), a produtividade das culturas é limitada, principalmente, devido à fitotoxidez de Al e de manganês (Mn), além de ferro (Fe) em arroz irrigado; à menor disponibilidade de nutrientes e atividade biológica (Robson, 2012). A acidez do solo pode ser neutralizada com a adição de bases, que geram OH⁻, como o CaCO₃ adicionado com o calcário. A dose desse corretivo, necessária para corrigir a acidez, aumenta com o poder tampão do solo (quantidade de base para elevar uma unidade de pH) e varia com a cultura, o sistema de cultivo, além do tipo de manejo de solo (Sousa e Lobato, 2004; NEPAR/SBCS, 2019; NRS/SBCS, 2016). Como indicam os menores valores de CTC e dos indicadores de acidez ativa e potencial (Tabela 4), a acidez e o poder tampão da acidez são menores nos solos do Cerrado, que assim, necessitam de menores doses de calcário, em relação aos do Sul do Brasil.

O efeito tóxico do Al é menor em solos sob SPD, em relação ao SPC (Salet, 1998), ocasionando menor resposta das culturas à calagem e, conseqüentemente, necessidade de quantidades mais baixas de calcário em solos sob esse sistema. No entanto, isso se aplica a solos em que o SPD foi iniciado corretamente com correção da acidez em subsuperfície e se encontra consolidado com acúmulo de MO suficiente para amenizar a toxicidade do Al pela formação de complexos estáveis com ligantes orgânicos. Além da menor toxidez do Al, a redução da dose de calcário no SPD também resulta da aplicação desse corretivo na superfície do solo, o que restringe as reações de correção da acidez à camada superficial (< 10 cm). Atenção especial deve ser dada quando as quantidades aplicadas de calcário são menores que 2 t ha⁻¹, utilizando distribuidores de disco centrífugos e mal regulados. Nessa situação, a distribuição do corretivo pode ser muito desuniforme (Boller, 2009), já que o calcário é composto de aproximadamente 50% de partículas finas (< 0,30 mm), o que, juntamente com a baixa umidade desse produto, aumenta a deriva (Mattei et al., 2020). A umidade do solo também influencia os efeitos da toxidez do Al nas plantas, os quais são acentuados com o estresse hídrico, que assim torna mais evidente a resposta das culturas à calagem, especialmente em áreas com maior gradiente vertical, conforme abordado no item 1.

4.1.1 - Solos do Cerrado

Os impeditivos relacionados às condições de acidez do solo representam a limitação primária ao uso agrícola de solos originalmente ácidos, como os da região Sul do Brasil e do Cerrado e, portanto, a prática da calagem é a providência inicial indispensável para que todo o manejo subsequente da fertilidade seja bem-sucedido (Figura 1). Em geral, a deficiência de Ca e/ou a toxidez de Al simplesmente impedem o desenvolvimento normal de raízes das culturas na camada arável e também em subsuperfície nos solos que nunca receberam corretivos de acidez, comprometendo a absorção de nutrientes e água. Esse efeito é o principal problema, embora o baixo pH, a deficiência de Mg e a toxidez por Mn também sejam características prejudiciais às culturas em solos ácidos do Cerrado.



Elaboração: Álvaro Resende.

Figura 1. Diagrama ilustrativo da sequência de limitações a serem superadas no manejo da fertilidade do solo, indicando as prioridades de intervenção na abertura de áreas para agricultura e estabelecimento do SPD no Cerrado. Elaboração: Álvaro Resende.

No Cerrado, preconiza-se controlar a acidez, mantendo a saturação por bases entre 50 a 60% (Sousa e Lobato, 2004). Atualmente, as tecnologias de controle da acidez que, em áreas novas, envolvem incorporação de calcário pelo menos até 20 cm de profundidade, associada à aplicação de gesso (incorporado ou não) visando o controle da acidez abaixo da zona de reação do calcário, estão consolidadas na região do Cerrado. Dessa forma, a calagem e a gessagem são práticas mutuamente complementares e não substitutivas. O uso conjunto dessas práticas está relacionado à baixa mobilidade dos carbonatos de Ca e de Mg, constituintes do calcário e que, por isso, têm efeito restrito à camada de incorporação desse corretivo. Já o sulfato de Ca, que compõe o gesso, e os produtos de sua reação no solo, tem maior mobilidade no solo, quando associados à água que percola no perfil.

As recomendações de calagem para os solos de Cerrado eram, inicialmente, para elevar a saturação por bases (V) a 50%, em lavouras de sequeiro; ou a 60%, em sistemas irrigados. Valores maiores do que estes poderiam induzir deficiência de micronutrientes catiônicos (Cu, Fe, Mn e Zn), devido à elevação excessiva do pH, conhecida por supercalagem (Sousa e Lobato, 2004). De fato, a deficiência de Mn é frequentemente a mais visível nas lavouras de soja nestas condições. Essa deficiência era comum, sobretudo, nos locais de depósito de calcário no campo. Os produtores se acostumaram, então, a realizar pulverizações foliares com Mn, para contornar os eventuais problemas decorrentes de aplicação recente de doses mais elevadas de calcário.

Uma observação prática relevante é que nas áreas novas, a quantidade de calcário recomendada pelos métodos que constam nos manuais de fertilidade do solo de Cerrado (CFSEMG, 1999; Sousa e Lobato, 2004) dificilmente permitiam que se atingis-

se o valor de saturação por bases desejado (ex: $V = 50\%$, na camada de 0-20 cm). Isso pode ser atribuído ao fato de que o real poder tampão da acidez dos solos seja maior que o estimado utilizando a CTC potencial calculada com base nas análises de rotina em laboratório. Adicionalmente, às vezes é possível que o Poder Relativo de Neutralização Total (PRNT) do calcário aplicado seja menor do que o valor informado pelo fornecedor, o que aumentaria a quantidade a aplicar para se atingir a saturação por bases desejada. Como consequência dessas situações, muitos técnicos e consultores utilizam um fator de correção para aumentar a dose de calcário (ex: multiplicar por 1,5 a dose inicialmente calculada), em solos de áreas recém-abertas ao cultivo.

Mais recentemente, levantamentos realizados em lavouras reforçam os indicativos de que índices de saturação por bases maiores que os valores de referência (Resende et al., 2016) descritos nos manuais de fertilidade do solo, incluindo teores de Ca maiores que $0,8 \text{ cmolc dm}^{-3}$, abaixo de 40 cm (Sako et al., 2015), estão relacionados com maior potencial produtivo das culturas. Assim, vem se consolidando, com sucesso, critérios de dimensionamento da calagem buscando alcançar e manter valores de saturação por bases próximos de 70% até 20 cm de profundidade nas lavouras do Cerrado. No tocante aos micronutrientes, as preocupações foram mitigadas com a evolução da mecanização e dos pulverizadores, trazendo facilidade cada vez maior de se realizarem adubações foliares complementares ao longo do ciclo das culturas nessa região. Nesse contexto, certamente tem-se também o papel do SPD, que acaba atuando como agente tamponante, tanto da disponibilidade de micronutrientes (MO como fonte) quanto dos efeitos de possíveis “excessos” na aplicação de calcário ao solo (maior CTC) (Bayer et al., 2009).

Complementarmente à calagem, a prática da gessagem nos solos do Cerrado tem proporcionado bons resultados no controle da acidez em subsuperfície, quando dimensionada a partir de critérios diagnósticos, como a ocorrência de teor de Ca $< 0,5 \text{ cmolc dm}^{-3}$ ou de saturação por Al (m) $> 20\%$, em camadas abaixo de 20 cm. Assim, a correta opção pela gessagem depende de se amostrar o solo nas camadas de 20-40 cm e 40-60 cm, conforme abordado no item 2.1. Atendido pelo menos um dos critérios mencionados, o cálculo mais simplificado da necessidade de gessagem, em kg ha^{-1} , consiste em multiplicar o teor de argila do solo (em %) por 50. Uma vez aplicado a lanço, mesmo sem incorporação, o gesso irá se dissolver e movimentar em profundidade com a água, processo que é estimulado pela presença de calcário e fosfato na camada superficial do solo, ficando então retido nas porções subsuperficiais do perfil (Sousa et al., 2016). Assim, a gessagem contribui para o fornecimento de Ca e a redução da toxidez por Al, em camadas mais profundas do que aquela corrigida com a calagem. Os benefícios da gessagem são percebidos principalmente quando ocorrem veranicos durante o ciclo. Ao estimular o aprofundamento do sistema radicular, a gessagem permite que as culturas encontrem água em camadas mais abaixo no perfil e tolerem por mais tempo o estresse por déficit hídrico, conforme abordado anteriormente.

Áreas manejadas em SPD no Cerrado favorecem maior efeito residual da calagem, por apresentar menor intensidade nos processos de reacidificação. Com base em experimentação com as culturas de soja e milho por 15 anos, Sousa et al. (2010) estimaram que a dose anual de calcário (PRNT=100%) necessária para corrigir a acidez gerada seria de 154 e $116 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ nos SPC e SPD, respectivamente, correspondendo a uma diferença de 25%. De acordo com Sousa et al. (2016), a reaplicação de calcário no SPD deve ser realizada quando a saturação por bases for menor que 40%, na camada de 0-20 cm, realizando distribuição a lanço em superfície. Tanto a calagem quanto a gessagem tem efeito residual que perdura por vários anos nos ambientes de produção no Cerrado.

4.1.2 - Terras Altas do Sul do Brasil

Embora a sensibilidade ao Al varie com a cultura e cultivares de uma mesma espécie, no Sul do Brasil se preconiza neutralizar as formas tóxicas desse elemento, mantendo o pH em água do solo entre 5,5 a 6,0 e ou saturação por bases maior que 65%, para a maioria das culturas de grãos cultivadas nessa região (Fontoura et al., 2015; NEPAR/SBCS, 2019; NRS/SBCS, 2016). Nessa condição, o teor e a saturação por Al trocável serão baixos, ou não haverá formas tóxicas desse elemento.

Como em solos sob SPD a incorporação de calcário é inviável, a correção da acidez em subsuperfície deve ser efetuada quando esse sistema de manejo for implantado (NRS/SBCS, 2016). Alguns resultados obtidos em solos argilosos do RS sob SPD sugerem que a aplicação superficial de calcário não corrige a acidez em subsuperfície, mesmo após muitos anos desse modo de aplicação (Tabela 5) (Escosteguy et al., 2013). Já quando a incorporação desse corretivo foi efetuada na implantação desse sistema, e, posteriormente, a calagem em superfície foi efetuada para neutralizar a acidez superficial, a acidez do solo foi mantida em níveis toleráveis ao longo do tempo.

Essa limitação do calcário aplicado em superfície, em solos sob SPD, pode ser atribuída a vários fatores que restringem a mobilidade física ou química do calcário, como os relacionados com o solo, a qualidade dos corretivos e a prática da calagem. Entre os fatores do solo, destacam-se os que influenciam o tamponamento da acidez, como o teor de argila e de MO; a compactação, como a estrutura e a consistência do solo; a capacidade de adsorção de cátions (textura, CTC e MO), etc. Entre os fatores relacionados aos corretivos de acidez, destacam-se os relacionados a eficiência de neutralização (qualidade do corretivo), como a granulometria, o poder de neutralização e a solubilidade. A limitação da aplicação de calcário em superfície, em solos sob SPD, ainda pode ser atribuída a erros de distribuição e da dose utilizada a campo (Fiorin, 2022). Em função dessa dificuldade, alguns produtores optam pela gessagem do solo como estratégia para amenizar os efeitos da acidez em subsuperfície, já que o gesso pode aumentar o teor de Ca e diminuir a saturação por Al em profundidade, conforme abordado anteriormente. Por outro lado, na ausência de fatores que restringem a mobilidade física ou química do calcário, a calagem superficial pode diminuir a acidez em subsuperfície, como indicam os resultados obtidos em um Latossolo Bruno, em Guarapuava, PR, com baixa acidez (Al trocável < 0,30 cmol_c dm⁻³), após onze anos da aplicação do calcário (Fontoura et al., 2019).

Com a aplicação de calcário em superfície em solos argilosos cultivados com grãos, a correção da acidez é lenta (Tabela 6). Esse efeito varia com o tipo de solo, a qualidade e a dose de calcário e a quantidade de água que percola no perfil. Em solos argilosos típicos do Planalto Médio do RS, como o da Tabela 6, o efeito em profundidade avança, em geral, de 2 a 5 cm ano⁻¹. Comportamento similar é observado nos solos argilosos do Cerrado (Miranda et al., 2005).

Em Latossolos do Sul do Brasil sob SPD, a resposta de culturas de grãos à aplicação de gesso varia com o tipo de planta (gramínea x leguminosa), o nível da acidez em subsuperfície e a ocorrência de estiagem ou seca (Tiecher et al., 2018). Esses autores revisaram resultados de 72 safras de vários experimentos realizados nessa região e constataram que a aplicação de gesso proporciona maior rendimento de gramíneas, como o milho e o trigo. Isso foi observado em solos com a saturação por Al > 10% e o teor de Ca trocável < 3,0 cmol_c dm⁻³, na camada de 20 a 40 cm, independente de ocorrer déficit hídrico durante a safra, indicando que a acidez em subsuperfície foi o fator preponderante em restringir a produtividade. Possivelmente, esse efeito do gesso está

Tabela 5. Atributos químicos de um Latossolo Vermelho distrófico típico com e sem incorporação de calcário, no estabelecimento do sistema de plantio direto. Amostragem de solo realizada após 25 anos do início desse sistema. Tapejara, Rio Grande do Sul.

Camada	Argila	pH	Ind. SMP	P	K	MO	Al	Ca	Mg	H+Al	CTC	Saturação	
cm	(%)			mg dm ⁻³			(%)	cmol _c ·dm ⁻³				Bases	Al
Com incorporação de calcário na implantação do SPD													
0 - 10	42,0	6,0	6,3	11,1	160	4,0	0,0	7,2	3,7	3,1	14,4	78	0
10 - 20	54,1	5,6	6,0	8,1	69	2,6	0,0	4,7	3,3	4,4	12,5	65	0
Sem incorporação de calcário na implantação do SPD													
0 - 10	47,0	5,3	5,7	9,0	225	3,4	0,4	3,6	1,9	6,2	12,2	49,7	6,15
10 - 20	54,1	5,0	5,4	5,3	81	2,0	1,2	1,8	1,3	8,8	11,99	27,6	26,6

Fonte: Escosteguy et al. (2013).

Tabela 6. Valores de pH em água de um Latossolo Vermelho distrófico típico há quarenta anos sob o sistema de plantio direto, após seis e trinta meses da aplicação de 4,0 t ha⁻¹ de calcário na superfície do solo. Ronda Alta, Rio Grande do Sul.

Camada cm	Valores de pH em água	
	Após seis meses	Após trinta meses
0 - 1	6,2	5,5
1 - 2	5,3	6,4
2 - 5	5,2	5,1
5 - 10	4,5	4,7

Fonte: Escosteguy, P.A.V (Não publicado).

relacionado com o maior crescimento das raízes, aumentando, conseqüentemente, a eficiência da adubação nitrogenada e a produção de grãos das gramíneas.

Contrastando com o milho e o trigo, ou outras espécies de gramíneas, os trabalhos revisados por Tiecher et al. (2018) mostram aumento do rendimento de grãos da cultura da soja, em resposta à gessagem, somente em solos com restrição simultânea por acidez e por déficit hídrico. Em solos sem essa última restrição, a resposta dessa cultura ao gesso pode ocorrer quando a saturação por Al for > 40%, na camada de 20 a 40 cm (Pias et al., 2020). Por outro lado, em solos do Sul do Brasil, sob SPD, e com baixa acidez em subsuperfície (saturação por Al < 10% e Ca > 3,0 cmol_c dm⁻³), não há incremento no rendimento de grãos da soja, mesmo em condição de baixa disponibilidade de água no solo (Tiecher et al., 2018). Nessa condição, doses altas de gesso (6,0 a 15 t ha⁻¹) podem decrescer o rendimento de grãos, possivelmente, ao induzir a deficiência de K ou de Mg nessa cultura.

Assim, os resultados dos experimentos revisados por esses autores indicam que a avaliação dos critérios diagnósticos para tomada de decisão da aplicação de gesso (saturação por Al > 10%; Ca < 3,0 cmol_c dm⁻³, na camada de 20-40 cm) devem ser complementados, avaliando-se ainda o tipo de cultura e a ocorrência de déficit hídrico.

Contudo, isso se aplica, principalmente, a Latossolos. Já em outros solos do Sul do Brasil (Neossolos, Chernossolos e Argissolos, etc), incluindo aqueles ocorrentes em terras baixas (Planossolos, Gleissolos, etc), esses critérios e camadas diagnósticas ainda necessitam ser definidos para uma tomada de decisão mais segura da necessidade de gessagem às culturas.

4.1.3 - Terras Baixas do Sul do Brasil

Em terras baixas do Sul do Brasil, o cultivo de arroz irrigado possui particularidades em relação aos cultivos não irrigados por alagamento do solo que se refletem nas técnicas de correção da acidez do solo a serem empregadas. Um dos principais impactos da aplicação de uma lâmina de água no solo é a correção natural do pH pelo curso das reações de redução, em virtude da ausência de O_2 no solo e a consequente alteração do metabolismo microbiano aeróbico para anaeróbico, cujas reações de redução de compostos consomem H^+ , fenômeno conhecido por “autocalagem” do solo (Marchesan et al., 2019).

Dessa forma, a aplicação de calcário para a elevação do pH não se justifica, exceto quando o sistema de semeadura do arroz é realizado em solo seco e a irrigação é realizada após 15-20 dias da emergência das plantas (semeadura em solo seco). Neste caso, o calcário é recomendado caso o pH em água seja inferior a 5,5 em dose suficiente para elevação do pH até esse valor, de forma a eliminar os efeitos deletérios da acidez (especialmente Al tóxico) enquanto as plantas ainda não se beneficiam da “autocalagem” do solo. No caso da semeadura no sistema pré-germinado, em que as plantas se estabelecem em um solo já alagado, não há recomendação da calagem para elevação do pH, exceto para o fornecimento de Ca e Mg quando a saturação por bases (V%) for < 40%. Para maiores detalhes sobre a recomendação da calagem para arroz irrigado, consulte SOSBAI (2018).

Tendo em vista que os sistemas de cultivo de arroz, mesmo naqueles considerados conservacionistas, preconizam o revolvimento do solo em algum momento, a aplicação de calcário deve ser realizada de modo incorporado, aproveitando as operações de mobilização do solo. Nos casos de arroz irrigado em rotação de culturas com espécies de sequeiro, a calagem deve ser utilizada considerando as recomendações para as espécies mais sensíveis, o que pode implicar na elevação do pH até 6,0.

4.2 - Adubação fosfatada e potássica

A disponibilidade natural de P é baixa na maioria dos solos do Brasil, incluindo as regiões Sul e o Cerrado. Os solos argilosos dessas regiões, em geral, são ricos em óxidos com alta capacidade de adsorção de P, e que retêm esse nutriente em formas menos disponíveis às plantas (Fink et al., 2016). A adsorção desse nutriente pelos óxidos é acentuada pela acidez do solo, logo, a correção de P e da acidez são práticas relevantes para a produção vegetal adequada, em qualquer sistema de manejo de solo (Figura 2).

Os teores elevados de óxidos com alta capacidade de adsorção de P, juntamente com a acidez acentuada, dos solos argilosos do Sul e do Cerrado do Brasil, dificultam a correção da disponibilidade desse nutriente, como ilustram os resultados da Tabela 4 para amostras de lavouras com vários anos de SPD. Conforme indicam os resultados dessa tabela, um percentual expressivo de amostras tem teores não corrigidos desse nutriente. As amostras de solos do Planalto do RS, utilizadas para os dados dessa tabe-

la, ainda foram analisadas na camada de 10-20 cm, constatando-se que cerca de 60% das amostras ainda têm teores de P não corrigidos nessa camada (dados não apresentados).

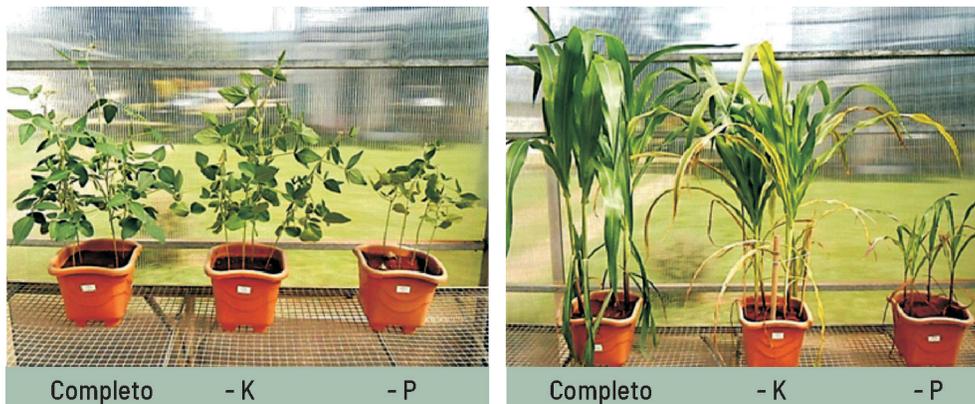


Figura 2. Desenvolvimento das culturas de soja e de milho em primeiro cultivo num latossolo argiloso, típico de Cerrado, submetido a tratamentos com correção da acidez e adubação com macro e micronutrientes (Completo), com omissão do fornecimento de potássio (-K) e com omissão de fósforo (-P). Fotos: Álvaro Resende.

A baixa disponibilidade de P do solo, comum em lavouras manejadas com o SPD, pode ser identificada com a análise de solo. Com essa ferramenta de diagnóstico, pode-se avaliar a necessidade e a quantidade de fertilizante fosfatado, indicadas para as culturas agrícolas em solos sob SPD, consultando as recomendações de adubação regionais (Sousa e Lobato, 2004; Fontoura et al., 2015; NEPAR/SBCS, 2019; NRS/SBCS, 2016).

Em solos argilosos e ácidos, adubados pela primeira vez com fertilizantes fosfatados, a eficiência de uso desses fertilizantes é baixa, variando entre 20 a 30%, mesmo com a correção da acidez e aplicando quantidades elevadas de fosfato e que superam a quantidade absorvida pelas plantas. Assim, em áreas novas de implantação do SPD, ou em solos com baixos teores de P sob esse sistema de manejo, a correção dos teores desse nutriente nas recomendações de adubação do Sul e do Cerrado do Brasil (Sousa e Lobato, 2004; Fontoura et al., 2015; NEPAR/SBCS, 2019; NRS/SBCS, 2016) prevê a aplicação de doses elevadas de P.

Tal qual o calcário, a mobilidade de P no solo é muito baixa e, em solos argilosos e ácidos, é importante corrigir a acidez e os teores desse nutriente quando da implantação do SPD, incorporando o calcário e o fertilizante fosfatado antes de se iniciarem os cultivos (Sousa e Lobato, 2004; NEPAR/SBCS, 2019; NRS/SBCS, 2016). Contudo, a dose de P aplicada na camada arável deve ser adequada conforme a capacidade de adsorção do solo, pois a homogeneização do fertilizante fosfatado e da MO nessa camada ocasiona maior adsorção desse nutriente (Nunes et al., 2011).

Em SPD consolidado, o fertilizante fosfatado seja na forma de fertilizante simples ou na forma de formulação NPK, deve ser aplicado na linha semeadura, distribuídos cerca de 2,5 a 5 cm ao lado e abaixo da semente, em solos com o teor de P não corrigidos (Classes de disponibilidade Muito Baixa, Baixa e Média). Em áreas com cultivos

de verão e de inverno, a aplicação de P na semeadura de inverno possibilita distribuir melhor o fertilizante fosfatado em linhas de menor espaçamento (ex: cultivo de trigo), diluindo-o no solo, com menores riscos de perda por escoamento.

A dinâmica do K no solo também é alterada com a adoção do SPD, intensificando a estratificação desse nutriente no perfil do solo, que acumula mais na camada superficial, seja devido à reciclagem pela palhada e deposição superficial ou pela adubação. Além disso, o manejo em SPD favorece o incremento de MO do solo e da CTC, o que pode influenciar o tamponamento de K, podendo ser necessário maiores teores de K trocável no solo para um adequado suprimento às culturas.

4.2.1 - Solos do Cerrado

Como representado na Figura 1, uma vez corrigida a acidez, a disponibilidade de P é o fator que mais restringe o desenvolvimento e produtividade das culturas nos solos de Cerrado, enquanto a disponibilidade de K geralmente pode ser considerada uma limitação de segundo momento, na fase de abertura de área (Figura 2), haja vista que as reservas naturais desse nutriente podem suprir parte da demanda dos primeiros cultivos. Assim, as respostas iniciais à adubação potássica são menos comuns ou de menor magnitude que as obtidas para a calagem e a fosfatagem (Lopes e Guilherme, 2016). Entretanto, práticas de construção da fertilidade do solo com fosfatagem e potassagem corretivas são requeridas no estabelecimento do SPD, sobretudo para cultivos intensivos e visando alta produtividade.

A fosfatagem corretiva é essencial nos solos de Cerrado para elevar a disponibilidade de P à níveis que viabilizem o desenvolvimento normal das culturas, gerando um efeito residual de P no solo, que, complementado pelas adubações de manutenção ao longo do tempo, garante o suprimento conforme a demanda do sistema de produção. A fosfatagem corretiva pode ser realizada com uma única aplicação de fertilizante, dimensionada buscando alcançar, de imediato, teor no solo interpretado como adequado, mas envolve custos relativamente mais elevados. Outra opção é realizar essa correção de forma gradual, aplicando-se doses de P um pouco acima das requeridas para manutenção das culturas nos cinco primeiros cultivos (Sousa et al., 2004).

O mesmo raciocínio se aplica à potassagem corretiva, porém, com o diferencial de que essa prática não se justifica para solos mais arenosos ($CTC < 4,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$), condição em que há maior potencial de perdas de K por lixiviação (Vilela et al., 2004). Devido à dinâmica mais simples, com menor retenção à fase sólida do solo e alta mobilidade, a difusão de K é maior, favorecendo sua homogeneização vertical e horizontal. Comparativamente ao P, a disponibilidade de K no solo pode aumentar rapidamente com as adubações ou baixar devido à absorção pelas culturas. Por essas razões, a potassagem corretiva é uma medida menos crítica e adotada com menor frequência.

Na Tabela 7 são apresentados valores de referência de disponibilidade de P e K, conforme a textura dos solos de Cerrado, bem como de outros atributos, para subsidiar o monitoramento da fertilidade visando estabelecer ambientes de alto potencial produtivo e viabilizar cultivos intensivos. Em geral, esses níveis de fertilidade são suficientes para sustentar safras com um custo otimizado das adubações de manutenção. Níveis mais elevados de P e K podem ser constituídos, dependendo de características texturais e mineralógicas do solo e de condições climáticas, de sub-regiões do Cerrado. Entretanto, essa possibilidade deve ser encarada como uma meta criteriosa, podendo ser interessante quando se trata de áreas próprias, mas pouco conveniente para situações de arrendamento de curto prazo.

Tabela 7. Indicadores de atributos químicos em solos da região do Cerrado, na camada de 0 a 20 cm, acima dos quais admite-se a condição de fertilidade construída.

Argila	MO	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Mn	Zn	V
g kg ⁻¹	g dm ⁻³	mg dm ⁻³		cmol _c dm ⁻³		mg dm ⁻³					%
≤ 150	10	25	40	2,4	1,0	9	0,5	0,8	5,0	1,6	50
160 a 350	20	20									
360 a 600	30	12	80								
> 600	35	6									

P, K, Cu, Mn e Zn determinados com o extrator Mehlich-1. Teor de S determinado por extração com Ca(H₂PO₄)₂ e interpretação considerando a média dos valores obtidos em amostras coletadas nas profundidades de 0 a 20 cm e 20 a 40 cm. Teor de B determinado por extração com água quente, com interpretação considerando o valor do pH (água) do solo próximo de 6,0.
 Fonte: Adaptado de Sousa e Lobato(2004) e Benites et al. (2010).

Quando as análises de solo apresentam disponibilidade de P e K próxima ou acima dos teores indicados na Tabela 7, as doses a aplicar nas adubações periódicas passam a depender basicamente da exigência das culturas e da expectativa de produtividade. Ou seja, a atenção no dimensionamento deve se voltar principalmente à planta, uma vez que o solo já atua como fonte e não mais dreno desses nutrientes. Nessa condição de fertilidade também passa a haver maior flexibilidade quanto ao modo de aplicação, no sulco ou a lanço, e à época, antecipada ou em cobertura, conforme interesses técnicos ou operacionais. Essas escolhas podem, ainda, estar atreladas à adoção da adubação de sistema, cujo adequado planejamento leva a ganhos de eficiência no uso de fertilizantes (Resende et al., 2016). Dependendo do objetivo, a adubação de sistemas com P e K pode ser feita direcionando às culturas mais exigentes/responsivas ou àquelas com maior capacidade de absorção/ciclagem.

A cultura da soja apresenta maior plasticidade sob diferentes níveis de disponibilidade de P e K, de modo que se mostra menos responsiva à adubação em solos de fertilidade construída, comparativamente aos cereais de inverno, milho, algodão e feijão. Sendo assim, na adubação de sistema, a eficiência de uso de fertilizantes seria maior se a aplicação de P e K fosse feita preferencialmente nessas últimas culturas (Fontoura et al., 2015; Vieira et al., 2015, 2016; De Bona et al., 2016; Resende e Giehl, 2021). Todavia, apesar dessas evidências técnicas, na prática, as adubações com P e K têm sido voltadas à soja, provavelmente por razões de conveniência e rendimento operacional nas fazendas do Cerrado.

Um ponto importante do manejo da adubação fosfatada no Cerrado se refere à ampla utilização da aplicação à lanço em superfície no SPD e seus reflexos na estratificação acentuada da disponibilidade no perfil, devido à baixa e lenta mobilidade do P nos solos argilosos, situação não verificada com a mesma magnitude para o K aplicado a lanço. Nesse contexto, ganha importância o SPD com maior diversificação, cuja escolha de espécies deveria levar em conta também a capacidade de ciclagem e mobilização de nutrientes no perfil. A braquiária tem beneficiado a fertilidade do solo no SPD ao promover a incorporação biológica e aumento da disponibilidade de P até abaixo de 20 cm no perfil (Crusciol et al., 2015). Em relação à eficiência da adubação

potássica, a braquiária atua no sentido inverso, recuperando o K lixiviado em profundidade no perfil e recolocando-o, por reciclagem, em circulação na camada superficial do solo, ao alcance das raízes das culturas principais do sistema (Ferreira et al., 2022).

4.2.2 - Terras Altas do Sul do Brasil

Embora em solos de baixa fertilidade sempre seja preferível aplicar os fertilizantes fosfatados na linha de semeadura, em solos com fertilidade corrigida, ou seja, aqueles em que os valores dos atributos químicos são iguais ou maiores aos apresentados nas Tabelas 8 e 9, não há expectativa de diferenças no rendimento de grãos entre as formas de aplicação na linha de semeadura ou a lanço. Nessa condição de fertilidade, a resposta da planta é atendida pela disponibilidade do nutriente no solo e a adubação visa apenas repor o que é exportado pela produção (NRS/SBCS, 2016). Esta tem sido a razão de muitos agricultores estarem optando pela aplicação superficial de fertilizantes no SPD, sobretudo os potássicos.

Entretanto, em solos argilosos com fertilidade construída, a aplicação a lanço, realizada por muitos anos, pode aumentar a estratificação de P no perfil do solo, concentrando esse nutriente na superfície (0-5 cm), e diminuindo o teor de P nas camadas mais profundas. A alta concentração de nutrientes na superfície e o forte contraste com as camadas subsuperficiais podem desfavorecer o aprofundamento radicular das plantas. Além disso, mesmo em relevo mais plano, a adubação fosfatada em superfície predispõe o arraste de adubo ou de partículas de solo enriquecidas em P por processos erosivos (erosão laminar), com potencial risco de contaminação de mananciais de água levando à eutrofização. Embora essa problemática ainda não esteja bem caracterizada no Brasil, há preocupações crescentes acerca de seu impacto na sustentabilidade futura dos sistemas de produção e do meio ambiente rural (Denardin et al., 2008; Prochnow et al., 2018). Assim, mesmo quando a disponibilidade do nutriente no solo seja alta e o modo de aplicação não afete a produtividade, sempre que possível, é melhor intercalar a forma de aplicação do fertilizante entre a lanço e na linha, ao longo do tempo e em culturas com diferentes espaçamentos entre linhas.

Em solos com os teores de P corrigidos, isto é, em que a disponibilidade desse nutriente corresponde à classe Alta ou Muito Alta, a eficiência da adubação fosfatada é maior do que a verificada em solos não corrigidos, variando entre 60 a 90%. Nessa condição, as quantidades indicadas para a adubação são menores, pois incluem as doses de manutenção na classe de P Alto, ou de reposição e até menos, na classe de disponibilidade Muito Alta (Sousa e Lobato, 2004; NEPAR/SBCS, 2019; NRS/SBCS, 2016). A reposição consiste em aplicar as quantidades exportadas pelos cultivos (Tabela 1), pois os teores de P do solo são no mínimo duas vezes maiores do que o teor crítico, estando em uma disponibilidade tal que permite atingir o teto produtivo das culturas agrícolas.

Tabela 8. Indicadores de atributos químicos em solos dos Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina, na camada de 0 a 10 cm, acima dos quais admite-se a condição de fertilidade construída, para o cultivo de grãos.

MO	Argila	P	CTC pH 7,0	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Mn	Zn	V**
g dm ⁻³	g kg ⁻¹	mg dm ⁻³	cmol _c dm ⁻³	mg dm ⁻³	cmol _c dm ⁻³				mg dm ⁻³			%
25	≤ 200	30	≤ 7,5	60								
50	210 a 400	18	7,6 a 15,0	90	4,0	1,0	10	0,30	0,40	5,0	0,50	75
> 50	410 a 600	12	15,1 a 30,0	120								
—	> 600	9	> 30,0	135								

P, K, Cu, Mn e Zn determinados com o extrator Mehlich-1. Teor de S determinado por extração com Ca(H₂PO₄)₂. Teor de B determinado por extração com água quente.
 Fonte: Adaptado de NRS/SBCS (2016).

Tabela 9. Indicadores de atributos químicos em solos do Estado do Paraná, na camada de 0 a 20 cm, acima dos quais admite-se a condição de fertilidade construída, para o cultivo de grãos.

Argila	MO	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Mn	Zn	V
g dm ⁻³	g dm ⁻³	mg dm ⁻³	cmol _c dm ⁻³			mg dm ⁻³					%
≤ 250		18									
250 a 400	24	12	0,21	2,0	1,0	3	0,3	0,8	30	1,2	50
> 400		9									

P, K, Cu, Mn e Zn determinados com o extrator Mehlich⁻¹. Teores de P e K determinados com o extrator Mehlich⁻¹. Teor de S determinado por extração com Ca(H₂PO₄)₂. Teor de B determinado por extração com cloreto de bário em água quente e teores de Cu, Mn e Zn determinados usando o extrator Mehlich⁻¹.
 Fonte: Adaptado de NEPAR/SBCS (2017).

Além da disponibilidade de P e da acidez, a eficiência da adubação fosfatada, em solos sob SPD, pode variar com outros fatores, como a cultura e a cultivar. Em geral, a eficiência dessa adubação é baixa nas culturas de algodão e do feijoeiro (18 a 40%), aumentando para média (45 a 60%) nas culturas de soja, trigo e arroz e é considerada alta na cultura de milho (60 a 90%) (Pavinato et al., 2021). Sempre que possível, esse aspecto deve ser considerado, pois doses excessivas de fertilizante fosfatado diminuem a eficiência da adubação e, conseqüentemente, a eficiência econômica dos cultivos. Nesse sentido, deve-se evitar a aplicação da mesma dose e do mesmo tipo de formulação NPK, em desacordo com os resultados da análise de solo. Outro aspecto importante e que compromete a eficiência da adubação fosfatada é a ausência de rotação de culturas, como ocorre no sistema de produção soja-pousio (Sousa et al., 2010; Pavinato et al., 2017).

As modificações na disponibilidade dos nutrientes no solo decorrentes do manejo em SPD e o aumento da produtividade de grãos das culturas, de modo geral, demandam um manejo da fertilidade do solo diferenciado. Exemplo disso foi a calibração da adubação potássica na região Centro-Sul do estado do Paraná, cuja filosofia de adubação adotada para esse nutriente foi a de correção e manutenção da fertilidade (Fontoura et al., 2015). Dessa forma, em solos com disponibilidade Baixa e Média, a

adubação indicada foi obtida pela dose de K necessária para elevar o teor de K no solo ao teor crítico, acrescido da exportação de K via grãos, enquanto em solos com disponibilidade Alta e Muito Alta a indicação de adubação se baseou na manutenção e reposição do nutriente exportado (20 kg de K_2O por tonelada de grãos de soja e 6,0 kg de K_2O por tonelada de grãos de milho, trigo e cevada).

4.2.3 - Terras Baixas do Sul do Brasil

O cultivo de arroz irrigado apresenta uma particularidade importante em relação ao manejo do P, independente do sistema de manejo de solo empregado. As reações de redução do solo, mencionadas no item 4.1.3 para justificar as particularidades do manejo da acidez, também afetam a disponibilidade de P no solo. A redução dos compostos férricos da fase sólida do solo é acompanhada da liberação do P adsorvido, aumentando sua concentração na solução do solo. Isso implica em não utilização da textura do solo para interpretação do resultado do P extraído pelo método Mehlich-1 e no fato de que baixos teores no solo já representam uma adequada disponibilidade do nutriente (NRS/SBCS, 2016; SOSBAI, 2018).

A adubação com P e K no arroz irrigado também não segue a lógica das doses de correção e/ou de manutenção adotada para os cultivos em terras altas, já que a recomendação é baseada em doses ajustadas para expectativa de resposta das plantas à adubação. Cabe salientar que esse tipo de manejo foi desenvolvido para áreas que tradicionalmente são cultivadas apenas com arroz no verão e que, quando da adoção da rotação de culturas com espécies de sequeiro, essas não serão beneficiadas com o aumento da disponibilidade provocados pelo alagamento no cultivo do arroz e podem requerer um manejo mais apropriado da adubação que integre a realidade desse cenário (Scvittaro et al., 2017).

Já o impacto da adubação com K em lavouras de arroz com rotação de culturas de sequeiro é bem menor, em comparação com o P, pois as doses aplicadas são geralmente próximas ou um pouco superiores à exportação desse nutriente pelos grãos. Como ambos os nutrientes são recomendados em função da expectativa de resposta da cultura, a aplicação de P e de K é efetuada na linha de semeadura da cultura, em cultivos com semeadura em solo seco. Preferencialmente, fontes solúveis desses nutrientes devem ser aplicadas, já que o aumento natural do pH pode desfavorecer fontes pouco solúveis, como os fosfatos naturais (Gonçalves et al., 2008).

4.3 - Adubação nitrogenada

O N se caracteriza pela dinâmica instável no solo e difícil previsibilidade de sua disponibilidade às culturas, pelo fato de estar sujeito à diversas transformações de suas formas orgânicas e minerais, na maioria das vezes mediadas pela atuação de determinados grupos de microrganismos. Trata-se de diferentes processos que não serão aqui detalhados, mas que sofrem influência da atividade microbiana no solo e de condições climáticas, afetando o suprimento de N ao longo do ciclo das culturas e o potencial de perdas do sistema. Assim, pode-se esperar alta variabilidade espacial e temporal da disponibilidade de N no solo, o que interfere nas respostas à adubação nitrogenada.

Com relação ao SPD, vale destacar os processos microbianos de imobilização e mineralização do N que, em última instância representam, respectivamente, indisponibilização temporária e liberação de formas absorvidas pelas plantas. O balanço

entre imobilização e mineralização depende, basicamente, da relação C/N dos restos culturais presentes no solo (palhada). De modo geral, os resíduos de gramíneas, por apresentarem relação C/N mais elevada, predispõem à imobilização, enquanto a mineralização é favorecida pelo aporte de resíduos de leguminosas, que têm baixa relação C/N. Portanto, a alternância/cominação de diferentes tipos de palhadas tem impactos quantitativos no suprimento de N aos cultivos posteriores e, consequentemente, no dimensionamento da adubação nitrogenada.

4.3.1 - Solos do Cerrado

Na região do Cerrado, o clima tropical normalmente condiciona níveis de MO no solo inferiores aos observados na região Sul (Tabelas 8 e 9), limitando fortemente a oferta de N no sistema solo-planta, de modo que o fornecimento via adubação constitui um dos fatores mais críticos à produção agrícola (Figura 1). À exceção da soja, a adubação nitrogenada é requerida para todas as demais culturas, a fim de garantir produção satisfatória, em especial, do milho e do algodão, que apresentam maior exigência. O menor número de opções e a falta de tradição no uso de espécies leguminosas para compor os sistemas de produção são agravantes para um balanço equilibrado de N no SPD no Cerrado. Nesse contexto, embora existam iniciativas de se considerar créditos de N da MO e da palhada de culturas antecessoras para ponderar o potencial de resposta à adubação nitrogenada, as recomendações vigentes ainda são um tanto generalistas.

O cenário atual da agricultura no Cerrado denota um SPD pouco diversificado, em que, na maioria das vezes, os produtores não cumprem a premissa da rotação de culturas. A combinação do cultivo de soja no verão sucedida pelo milho segunda safra representa o sistema modal. A resposta à adubação nitrogenada pelo milho segunda safra é bem menos intensa do que a observada quando o cereal é cultivado na safra principal, devido às seguintes particularidades: 1) na segunda safra, o milho se beneficia dos créditos de N derivados da decomposição da palhada de soja recém-colhida e 2) o potencial de rendimento de grãos de milho é menor na segunda safra, sobretudo em semeadura mais tardia, devido às condições climáticas de temperatura e precipitação pluviométrica menos favoráveis, em que o final do período das chuvas limita a produtividade, além da ocorrência de geadas em algumas áreas específicas. A inconstância climática também afeta a ciclagem de N, que é restringida pela menor temperatura e baixa umidade no solo, que, por sua vez, reduz o risco de lixiviação de nitrato, com consequente aumento do potencial de recuperação do N-fertilizante pelo milho. Essa conjuntura impõe respostas variáveis ao fornecimento de N entre lavou- ras e anos de cultivo do milho segunda safra, o que dificulta uma uniformização das indicações de adubação nitrogenada, principalmente levando-se em conta o retorno econômico.

Em geral, os trabalhos de pesquisa no Cerrado têm evidenciado ganhos de produtividade do milho segunda safra com a aplicação de doses moderadas de N; porém, sem apresentar padrões constantes entre locais e anos de cultivo (Ragagnin et al., 2010; Soratto et al., 2010; Gott et al., 2014; Sichoeki et al., 2014; Simão et al., 2018 e 2020). São recomendáveis adubações até o estágio V5 (cinco folhas expandidas), após o qual há menor probabilidade de resposta e aumento do risco de o déficit hídrico comprometer o aproveitamento do fertilizante aplicado em cobertura (Duarte et al., 2017). Também por esses motivos, o parcelamento do fornecimento de N em mais de uma aplicação em cobertura não seria aconselhável. Por outro lado, segundo esses

autores, a omissão de N na semeadura diminui a eficiência da adubação nitrogenada e o potencial produtivo da cultura, sendo indicado aplicar cerca de 40 kg ha⁻¹ de N naquele momento. A importância desse procedimento é realçada pelo fato de, em determinadas condições, a adubação nitrogenada na semeadura reduzir ou mesmo anular o efeito da adubação de cobertura no milho segunda safra (Simão et al., 2020).

Por muito tempo, a partir da década de 1980 até meados dos anos 2000, a produtividade na segunda safra permaneceu em patamares reduzidos, razão pela qual o cultivo após soja era chamado de milho “safrinha”, cuja nutrição dependia do residual de adubações com P e K na soja e de um mínimo investimento em N. O sistema soja-milho segunda safra foi sendo aperfeiçoado, sobretudo com o advento de novas cultivares de soja precoce e de cultivares de milho desenvolvidas especialmente para essa época de cultivo. Os tetos de produtividade atualmente obtidos são bem mais elevados, superando 180 sc ha⁻¹ em sub-regiões com maior aptidão edafoclimática dentro do bioma Cerrado. Não obstante, muitos produtores ainda subestimam a importância da adubação nitrogenada em níveis coerentes com as produtividades alcançadas.

Avaliações de curto prazo demonstram que a produtividade do milho segunda safra sem nenhum aporte de N via fertilizante pode ser relativamente alta, da ordem de 6 t ha⁻¹ ou mais (Simão et al., 2020). Mas, considerando uma taxa média de exportação de N nos grãos de cerca de 14 kg t⁻¹ (Tabela 1), seriam necessários 84 kg ha⁻¹ de N somente para compensar a quantidade removida quando se colhem 6 t ou 100 sc ha⁻¹. Na prática, verifica-se que nem sempre o N é fornecido nessa proporção pelos produtores. Além disso, é preciso levar em conta que a eficiência de recuperação de fertilizantes nitrogenados pelo milho não é elevada e varia largamente, com um valor médio de 63% em condições experimentais (Dobermann, 2005).

No trabalho de Simão et al. (2020), foi avaliada a resposta a N, em seis ambientes (combinação de três locais, em GO, MT e RO, e duas épocas de semeadura), em ano com boas condições climáticas, e foram obtidas produtividades de 6,5 a 9,9 t ha⁻¹. Os autores reportaram que, em média, a adubação com doses ao redor de 90 kg de N ha⁻¹ (na forma de ureia) permitiu conciliar ganhos de rendimento e viabilidade econômica, além de contribuir para melhor equilíbrio do balanço de N no sistema soja/milho segunda safra. Nesse sentido, pode-se considerar que aportes dessa ordem de grandeza constituem um nível de base de recomendações de adubação nitrogenada para o milho segunda safra, indicador de quantidade mínima a ser fornecida visando conservar a MO e a própria sustentabilidade dos sistemas de produção em longo prazo no Cerrado.

4.3.2 - Terras Altas do Sul do Brasil

O N é um dos nutrientes demandados em maior quantidade pelas gramíneas, como o milho e os cereais de inverno, e o seu suprimento adequado tem implicações técnicas quanto ao desempenho e à lucratividade, e ambientais, pelo alto potencial de lixiviação do nitrato (NO₃⁻) e volatilização da amônia (NH₃) e do óxido nitroso (N₂O). Do ponto de vista econômico, a dose de N a aplicar é, para muitos, a decisão mais importante no manejo do fertilizante. No entanto, grande parte da eficiência do adubo nitrogenado depende do seu manejo adequado quanto à época e parcelamento da aplicação, fonte de N utilizada, ajuste à população de plantas, aspectos econômicos e operacionais, além de fatores climáticos. Isso enfatiza a questão de que as indicações referentes à adubação nitrogenada devem ser cada vez mais específicas e não generalizadas.

O N é o nutriente que merece maior atenção quanto à época de aplicação por ser, na maioria das culturas, o elemento acumulado em maior quantidade e por apresentar-se predominantemente na forma de nitrato no solo, suscetível à lixiviação, que o difere dos demais nutrientes. Dessa forma, manejar a adubação nitrogenada quanto ao parcelamento de doses significa compatibilizar o suprimento do nutriente com períodos de maior demanda da cultura (Fontoura et al., 2015).

Com a adoção do SPD e culturas de cobertura no Sul do Brasil, criou-se a necessidade de adaptar a recomendação da adubação nitrogenada a esse novo cenário agrícola. Nesse sentido, as indicações mais recentes têm considerado, além do teor de MO do solo, a inclusão das culturas antecessoras, que afetam a disponibilidade de N, e o potencial de rendimento esperado (NEPAR/SBCS, 2019; NRS/SBCS, 2016; Fontoura et al., 2015). Diante desse novo cenário e de tetos produtivos mais elevados, pode-se verificar, a título de exemplo na Tabela 10, que as doses de N a serem aplicadas na cultura do milho na região Centro-Sul do Paraná podem variar amplamente e chegar a 380 kg N ha⁻¹ (Fontoura et al., 2015). Essa recomendação foi validada comparando-se as doses da tabela com as doses de máxima eficiência econômica (DMEE), obtidas ao longo de 13 anos de pesquisa de N em milho, calculadas para 20 situações distintas de solo, cultura antecessora e dose de N indicada na região (Figura 3a).

Outro respaldo importante ao sistema de indicação de N proposto para a adubação nitrogenada no PR foi o bom ajuste que as doses indicadas para a região Centro-Sul desse estado apresentaram, em relação às doses indicadas para o RS e SC ($R^2 = 0,88$, $p = 0,02$; Figura 3b), em condições similares de teor de MO do solo, cultura antecessora e expectativa de rendimento (Amado et al., 2002; CQFS-RS/SC, 2004). Essa concordância é muito importante, pois válida a utilização dessa indicação, a qual é ajustada para faixas elevadas de produtividade, para sub-regiões do RS e de SC com alto potencial de rendimento do milho. Por outro lado, a indicação do RS e SC, a qual contempla expectativas mais baixas de rendimento, também é válida para ser utilizada em sub-regiões do PR em que os rendimentos do milho estejam em faixas mais baixas do que as verificadas no estudo de Fontoura et al. (2015). Portanto, a análise conjunta da indicação apresentada para o Centro-Sul do PR e da indicação em vigor para os estados do RS e SC demonstra o caráter complementar que pode ser adotado no uso dessas indicações, equacionando praticamente a indicação de N para milho na região Sul do Brasil (Fontoura e Bayer, 2009).

Um ponto importante a salientar é que a obtenção dessas altas produtividades não está condicionada exclusivamente à dose de N aplicada, mas a um conjunto de práticas agrícolas adequadas (SPD bem manejado, rotação de culturas, fertilidade do solo corrigida, etc), além de condições climáticas que permitam a cultura expressar seu potencial.

Tabela 10. Dose de nitrogênio (N) indicada para cultura do milho no sistema plantio direto para a região Centro-Sul do Paraná.

Cultura antecedente e teor de MO, g dm ⁻³	Expectativa de rendimento de grãos, t ha ⁻¹				
	6-8	8,1-10	10,1-12	12,1-14	14,1-16
..... N, kg ha ⁻¹					
Gramíneas					
< 40	100	150	220	300	380
41 - 60	60	110	180	260	340
> 60	≤40	70	140	220	300
Consórcio gramínea-leguminosa e nabo forrageiro					
< 40	60	110	180	260	340
41 - 60	≤40	60	130	210	300
> 60	≤40	≤40	90	180	260
Leguminosas					
< 40	≤40	60	130	210	290
41 - 60	≤40	≤40	80	160	250
> 60	≤40	≤40	40	130	210

* Teor de MO do solo na camada de 0-20 cm; ** < 40 kg ha⁻¹ corresponde à indicação de N a ser realizada na sementeira do milho; *** Aplicar 20 kg ha⁻¹ de N a menos em situações em que a pré-cultura gramínea apresenta baixa produção de biomassa (< 2 t ha⁻¹). Em situações em que as pré-culturas do consórcio gramínea-leguminosa/nabo ou leguminosa solteira apresentarem baixa produção de biomassa, aplicar doses de N 20 e 40 kg ha⁻¹ maiores às indicadas no quadro acima, respectivamente.

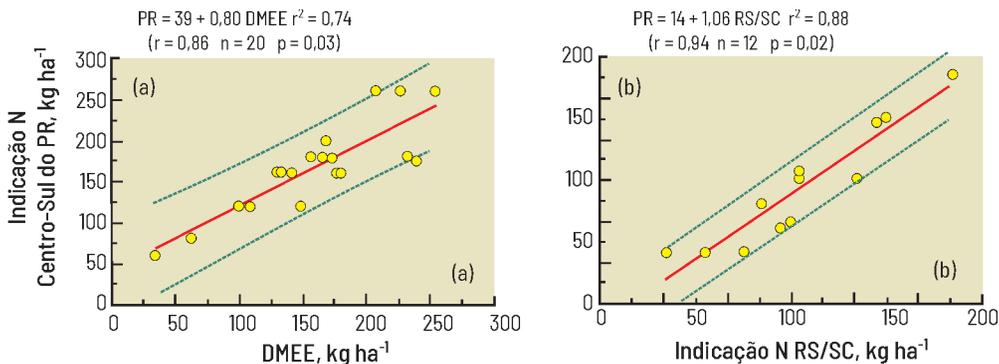


Figura 3. Relação entre as doses de máxima eficiência econômica (DME) de nitrogênio (N) e as doses indicadas na Tabela 10 (a), e entre a indicação de doses desse nutriente no RS/SC e a na região Centro-Sul do PR, em condições similares de solo, cultura antecedente e faixa de rendimento (b). As linhas tracejadas representam o intervalo de confiança de 95 % da equação ajustada.

Para os cereais de inverno, a combinação dos diferentes fatores que influenciam no suprimento e demanda de N pelas culturas resultam em doses que variam de 30 a 150 kg N ha⁻¹ para trigo, cultivado após a cultura da soja; e de 30 a 170 kg N ha⁻¹ quando o trigo é cultivado após a cultura de milho. A título de exemplo, para rendimentos de grãos de trigo entre 4,5 e 5,5 t ha⁻¹, a quantidade de N a ser aplicada varia de 50 a 110 kg N ha⁻¹, quando cultivado pós-soja; e de 70 a 130 kg N ha⁻¹, quando cultivado pós-milho. Da dose indicada para os cereais de inverno, sugere-se a aplicação de 30 kg ha⁻¹ de N em semeadura. O restante da dose deve ser aplicado em cobertura, entre os estádios de perfilhamento e alongação, correspondendo, em geral, à presença de 4 a 6 folhas no colmo principal. Maiores informações acerca do manejo da adubação nitrogenada em cereais de inverno podem ser obtidas em Fontoura et al. (2013), publicação que contempla uma grande amplitude de resultados experimentais obtidos em regiões do PR; ou em NRS/SBCS (2016), publicação que contempla os resultados de cultivos no RS e em SC.

4.3.3 - Terras baixas do Sul do Brasil

A adubação nitrogenada em arroz irrigado segue os mesmos princípios da adubação de outras gramíneas, com o uso da MO como indicador da disponibilidade de N no solo e uma dose ajustada também à expectativa de resposta da cultura à adubação. Ao longo do tempo, as recomendações de N aumentaram em função da evolução do potencial produtivo das variedades e da adoção de práticas de manejo mais adequadas (podem atingir 150 kg de N ha⁻¹) e apresentam algumas particularidades em função do manejo adotado (SOSBAI, 2018). Em relação ao século passado, a adubação com N na semeadura aumentou de 10 para 20 kg ha⁻¹ para os sistemas de semeadura em solo seco com a presença de resíduos culturais.

Como o ciclo do N é bastante afetado pelo alagamento do solo e a flutuação das condições aeróbicas e anaeróbicas, a adubação nitrogenada é preconizada com no mínimo duas aplicações em cobertura, sendo a maior proporção da dose para a primeira cobertura em solo seco imediatamente antes da entrada da água de irrigação (exceto no sistema pré-germinado), diminuindo as perdas com a volatilização da amônia. Como consequência do alagamento, fontes nítricas não são recomendadas ao arroz irrigado devido às perdas de N por desnitrificação. Atualmente, a introdução de outras espécies em rotação com o arroz, especialmente a soja no verão, mas também leguminosas de inverno, representa um aporte de resíduos com N incorporado pela FBN, o que potencializa o papel da MO do solo no suprimento de N às plantas de arroz ao longo do tempo.

4.4 - Adubação com enxofre e micronutrientes

4.4.1 - Solos do Cerrado

O cultivo em solos de Cerrado requer aplicações de S de modo tão mais frequente quanto mais intensivo for o sistema de produção. Os solos argilosos podem formar reservas substanciais de S, derivadas do efeito residual prolongado de adubações com fertilizantes contendo o nutriente ou da aplicação de gesso para o controle da acidez do solo. A gessagem normalmente supre quantidades de S muito superiores à demanda das culturas e este tende a se acumular em subsuperfície no perfil. Assim, essa prática gera um efeito residual que perdura por vários anos e dispensa adubação es-

pecífica com S. Todavia, os custos atuais de aquisição do gesso agrícola são maiores aos de décadas atrás, de modo que sua utilização tem sido inibida em sub-regiões do Cerrado que dependem de fretes de longa distância em relação às fábricas de fertilizantes fosfatados que geram o gesso como coproduto. Nesses casos, a opção por fontes de N e P que contém S pode ser vantajosa.

A análise de solo deve ser o balizador da decisão de se fornecer ou não esse nutriente. A interpretação é feita considerando a média dos teores obtidos em amostras coletadas nas camadas de 0 a 20 cm e 20 a 40 cm, utilizando extração com $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$. O teor de 9 mg dm^{-3} na média dessas camadas representa o nível crítico de S para solos de Cerrado (Tabela 7) e pode-se considerar um fornecimento de 15 kg ha^{-1} de S a cada cultivo. Rein e Sousa (2004) sugeriram a seguinte fórmula de cálculo da recomendação de S para culturas anuais, com base no teor médio do nutriente na profundidade de 0-40 cm: Dose de S (kg ha^{-1}) = $40 - (\text{teor médio de S no solo} \times 4)$.

Com relação aos micronutrientes, os solos de Cerrado tipicamente apresentam baixa disponibilidade natural, com destaque para as deficiências de B e Zn, que estão entre os principais fatores limitantes da produtividade em áreas novas abertas para a agricultura. Nas décadas de 1980 e 1990, uma série de experimentos conduzidos na Embrapa Cerrados, pelo pesquisador Enéas Galvão, formou a base de interpretação e recomendação de micronutrientes, em uso até os dias de hoje. Na Tabela 7 constam os teores de B, Cu, Mn e Zn considerados níveis críticos na análise da camada de 0-20 cm do solo. Em solos deficientes, são indicadas adubações corretivas com 2 kg ha^{-1} de B, 2 kg ha^{-1} de Cu, 6 kg ha^{-1} de Mn e 6 kg ha^{-1} de Zn, com reaplicação a cada quatro anos ou em intervalo menor para sistemas mais intensivos. No tratamento de sementes, é oportuno incluir os micronutrientes Cobalto e Molibidênio, especialmente no caso de culturas leguminosas.

Devido às pequenas quantidades requeridas/aplicadas e às reações dos micronutrientes no solo, há grande variabilidade espacial e temporal na sua disponibilidade. Assim, visando alta produtividade no Cerrado, adubações foliares são opções complementares de fornecimento e vários resultados de pesquisa relatam benefícios de pulverizações com formulações multinutrientes durante a fase vegetativa, promovendo uniformização nas lavouras e maior rendimento de grãos.

4.4.2 - Terras Altas do Sul do Brasil

Em solos do Sul do Brasil, com baixos teores de enxofre (S) extraído com fosfato de Ca ($S < 10 \text{ mg dm}^{-3}$, no RS e $S < 3 \text{ mg dm}^{-3}$, no PR; na camada de 0-20 cm), a aplicação de gesso pode aumentar o rendimento das culturas, mesmo em condição de baixa acidez em subsuperfície (NEPAR/SBCS, 2019; NRS/SBSC, 2016). Nessa situação, doses baixas de gesso (140 a 170 kg ha^{-1}), ou cerca de 25 kg S ha^{-1} , são suficientes para corrigir o teor desse nutriente em solos manejados com o SPD, independente se a cultura é gramínea ou leguminosa (Pias et al., 2020). Também há fornecimento de S quando se utiliza o superfosfato simples como fonte de P ou fórmulas NPK contendo S na sua composição. Salienta-se, no entanto, que em solos arenosos a perda por lixiviação pode ser acentuada, requerendo diagnóstico mais frequente dos teores de S no solo.

A deficiência de micronutrientes pode ser avaliada com a análise de solo ou de planta. Quando os teores são menores que os das Tabelas 8 e 9, esses nutrientes podem ser aplicados via solo ou adubação foliar. Em geral, as respostas das plantas são mais rápidas com uso desta última técnica, em relação a adubação via solo. Contudo,

a adubação foliar deve ser utilizada de forma adequada (no momento certo, com a fonte e a dose certas), e deve-se evitar misturas incompatíveis com herbicidas e fungicidas. Essa técnica tem menor efeito residual, em relação à adubação via solo e pode ter maior custo da aplicação, quando não é efetuada em conjunto com a aplicação de outros produtos, como herbicidas e fungicidas.

O tratamento de sementes e a adubação foliar com micronutrientes têm sido utilizados com relativa frequência em culturas de grãos do Sul do Brasil, principalmente, na soja. Contudo, em geral, essa técnica tem sido aplicada sem observar os critérios de maior probabilidade de resposta à adubação, pois é utilizada mesmo quando os teores de micronutrientes do solo são maiores que os das Tabelas 8 e 9. Nessa situação, a resposta à adubação não é garantida (baixa ou nula probabilidade de resposta) e pode ser ineficiente. Adicionalmente, a aplicação de vários micronutrientes em solos com teores elevados de alguns deles pode ocasionar toxicidade para a cultura adubada, ou para a cultura em sucessão.

A deficiência de B é a que ocorre mais frequentemente, em solos do Planalto do RS e no Centro-Sul do PR. Entre os fatores que interferem na probabilidade de deficiência desse micronutriente, destacam-se o material de origem do solo, o teor de MO, a textura, o clima, a imobilização de B nos restos culturais e a exportação pela colheita em áreas de alta produtividade. Em solos originados de rochas sedimentares, como os arenitos que formaram as unidades de mapeamento Cruz Alta e Tupanciretã do RS, ou em solos formados da mistura dessas rochas com basalto (Unidades de mapeamento Passo Fundo, fase arenosa), por exemplo, os teores de argila e de MO são baixos, e a deficiência desse micronutriente pode ocorrer, dependendo dos outros fatores mencionados, como em situações de seca e cultivos com maior demanda de B, como a soja, a canola e a cevada.

Além do B, o Mn também tem sido aplicado via fertilizantes foliares, em solos do Planalto do RS e no Centro-Sul do PR. Contudo, a deficiência desse micronutriente não é frequente nessas regiões, principalmente, em solos formados de rochas ígneas, como o basalto, riolito e dacito. Em geral, os teores de Mn desses solos são adequados e, frequentemente, são maiores que os admitidos para solos com fertilidade construída (Tabelas 8 e 9). Assim, a prática da adubação foliar rotineira com Mn pode ser pouco eficiente (baixa ou nula probabilidade de resposta). Por outro lado, a aplicação de calcário em excesso, sem considerar a análise de solo, pode aumentar o pH do solo a valores maiores que 6,5. Nessa situação, a disponibilidade de Mn do solo tende a ser reduzida e eventuais deficiências nas culturas podem ser corrigidas com aplicações foliares.

Os micronutrientes também têm sido aplicados às sementes, principalmente, o Mo acompanhado do Co, elemento benéfico às bactérias que fixam o N em soja. A deficiência de Mo é particularmente importante em solos ácidos (pH em água < 5,5) e com baixa disponibilidade de N no início do desenvolvimento dessa cultura e é frequente quando o SPD é implantado em áreas de campo nativo e sem a correção da acidez. A aplicação de Mo ou de micronutrientes em sementes de soja deve ser efetuada de forma compatível com a inoculação de bactérias (*Bradyrhizobium japonicum*, *B. diazoefficiens* e *B. elkanii*), pois do contrário pode prejudicar a FBN em solos de primeiro cultivo, principalmente, os arenosos. Nessas áreas, o tratamento de sementes com outros produtos que não o inoculante deve ser evitado, desde que as sementes tenham qualidade fisiológica e sanitária adequadas, e a disponibilidade hídrica e a temperatura sejam adequadas para a rápida germinação e emergência da soja e o estabelecimento da FBN (Indicações..., 2016). Quando os micronutrientes forem aplicados nas sementes

dessa cultura, essa prática deve anteceder a adição do inoculante. Alternativamente, o Mo pode ser aplicado via foliar, nos estádios V2-V3, evitando o risco de prejudicar a FBN.

4.4.3 - Terras Baixas do Sul do Brasil

Embora o arroz irrigado seja uma espécie considerada menos exigente em S, suas altas produtividades que podem superar 10 t ha^{-1} , associadas com o cultivo em solos bastante arenosos e com baixos teores de MO, como aqueles localizados na Depressão Central do RS, podem requerer o aporte de adubos contendo S, quando os teores de S-SO_4 na análise de solo são menores que 10 mg kg^{-1} . As doses indicadas são limitadas a 20 kg ha^{-1} e podem ser supridas com uso de superfosfato simples, na adubação fosfatada, ou o sulfato de amônio, na adubação nitrogenada em cobertura, substituindo parte da ureia usada para atender a recomendação de N. Por outro lado, o excesso desse elemento pode ser prejudicial para a cultura, já que as reações de redução do sulfato em condições anaeróbicas podem gerar ácido sulfídrico que, em níveis elevados, pode causar distúrbios às plantas de arroz.

Na cultura do arroz irrigado, embora os efeitos do alagamento do solo possam alterar a dinâmica e disponibilidade de micronutrientes, não há relatos de pesquisas que suportem teores críticos ou resposta à aplicação de doses na cultura. Entretanto, os agricultores que passaram a incluir culturas de sequeiro em rotação com o arroz irrigado, especialmente em solos arenosos e com baixos teores de MO, devem ficar mais atentos aos teores no solo e desempenho das culturas tanto em relação ao S como aos micronutrientes, já que os solos de terras baixas são distintos daqueles em terras altas no Sul do Brasil ou no Cerrado brasileiro.

Particularmente para o arroz irrigado, o alagamento do solo aumenta a disponibilidade de Fe e Mn devido a solubilização destes elementos quando os oxi(hidro)xidos de Fe e Mn do solo são usados como aceptores de elétrons no metabolismo microbiano anaeróbico. Esse aumento de disponibilidade pode favorecer a ocorrência de toxidez por Fe em arroz, cuja probabilidade pode ser avaliada pela análise de solo. Em áreas sujeitas à toxidez por Fe, a calagem do solo para pH em torno de 6,0 ajuda a minimizar seus efeitos, embora outros fatores como a sensibilidade da cultivar, o regime de irrigação e a disponibilidade de outros nutrientes possam influenciar tanto na ocorrência como nos impactos sobre a produtividade da cultura (SOSBAI, 2018).

5 - Considerações Finais

Os atributos químicos do solo são um dos pilares da fertilidade, juntamente com os atributos físicos e biológicos. Contudo, a fertilidade de muitos solos tem sido manejada com o uso exclusivo da adubação e da calagem, sem considerar as boas práticas indicadas para a adoção dessas técnicas e as estratégias de manejo necessárias para a consolidação do SPD. Entre outras, algumas técnicas básicas, como a calagem em profundidade, são lacunas frequentemente presentes no histórico de implantação do SPD. Embora os melhores resultados de produtividade de grãos tenham sido obtidos em solos com fertilidade construída, o SPD tem se expandido, principalmente, em áreas de baixa fertilidade. Nesse contexto, destaca-se a importância da correção da acidez e da disponibilidade de P para a construção do perfil de solo. A correção do Al em subsuperfície é imprescindível para o controle da acidez e ampliação do volume de solo explorado pelas raízes. Isso é importante para amenizar outros estresses am-

bientais, como a compactação e a deficiência hídrica, além de aumentar a eficiência da adubação. A correção da disponibilidade de P é crítica, principalmente, em solos argilosos com alta capacidade de fixação de fosfatos, e que sem a correção da acidez indisponibilizam ainda mais esse nutriente. Assim, o manejo da calagem e da adubação fosfatada são práticas básicas de construção da fertilidade dos solos sob SPD e que devem ser consideradas ao implantar esse sistema para que ele se consolide e as propriedades do solo potencializem o crescimento das plantas.

Embora a correção das restrições químicas do solo possa ser realizada com as boas práticas de calagem e de adubação, a importância de processos biológicos e da adoção de práticas conservacionistas têm-se mostrado determinantes para a melhoria da fertilidade do solo, sobretudo dos atributos influenciados pela MO. Essas práticas, especialmente a rotação de culturas com maior aporte de restos culturais e de raízes, tendem a contribuir para o aumento desse constituinte no solo, favorecendo as produtividades das culturas e a estabilidade produtiva ao longo dos anos. Esses efeitos são atribuídos à melhoria de características físicas, químicas e biológicas do solo, ocasionada pela MO. Em conjunto com as técnicas de correção química discutidas no texto, essas práticas de manejo otimizam a ciclagem dos nutrientes, amenizam os efeitos da toxidez do Al e da fixação de fosfatos, melhoram propriedades físicas do solo que favorecem a disponibilidade de água e o crescimento das plantas e, consequentemente, minimizam a necessidade e maximizam a eficiência de insumos, como os fertilizantes e os corretivos de acidez. Nesse sentido, a otimização das condições químicas do solo pressupõe a adoção de um conjunto de práticas integradas de manejos agrônômicos.

REFERÊNCIAS

- AITA, C.; GIACOMINI, S.J.; CERETTA, C.A. Decomposição e liberação de nutrientes dos resíduos culturais de adubos verdes. In: LIMA FILHO, O.F.; AMBROSANO, E.J.; ROSSI, F.; CARLOS, J.A.D. (Eds.). **Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil: fundamentos e prática**. Brasília, DF: Embrapa; 2014. v.1. p.225-264.
- AMADO, T.J.C.; MIELNICZUK, J.; AITA, C. Recomendação de adubação nitrogenada para o milho no RS e SC adaptada ao uso de plantas de cobertura do solo, sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, 26:241-248, 2002.
- ANGHINONI, I.; SALET, R.L. Amostragem do solo e as recomendações de adubação e calagem no sistema plantio direto. in: NUERNBERG, N. J., (ed.). *Conceitos e fundamentos do sistema plantio direto*. Lages: Núcleo Regional Sul/SBCS, 1998. p.27-52.
- BAYER, C.; BISSANI, C.A.; ZANATTA, J.A. Química de solos em plantio direto. In: FONTOURA, S.M.V; BAYER, C. (Org.). **Manejo e fertilidade de solos em plantio direto**. 2ed. Guarapuava: Mimiog, 2009, p. 7-30.
- BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A.; DIECKOW, J. Carbon sequestration in two brazilian cerrado soils under no-till. **Soil Tillage Research**, 86:237-45, 2006.
- BAYER, C.; DIECKNOW, J.; CONCEIÇÃO, P.C.; SANTOS, J. C. F. Sistema de manejo conservacionista e qualidade de solos, com ênfase na matéria orgânica. In: BERTOL, I.; DE MARIA, I. C.; SOUZA, L. S. **Manejo e Conservação do Solo e da Água**. Vol. 1. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (SBCS), 2019. p. 315 – 343.

BENITES, V.M.; CARVALHO, M.C.S.; RESENDE, A.V.; POLIDORO, J.C.; BERNARDI, A.C.C.; OLIVEIRA, F.A. Potássio, cálcio e magnésio. In: PROCHNOW, L.I.; CASARIN, V.; STIPP, S.R. (Org.). **Boas Práticas para Uso Eficiente de Fertilizantes**: Nutrientes. 1ed. Piracicaba: IPNI Brasil, 2010, v.2, p.133-204.

BOENI, M.; ANGHINONI, I.; GENRO JR., A.S.; OSÓRIO FILHO, B.D. **Evolução da fertilidade dos solos cultivados com arroz irrigado no Rio Grande do Sul**. Cachoeirinha: IRGA/Estação experimental. Seção de Agronomia, 2010. 40p. (Boletim técnico n° 10).

BOLAN, N.S.; HEDLEY, M.J. Role of carbon, nitrogen, and sulfur cycles in soil acidification. In Z. Rengel, ed. *Handbook of Soil Acidity*, USA, New York, Marcel Dekker, Inc. 29-56, 2003.

BOLLER, W. Máquinas para distribuição de calcário. **Revista Plantio Direto**, Ed. 111: 26-33, 2009.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO - CQFS-RS/SC. **Manual de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 10.ed. Porto Alegre, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2004. 400p.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS – CFSEMG. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**: 5ª aproximação. Viçosa: CFSEMG. 1999. 359p.

CRUSCIOL, C.A.C.; NASCENTE, A.S.; BORGHI, E.; SORATTO, R.P.; MARTINS, P.O. Improving soil fertility and crop yield in a tropical region with palisade grass cover crops. **Agronomy Journal**, 107:2271-2280, 2015.

DE BONA, F.D.; ESCOSTEGUY, P.A.V.; SOUSA, R.O.; SILVA, L.S.; GATIBONI, L.C. Grãos. In: SILVA, L.S.; GATIBONI, L.C.; ANGHINONI, I.; SOUSA, R.O. (Eds.). **Manual de calagem e adubação para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo/Núcleo Regional Sul; 2016. p. 101-34.

DENARDIN, J.E.; FAGANELLO, A.; SATTLER, A. **Vertical mulching**: prática conservacionista mitigadora de perdas por erosão hídrica em sistema plantio direto. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2008, 8p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 53).

DOBERMANN, A.R. **Nitrogen use efficiency – state of the art**. 2005. Disponível em: <<https://digitalcommons.unl.edu/agronomyfacpub/316>>. Acesso em: 21 jun 2020.

DUARTE, A. P.; CANTARELLA, H.; KAPPES, C. Adubação de Sistemas Produtivos: Milho Safrinha e Soja. In: PAES, M.C.D. (Org.) **Construindo Sistemas de Produção Sustentáveis e Rentáveis**. Seminário Nacional de Milho Safrinha, XIV. Livro de Palestras. ABMS, Sete Lagoas. 2017. p. 86-106.

ESCOSTEGUY, P.A.V.; HÄNEL, J.; ROEHRIG, R. Acidez e calagem em culturas de grãos em plantio direto. **Revista Plantio Direto**, Ed. 135 e 136: 45-55, 2013.

FERREIRA, A.C.B.; BORIN, A.L.D.C.; LAMAS, F.M.; FERREIRA, G.B.; RESENDE, A.V. Exchangeable potassium reserve in a Brazilian savanna Oxisol after nine years under different cotton production systems. **Scientia Agricola**, 79: n. 4, e20200339, 2022.

FIORIN, J.E.; CANAL, I.N.; CAMPOS, B.C. Fertilidade do solo. In: CAMPOS, B.C. (Ed.). **A cultura do milho no plantio direto**. Cruz Alta: Fundacep Fecotriço. 15-54, 1998.

FINK, J.R.; INDA, A.V.; BAVARESCO, J.; BARRÓN, V.; TORRENT, J.; BAYER, C. Adsorption and desorption of phosphorus in subtropical soils as affected by management system and mineralogy. **Soil Tillage Research**, 155:62-68, 2016.

- FONTOURA, S.M.V.; BAYER, C. **Trinta anos do experimento de manejo de solo, Guarapuava, PR**: edição comemorativa. Guarapuava, Paraná: Fundação Agrária de Pesquisa Agropecuária, 2008. 56p.
- FONTOURA, S.M.V.; BAYER, C. Adubação nitrogenada para alto rendimento de milho em plantio direto na região Centro-Sul do Paraná. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 33, 1721-1732, 2009.
- FONTOURA, S.M.V.; PIAS, O.R.C.; TIECHER, T.; CHERUBIN, M.R.; DE MORAES, R.P.; BAYER, C. Effect of gypsum rates and lime with different reactivity on soil acidity and crop grain yields in a subtropical Oxisol under no-tillage. **Soil & Tillage Research**, 193, 27-41, 2019.
- FONTOURA, S.M.V.; VIEIRA, R.C.B.; BAYER, C.; VIERO, F.; ANGHINONI, I.; MORAES, R.P. **Fertilidade do solo e seu manejo em plantio direto no Centro-Sul do Paraná**. Guarapuava: Fundação Agrária de Pesquisa Agropecuária, 2015. 146p.
- FONTOURA, S.M.V.; VIERO, F.; BAYER, C.; MORAES, R.P. **Adubação nitrogenada em cereais de inverno na região Centro-Sul do Paraná**. Guarapuava: FAPA, 42p. 2013.
- GONÇALVES, G.K.; SOUSA, R.O.S.; VAHL, L.C.; BORTOLON, L. Solubilização dos fosfatos naturais Patos de Minas e Arad em dois solos alagados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 32:2157-2164, 2008.
- GOTT, R.M.; SICHOCKI, D.; AQUINO, L.A.; XAVIER, F.O.; SANTOS, L.P.D. dos; AQUINO, R.F.B.A. de. Fontes e épocas de aplicação de nitrogênio no milho safrinha. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, 13:24-34, 2014.
- LOPES, A.S.; GUILHERME, L.R.G. A career perspective on soil management in the Cerrado Region of Brazil. **Advances in Agronomy**, 137:1-72, 2016.
- MARCHESAN, E.; SILVA, L.S.; SOUSA, R.O.; PAULETTO, E. A. O manejo do solo em ambientes de terras baixas: a experiência da Região Sul. In: BERTOL, I.; MARIA, I.C.; SOUZA, L.S. (Org.). **MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA**. 1ed. Viçosa: SBCS, 2019, v. 1, p. 729-767.
- MATTEI, A.A.G.; ESCOSTEGUY, P.A.V.; BOLLER, W. Efeito da umidade do calcário na uniformidade de distribuição a lanço. **Revista Plantio Direto**. Ed. 178: 46-52, 2020.
- MIRANDA, L.N.; MIRANDA, J.C.C.; REIN, T.A.; GOMES, A.C. Utilização de calcário em plantio direto e convencional de soja e milho em Latossolo Vermelho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 40 (6): 563-572, 2005.
- PAVINATO, P.S.; RODRIGUES, M.; SOLTANGHEISI, A.; SARTOR, L.R.; WITHERS, P.J.A. Effects of cover crops and phosphorus sources on maize yield, phosphorus uptake, and phosphorus use efficiency. **Agronomy Journal**, 109:1039-1047, 2017.
- PIAS, O.H.C.; TIECHER, T.; CHERUBIN, M.R.; SILVA, A.G.B.; BAYER, C. Does gypsum increase crop grain yield on no tilled acid soils? A meta analysis. **Agronomy Journal**, 112: 1-20, 2020.
- PROCHNOW, L.I.; RESENDE, A.V.; OLIVEIRA JUNIOR, A.; FRANCISCO, E.A.B.; CASARIN, V.; PAVINATO, P.S. Phosphorus placement for annual crops in the tropics. **Better Crops**, 102 (1): 21-24, 2018.
- RAGAGNIN, V.A.; SENA JÚNIOR, D.G. de; KLEIN, V.; LIMA, R.S.; COSTA, M.M.; OLIVEIRA NETO, O.V. de. Adubação nitrogenada em milho safrinha sob plantio direto em Jataí-GO. **Global Science and Technology**, 3:70-77, 2010.

- REIN, T.A.; SOUSA, D.M.G. Adubação com enxofre. In: SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. (Eds.). **Cerrado**: correção do solo e adubação. 2.ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. p.227-244.
- RESENDE, A.V.; FONTOURA, S.M.V.; BORGHI, E.; SANTOS, F.C.; KAPPES, C.; MOREIRA, S.G.; OLIVEIRA JUNIOR, A.; BORIN, A.L.D.C. Solos de fertilidade construída: características, funcionamento e manejo. **Informações Agrônomicas**, 156: 1-17, 2016.
- RESENDE, A.V.; COELHO, A.M. Amostragem para mapeamento e manejo da fertilidade do solo na abordagem de agricultura de precisão. **Informações Agrônomicas**, 3:1-8, 2017.
- ROBSON, A.D. ed. Soil acidity and plant growth. Academic Press Australia. Academic Press, Australia, 1989.
- SÁ, J. C. M.; SÉGY, L.; TIVET, F.; LAL, R.; BOUZINAC, S.; BORSZOWSKI, P. R.; BRIEDIS, C.; SANTOS, J. B. DOS; HARTMAN, D. DA C.; BERTOLONI, C. G.; ROSA, J.; FRIEDRICH, T. Carbon depletion by plowing and its restoration by no-till cropping systems in oxisols of subtropical and tropical agro-ecoregions in Brazil. **Land Degradation & Development**, 26:531-543, 2015.
- SAKO, H.; SOARES, J.E.; SILVA, L.A.; BALARDIN, R. **Boletim Técnico 1**: Relações de enraizamento e cálcio no solo para alta produtividade da safra 14/15. Sorocaba: CESB, 2015. 15p.
- SALET, L.R.; Toxidez de alumínio no sistema plantio direto. Tese de Doutorado em Ciência do Solo. Faculdade de Agronomia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre (109 p.). 1998.
- SICHOCKI, D.; GOTT, R.M.; FUGA, C.A.G.; AQUINO, L.A.; RUAS, R.A.A.; NUNES, P.H.M.P. Resposta do milho safrinha a doses de nitrogênio e de fósforo. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, 13: 48-58, 2014.
- SCIVITTARO, W.B.; SILVA, L.S. da; SOUSA, R.O. de. Manejo da fertilidade do solo para cultivo de soja e milho. In: Beatriz Marti Emygdio; Ana Paula Schneid Afonso da Rosa; Ana Cláudia Barneche de Oliveira. (Org.). Cultivo de soja e milho em terras baixas do Rio Grande do Sul. 1ed., Brasília: Embrapa, v. 1, 105-126, 2017.
- SILVA, E.C.; MURAOKA, T.; GUIMARÃES, G.L.; BUZETTI, S. Acúmulo de nutrientes em plantas de cobertura e no milho cultivado em sucessão sob diferentes doses de nitrogênio em plantio direto. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, 5 (2): 202-217, 2006.
- SILVA, L.S.; SOUSA, R.O.; POCOJESKI, E. Dinâmica da matéria orgânica em ambientes alagados. In: SANTOS, G.A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L.P.; CAMARGO, F.A. de O. (Org.). Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais & subtropicais. 2ed. Porto Alegre: Metropole, 2008, p. 525-543.
- SIMÃO, E.P.; RESENDE, A.V.; GONTIJO NETO, M.M.; BORGHI, E.; VANIN, Á. Resposta do milho safrinha à adubação em duas épocas de semeadura. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, 17:76-90, 2018.
- SIMÃO, E.P.; RESENDE, A.V.; GONTIJO NETO, M.M.; SILVA, A.F.; GODINHO, V.P.C.; GALVÃO, J.C.C.; BORGHI, E.; OLIVEIRA, A.C.; GIEHL, J. Nitrogen fertilization in off-season corn crop in different Brazilian Cerrado environments. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 55: e01551, 2020.
- SIQUEIRA NETO, M.; VENZKE FILHO, S.P.; PICCOLO, M.C.; CERRI, C.E.P.; CERRI, C.C. Rotação de culturas no sistema plantio direto em Tibagi (PR). I - Sequestro de carbono no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 33:1013-1022, 2009.

- SORATTO, R.P.; PEREIRA, M.; COSTA, T.A.M. da; LAMPERT, V. do N. Fontes alternativas e doses de nitrogênio no milho safrinha em sucessão à soja. **Revista Ciência Agrônômica**, 41:511-518, 2010.
- SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. (Eds.). **Cerrado**: correção do solo e adubação. 2.ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. 416p.
- SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E.; REIN, T.A. Adubação com fósforo. In: SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. (Eds.). **Cerrado**: correção do solo e adubação. 2.ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. p.147-168.
- SOUSA, D.M.G.; NUNES, R.S.; REIN, T.A.; SANTOS JUNIOR, J.D.G. OLIVEIRA, S.A. Acidez do solo e seu manejo na Região de Cerrado. In: FLORES, R.A.; CUNHA, P.P. (Eds.). **Práticas de manejo do solo para adequada nutrição de plantas no Cerrado**. Goiânia: UFG, 2016. p.125-190.
- SOUSA, D.M.G.; REIN, T.A.; NUNES, R.S. Necessidade de reaplicação de calcário em experimento de adubação fosfatada de longa duração com soja e milho sob plantio direto e preparo convencional em Latossolo do Cerrado. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 29., 2010, Guarapari. Fontes de nutrientes e produção agrícola: modelando o futuro. **Anais...** CD-ROM. FERTBIO 2010.
- SOUSA, D.M.G.; REIN, T.A.; GOEDERT, W.J.; LOBATO, E.; NUNES, R.S. Fósforo. In: Boas Práticas Para Uso Eficiente de Fertilizantes: v 2, Nutrientes, eds L.I. Prochnow; V. Casarin; S. R. Stipp (Piracicaba: INPI - Brasil), 67-132. 2010.
- TIECHER T.; PIAS O.H.C.; BAYER C.; MARTINS A.P.; DENARDIN L.G.O.; ANGHINONI I. Crop response to gypsum application to subtropical soils under no-till in Brazil: a systematic review. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 42:e0170025. 2018.
- URQUIAGA, S.; ALVES, B.J.R.; JANTALIA, C.P.; MARTINS, M.R.; BODDEY, R.M. Acultura do milho e seu impacto nas emissões de GEE no Brasil. In: KARAM, D. MAGALHÃES, P.C. (Eds.). **Eficiência nas cadeias produtivas e o abastecimento global**. Sete Lagoas: ABMS; 2014. p.61-71.
- VIEBRANTZ, L.F; ESCOSTEGUY, P.A.V. Macronutrientes e produção de biomassa de coberturas de inverno. Artigo submetido para o trabalho de conclusão do Curso de Agronomia da Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, RS. 2021, 13p.
- VIEIRA, R.C.B. et al. Critérios de calagem e teores críticos de fósforo e potássio em Latossolos sob plantio direto no Centro-Sul do Paraná. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 37:188-198, 2013.
- VIEIRA, R.C.B.; FONTOURA, S.M.V.; BAYER, C.; MORAES, R.P.; CARNIEL, E. Potassium fertilization for long term no-till crop rotation in the Central-Southern region of Paraná, Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 40: e0150193, 16p., 2016.
- VIEIRA, R.C.B.; FONTOURA, S.M.V.; BAYER, C.; MORAES, R.P.; CARNIEL, E. Adubação fosfatada para alta produtividade de soja, milho e cereais de inverno cultivados em rotação em Latossolos em plantio direto no Centro-Sul do Paraná. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 39:794-808, 2015.
- VILELA, L.; SOUSA, D.M.G.; SILVA, J.E. Adubação potássica. In: SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. (Eds.). **Cerrado**: correção do solo e adubação. 2.ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. p.169-183.
- YAGI, R.; FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P.; BARBOSA, J.C.; ARAÚJO, L.A.N. Soil organic matter as a function of nitrogen fertilization in crop successions. **Scientia Agrícola**, 62:374-380, 2005.

Mecanização e Novas Tecnologias em Plantio Direto

Dr. André Luiz Johann e Dr. Ruy Casão Junior

Parte 1

Mecanização no Sistema Plantio Direto

Dr. Ruy Casão Junior

No início da década de 70 já existiam algumas tentativas de realizar trabalhos com revolvimento mínimo do solo no Rio Grande do Sul e Paraná. O produtor pioneiro no sistema plantio direto (SPD) foi Herbert Arnold Bartz de Rolândia (PR), que importou a semeadora americana Allis Chalmers em 1972 (Figura 1). Poucos foram os pioneiros dessa época. Um momento de forte adoção do SPD deu-se nos Campos Gerais do PR a partir de 1976 com a liderança dos produtores Franke Dijkstra e Manoel Henrique Pereira. Essa iniciativa resultou na criação do Clube da Minhoca, Fundação ABC, FEBRAPDP e CAAPAS, servindo de inspiração para criação de diversos Clubes de Amigos da Terra e outras instituições disseminadas pelo Brasil (CASÃO JUNIOR, et al 2008).

Nesta ocasião o IAPAR e o CNPT/Embrapa passaram a realizar pesquisas sistemáticas no SPD, surgindo em 1981 o primeiro livro do assunto publicado pelo IAPAR com apoio da ICI. No RS foram grandes os esforços no desenvolvimento de componentes rompedores de solo pelo CNPT/Embrapa servindo de modelo para as indústrias iniciarem a fabricação das primeiras máquinas, como a TD 300 (Figura 1).

Produtores pioneiros e oficinas locais do PR e RS destacavam-se por realizar adaptações, principalmente na tentativa de semear culturas de verão, predominantemente a soja. Isso em função de que a máquina disponível nos anos 70 era a Rotacaster que além de mobilizar exageradamente o solo, tinha baixo rendimento.



Figura 1. Semeadora Allis Chalmers à esquerda; Semeadora TD 300 da Semeato a direita.

A década de 80 foi um período de estudos e laboratório, onde não havia uma definição clara de como uma semeadora para o SPD deveria trabalhar. Nesse processo as indústrias foram aperfeiçoando seus produtos e criando também semeadoras de precisão para o SPD. Com os trabalhos de pesquisa e a experiência de produtores da época, consolidaram-se os conceitos de rotação de culturas e uso de plantas de cobertura, além da necessidade de adequar o terreno para implantação do SPD. Com a alta do petróleo e a elevação dos custos de produção, o produtor viu-se mais motivado em adotar o SPD. O herbicida Glifosato teve iniciada sua fabricação a partir de 1984 e anos depois passou a ser produzido por muitos fabricantes e a preço mais acessível. Ainda no período surgiram no sul do Brasil vários programas de manejo e conservação dos recursos naturais, como o PMISA no PR, o PIUCS e projeto Saraqua no RS. Posteriormente o Paranarural, seguido pelo Paraná 12 Meses no PR, o projeto MetasS no RS e uma grande quantidade de novas iniciativas e projetos regionais no país como um todo.

O CNPT/Embrapa passou a realizar avaliações de semeadoras de plantio direto em Passo Fundo entre 1993 a 1997 e o IAPAR entre 1996 e 2003. Esses trabalhos promoveram uma grande interação da pesquisa com os fabricantes. O IAPAR aproveitou as avaliações para apresentar os resultados em exposições dinâmicas realizadas no norte e oeste do Paraná (Figura 2). Participaram das avaliações do IAPAR e CNPT/Embrapa 18 fabricantes com 157 modelos diferentes de semeadoras-adubadoras de plantio direto, tanto de precisão como de fluxo contínuo. Foi um momento estratégico, pois depois disso os fabricantes multiplicaram os modelos de máquinas, para atender necessidades regionalizadas e demandas internacionais. Acredita-se que hoje deve haver mais de 235 modelos diferentes de semeadoras para o SPD e mais de 25 fabricantes no Brasil. A partir daí o crescimento foi espantoso com a área sob plantio direto no Brasil passando de 1 milhão de hectares em 1992 para 35 milhões em 2019 (CASÃO JUNIOR, et al 2008).

No final da década de 90 os fabricantes de semeadoras de plantio direto lançavam novos modelos todos os anos e aperfeiçoamentos em suas máquinas. Neste período muitos fabricantes vendiam semeadoras de fluxo contínuo e algumas possuíam multissemeadoras. A esmagadora preferência dos produtores pelas culturas de verão e milho safrinha, associado à expansão do plantio direto no Cerrado brasileiro fez com que 90% do mercado estivesse direcionado as semeadoras de precisão (plantadeiras). (CASÃO JUNIOR & SIQUEIRA, 2003).



Figura 2. A esquerda, os pesquisadores Faganello, Casão e Portella que ajudaram a coordenar os estudos de avaliações, e a direita, uma das largadas da Dinâmica de semeadoras em Guaira PR, 2003.

A expansão de grandes lavouras nos solos planos do Cerrado pediu máquinas com maior número de linhas, ou unidades de semeadura. No Sul do Brasil os modelos mais comuns tinham predominantemente de 7 a 9 linhas, sendo que no Cerrado variavam de 11 a 19 linhas, existindo modelos com 29 linhas espaçadas a 45 cm (CASÃO JUNIOR, et al 2008). Hoje é possível encontrar no mercado semeadoras adubadoras de precisão até 40 linhas de 45 cm de espaçamento e semeadoras adubadoras de fluxo contínuo com 17 cm de espaçamento com até 65 linhas. (CASÃO JUNIOR, 2016).

Durante o processo de implantação das culturas em SPD a cobertura vegetal deve estar convenientemente manejada, para que não haja problemas de embuchamento de máquinas e infestações de plantas invasoras. (CASÃO JUNIOR e SIQUEIRA, 2006). O equipamento que mais se consagrou para o manejo de vegetações sem dúvida foi o rolo faca. A figura 3a mostra um rolo faca construído pelo IAPAR, manejando consórcio de nabo forrageiro com aveia preta, com objetivo de cortar a vegetação. A figura 3b apresenta rolo faca comercial com três corpos articulados e com levantamento hidráulico para transporte e manobras.



Figura 3. (A) Rolo faca de um corpo modelo IAPAR e (B) Rolo-faca com três corpos Katrina.

Gandolfo (2005) cita que 93,4% dos pulverizadores avaliados não possuíam manômetros ou estavam com problemas de funcionamento e precisão; 86,8% apresentavam erros de dosagem do produto; 81,6% tinham pontas de pulverização ruins;

80,2% estavam com erro na taxa de aplicação; 72,4% não possuíam antigotejadores ou esses eram ruins; 69,2% apresentavam coeficiente de variação da barra superior a 15%; 64% não possuíam proteção das partes móveis; 60,5% as mangueiras eram mal localizadas, 56,6% tinham vazamentos; 48,7% apresentavam mangueiras danificadas e 42,1% com espaçamento incorreto entre os bicos.

Há uma grande oferta de pontas de pulverização no mercado, assim como produtos para melhorar a eficácia das formulações e misturas em tanque de defensivos agrícolas, mas o uso dos conceitos da tecnologia disponível ainda deixa a desejar pela maioria dos produtores rurais. Fica evidente a necessidade de massificar o treinamento no assunto e monitorar o uso adequado desses equipamentos no campo.

Saab, 2021, em sua exposição cita que os princípios que mais existem hoje na pulverização de produtos fitossanitários são os pulverizadores com energia centrífuga, pneumática, elétrica e hidráulica. Sem dúvida são os de energia hidráulica os mais utilizados variando desde equipamentos manuais, montados ao trator, de arrasto e auto propelidos. A velocidade de trabalho varia nos manuais de 3 km/h até a 30 km/h nos autopropelidos, cobrindo de 1 a 100 ha/h. Foram desenvolvidos vários tipos de pontas de pulverização, cuidados ambientais com o abastecimento, uso de substâncias coadjuvantes, marcadores de linha, controladores de deriva, sensores de presença, de altura, direção automática, controladores de vazão e pressão automáticos, imagens de mapeamento e aplicação localizada. Mesmo assim, ainda é indispensável o treinamento, a manutenção e uso adequado desses equipamentos. A figura 4 mostra pulverizador usando fluxo de ar para controle de deriva das gotas.



Figura 4. (A) a pulverização com o sistema de ventilação desligado e (B) ligado. Fonte: Indústria Jacto.

Uma semeadora de plantio direto deve promover o revolvimento mínimo do solo. As máquinas semeadoras devem cortar a palha sobre a superfície do solo, evitando assim, embuchamento nos demais componentes. Devem abrir um sulco para depositar o fertilizante na dosagem, posição e profundidade adequada. Este sulco deve ser

fechado e em seguida aberto novamente para a deposição das sementes na dosagem, posição e profundidade desejada. Após isso, ele deve ser fechado com terra, retornando, ou não, a palha anteriormente retirada da linha de semeadura sobre o sulco e finalizar com uma adequada compactação do solo lateralmente às sementes, para que essas absorvam água, haja transferência de calor e aeração adequada durante seu processo de germinação e emergência (CASÃO JUNIOR & CAMPOS, 2004). Observa-se que para cumprir essas funções a semeadora deve possuir um conjunto de sistemas e componentes.

Segundo MIALHE (2012) entende-se por critério de classificação o enfoque básico que caracteriza as diferenças dissimilares. Em sua obra o autor faz uma apresentação geral de máquinas agrícolas para semeadura destacando que pode haver três modalidades de classificação: a fiscal, a normalizada e a didática. Como o autor, dar-se-á ênfase a classificação didática, mas propondo-se dividir as semeadoras adubadoras de plantio direto principalmente quanto a função a que se destinam e subdividi-las principalmente quanto ao público alvo. Haverá sub subdivisões quanto a especificidades de seus sistemas ou até componentes. A importância dessa subdivisão procede, entre outras coisas, para o melhor entendimento e escolha da enorme disponibilidade de máquinas semeadoras existentes hoje no mercado brasileiro. A Tabela 1 mostra como se pretende subdividir os tipos hoje existentes de semeadoras adubadoras para SPD no Brasil. (CASÃO JUNIOR, 2016)

Desta forma, propomos quatro tipos predominantes:

- 1 – Semeadoras adubadoras de precisão (SAP)
- 2 – Semeadoras adubadoras de fluxo contínuo (SAF)
- 3 – Multissemeadoras adubadoras (SAMu)
- 4 – Semeadoras adubadoras de precisão com kit de forrageiras (SAP e Forr)

As semeadoras adubadoras de precisão (SAP) são as mais frequentes nas propriedades e podem ser classificadas primeiramente quanto sua fonte de tração, podendo ser manuais (Ma), de tração animal (Ta), por micro tratores (Mi) e tratorizadas (Tr). As tratorizadas podem ser, por sua vez, classificadas quanto a forma de acoplamento, podendo ser: Montadas no sistema hidráulico de três pontos do trator; de arrasto, acoplada na barra de tração e ainda de arrasto, mas em tandem, onde pode-se acoplar duas ou mais máquinas semeadoras.

As máquinas de precisão (SAP) podem também, continuar a ser subdivididas quanto a forma de acoplamento de suas unidades de semeadura, ou linhas, podendo ser: pivotadas na barra porta ferramenta ou pantográficas, constituídas de um sistema de quatro barras paralelas (paralelogramo). Podem continuar a ser sub subdivididas quanto ao sistema de distribuição de sementes: Mecânicas (discos alveolados) e as pneumáticas com sistema à vácuo parcial. Podem também, com o uso de eletrônica embarcada possuírem taxas variáveis de sementes e ou fertilizante. Outra divisão a ser utilizada é quanto forma do depósito de sementes, podendo esse ser montado, com um depósito semelhante a um balde, diretamente sobre cada unidade de semeadura ou possuir um ou mais depósitos centrais e as sementes serem transportadas a cada linha em uma unidade de distribuição de menor dimensão (pipoqueira). Finalizando essa proposta de subdivisão das SAP, seria a forma de transportar as sementes do depósito às unidades de distribuição, podendo ser simplesmente por gravidade ou com auxílio de fluxo de ar. Não está apresentado na tabela as máquinas que só distribuem sementes.

As semeadoras adubadoras de fluxo contínuo (SAF) são na sua totalidade tratozadas, podendo ser montadas, principalmente nas pequenas propriedades ou áreas com muitos obstáculos que exigem frequentes manobras, ou podem ser de arrasto, e ainda, às vezes, podendo ser acopladas em tandem, para aumentar mais sua autonomia e rendimento operacional. Seu acoplamento na estrutura normalmente é realizado por linhas de menor comprimento longitudinal, quando comparadas as SAP, podendo ser pivotadas ou pantográficas. A distribuição de sementes é predominantemente mecânica, realizada por cilindros ou roletes com canaletas ou acanalados. Existem também os cilindros com dentes ainda não utilizados no Brasil. A possibilidade de possuir taxas variáveis de sementes e fertilizante, também é possível. O depósito de sementes pode ser distribuído transversalmente sobre a estrutura da máquina e nesse caso as sementes vão ao solo por gravidade. No caso em que o depósito é centralizado, o transporte das sementes é realizado com o auxílio de fluxo de ar.

As multissemeadoras adubadoras (SAMu), que realizam tanto a distribuição de sementes em precisão ou fluxo contínuo, podem ser acopladas na barra porta ferramenta com linhas pivotadas ou pantográficas e a distribuição de sementes em precisão pode ser mecânica com discos alveolados ou pneumáticas com vácuo parcial. Seu depósito de sementes é distribuído transversalmente sobre a estrutura da máquina e nesse caso as sementes vão ao solo por gravidade.

As semeadoras adubadoras com kit de distribuição de forragem (SAP e Forr) poderiam ser suprimidas dessa classificação, pelo fato de que muitas máquinas são simplesmente adaptadas com um depósito e sistema para distribuição de sementes de forrageiras, mas entende-se que a expansão do sistema de integração lavoura-pecuária está em franca adoção no país, destacando também, sua importância para estabilidade do SPD em seus mais importantes fundamentos, assim necessitará de máquinas adequadas a esta prática. Desta forma abre-se um espaço para acompanhar esta adoção.

Na tabela 1, não foram contempladas as máquinas que usam eletrônica embarcada, no entanto, essa subdivisão pode ser incluída futuramente. Destaca-se que teremos um capítulo específico para tratar do assunto.

Tabela 1. Classificação das semeadoras adubadoras para o sistema plantio direto existentes no Brasil.

FUNÇÃO	FONTE TRACÇÃO	TAXA VARIÁVEL	ACOPLAMENTO	UNIDADE DE SEMEADURA	DISTRIBUIÇÃO SEMENTES	DEPÓSITO DE SEMENTES	TRANSPORTE SEMENTES
	Manual Ma	-----	----	----	Mecânicas	Pequeno depósito	Gravidade
	Tração animal Ta		de rabiça de boléia	Pivotadas	Mecânicas	Balde	Gravidade
	Micro trator Mi		----	Pivotadas	Mecânicas	Balde	Gravidade
			Montada	Pivotadas	Mecânicas	Balde	Gravidade
SAP Semeadora adubadora de precisão	Tratorizada Tr	Com ou sem taxa variável TV	Arrasto*	Pantográficas	Mecânicas	Balde	Gravidade
				Pantográficas	Mecânicas	Balde	Gravidade
					Pneumáticas	Balde	Gravidade
				Mecânicas	3º depósito/pipoqueira	Fluxo ar	Gravidade
					Depósito central	Fluxo ar	Fluxo ar
					Balde	Gravidade	Gravidade
				Pneumáticas	3º depósito/pipoqueira	Fluxo ar	Gravidade
					Depósito central	Fluxo ar	Fluxo ar
					Balde	Gravidade	Gravidade
				SAF Semeadora adubadora de fluxo contínuo	Tratorizada Tr	Com ou sem taxa variável TV	Arrasto*
Pantográfica	Mecânica	Depósito distribuído	Gravidade				
	Mecânica	Depósito distribuído	Gravidade				
SAMU Multissemeadora e adubadora	Tratorizada Tr	Com ou sem taxa variável TV	Arrasto*	Pivotada	Mecânica	Depósito distribuído	Gravidade
				Pantográfica	Pneumática	Depósito distribuído	Gravidade
					Mecânica	Depósito distribuído	Gravidade
				Pneumática	Depósito distribuído	Gravidade	
SAP e Foirr	Tratorizada Tr		Arrasto	Pivotada	Mecânica	Depósito distribuído	Gravidade
				Pantográfica	Mecânica	Depósito distribuído	Gravidade

* Algumas máquinas podem ser acopladas em tandem

REFERÊNCIAS

- CASÃO JUNIOR, R.; CAMPOS, C. F. **Desempenho de diferentes sistemas de acabamento de semeadura em plantio direto**. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 33, São Pedro, SP. SBEA/UNESP, 2004. 4 p.
- CASÃO JUNIOR, R.; SIQUEIRA, R. Máquinas para manejo de vegetações e semeadura em plantio direto. In: CASÃO JUNIOR, R.; SIQUEIRA, R.; MEHTA, Y. R. **Sistema plantio direto com qualidade**. Londrina: IAPAR/ITAIPU, 2006. p 85-126.
- CASÃO JUNIOR, R.; ARAÚJO, A. G.; FUENTES LLANILLO, R. **Sistema plantio direto no Sul do Brasil: fatores que promoveram a evolução do sistema e desenvolvimento de máquinas agrícolas**. Londrina: IAPAR, 2008. 100 p. (Relatório final projeto convênio IAPAR/FAO/FAPEAGRO).
- CASÃO JUNIOR, R. **Semeadoras adubadoras para o sistema plantio direto**. Londrina: Publicação avulsa, 2016. 194 p. (apostila), <http://blog.agropro.com.br/semeadoras-para-plantio-direto-2/>
- GANDOLFO, M. A. Manutenção de pulverizadores. In: GANDOLFO, M. A.; ANTUNIASI, U. R.; CANAL, C. A. B. **Programa Coamo de tecnologia de aplicação**. Campo Mourão, PR: COAMO/BAYER CropScience, 2005. p. 7 a 12.
- MIALHE, L. G. **Máquinas agrícolas para o plantio**. Campinas: Millennium, 623 p. 2012.
- SAAB, O. A. **Tecnologia de aplicação**. Londrina, 2021. 73 p. (palestra apresentada em Power Point).

Parte 2

Tendências para o Sistema Plantio Direto

Dr. André Luiz Johann

O desenvolvimento da tecnologia eletrônica, com a constante elevação da capacidade de processamentos dos computadores eletrônicos, bem como o seu enorme barateamento ao longo das décadas, proporcionou largo emprego na indústria, assim como, em vários outros setores da sociedade. Essa evolução pode ser observada em todos os segmentos da indústria com máquinas automatizadas e robôs em quase todas as linhas de montagem de qualquer fábrica moderna, inclusive nas de máquinas e implementos agrícolas. Automóveis que não fazem o uso do carburador, substituindo esse componente por um sistema de injeção eletrônica, que já são realidade há mais de duas décadas. Naturalmente esse desenvolvimento também se estendeu ao setor agrícola.

Há um grande número de soluções tecnológicas disponíveis para uso na agricultura, com diferentes custos e níveis tecnológicos, sendo que grande parte delas pode ser aproveitada em áreas onde é adotado o Sistema Plantio Direto (SPD). Neste texto, serão abordadas algumas delas.

Sistemas de piloto automático, associados a softwares de planejamento de tráfego, abrem a possibilidade para o controle do tráfego das máquinas nas propriedades. Isto é especialmente importante quando se deseja reduzir problemas de compactação, pois permite que a passagem dos pneus ocorra sempre nos mesmos locais, reduzindo as áreas de compactação.

A substituição de sistemas mecânicos e hidráulicos por alternativas elétricas vem ganhando espaço com desenvolvimento de circuitos eletrônicos microprocessados mais baratos e sofisticados, acionando motores elétricos dos mais variados tipos. Nas semeadoras tem-se o crescente uso da transmissão elétrica, tanto nos dosadores de fertilizantes, quanto de sementes, tornando possível o arremate das linhas com o desligamento sequencial dos dosadores, linha a linha, da mesma forma que ocorre os implementos de pulverização (Figura 1). Tal funcionalidade reduz o tráfego das semeadoras, eliminando a operação de plantio em bordadura.

A adoção da eletrônica embarcada em máquinas e implementos agrícolas é normalmente associada à agricultura de precisão. A eletrônica embarcada é necessária quando se buscam operações em taxa variável ou com direção automática. No entanto, é importante destacar que a agricultura de precisão não se resume a eletrônica embarcada, assim como a eletrônica embarcada não se resume a agricultura de precisão.

A adoção da agricultura de precisão envolve diferentes áreas do conhecimento, muito mais que o maquinário automatizado o conhecimento do especialista é fundamental. E para este auxiliar profissional no momento de prescrever as diferentes taxas dos produtos que deverão ser aplicados nas áreas de plantio, muitas ferramentas computacionais foram desenvolvidas. Além dos aplicativos para o geoprocessamento dos dados e imagens obtidos a campo e por sensoriamento remoto, existem ferramentas que fazem uso da computação em nuvem, do big data, e de modelos matemáticos e computacionais. Tratam-se de empresas, corporações, com grandes redes de computadores processando quantidades enormes de dados, e gerando informações para inúmeras aplicações, tais como: mapas climáticos, de recursos hídricos, uso e ocupação de solo, além de previsões de safras, previsões de mercados, dentre outros.

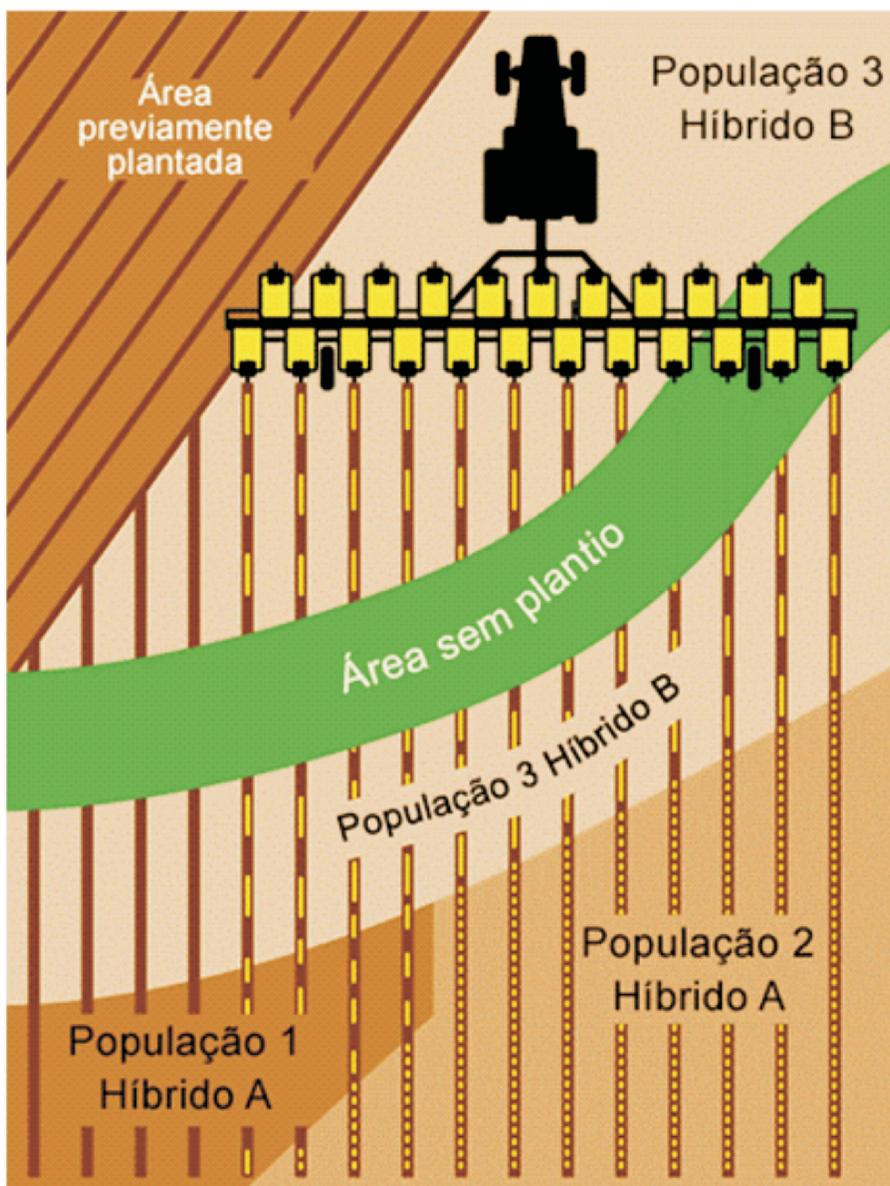


Figura 1. Possibilidades de operação em uma semeadora equipada com dois distribuidores de sementes por linha, sendo cada, dotado de acionamento elétrico individualizado. (Rehago, 2022)

Além das soluções mais difundidas para a agricultura de precisão existem muitos outros produtos e tecnologias aptos a auxiliar o produtor na busca pela melhoria na produtividade e redução do emprego de mão-de-obra.

Uma destas soluções envolve o desenvolvimento de veículos autônomos terrestres, conhecidos como robôs agrícolas, com diferentes objetivos, sendo em comum o

da redução da mão-de-obra. Um deles aproveita a tecnologia dos sistemas de pilotos automáticos e consiste de tratores autônomos operando paralelamente a um trator tripulado, de modo a copiar as ações executadas pela direção automática e pelo operador desde.

Projetos mais recentes buscam sistemas capazes de operar sem nenhuma interferência humana, automatizando completamente o manejo das culturas, podendo trabalhar 24hs por dia, sendo que já existem empresas com versões comerciais disponíveis para venda (Figura 2). No entanto, tratam-se de equipamentos desenvolvidos para a agricultura convencional, logo não se prestam para todas as atividades do manejo em SPD. O desafio é a adequação dos sensores e algoritmos de software para lidar com a cobertura vegetal e plantas daninhas, especialmente quando estas apresentam aspecto visual ou dimensional similar ao da cultura implantada. Nestes casos, pode se tornar necessário o uso de sensores mais sofisticados, como os de reconstrução 3D ou de imagem para cores fora do espectro da luz visível, em especial as imagens termais, elevando substancialmente o valor agregado do equipamento.



Figura 2. Pulverizador autônomo, modelo AirBus 4000 JAV 3. (Jacto, 2022).

O uso de veículos aéreos não tripulados (VANTS) já é amplamente difundido em aplicações agrícolas, e entrega soluções de sensoriamento remoto com resolução temporal mais conveniente e maior que a das imagens obtidas por satélite. Os dados são obtidos por meio de sensores de imagem na faixa da luz visível e do infravermelho, desde o próximo até o termal, sendo os sensores da luz visível e do infravermelho próximo (NIR) os mais acessíveis. Com estes dados pode-se verificar manchas na cultura, provocadas pelos mais diferentes problemas: desordem nutricional, doenças, falhas na aplicação de produtos, como dessecantes e defensivos, falhas em bicos de pivôs, efeitos de deriva, dentre outros. De posse dessa informação o produtor é capaz de direcionar o deslocamento dos agrônomos, bem como a correção localizada dos problemas detectados, também evitando tráfego desnecessário sobre a área plantada.

Os VANTs também podem realizar operações de aplicação de produtos, mas devido a sua baixa capacidade de carga e autonomia, seu uso fica restrito a pequenas áreas ou situações localizadas.

Pensando em demandas de desenvolvimento de eletrônica embarcada para aplicações em SPD, uma contribuição significativa seria focando a interação entre os elementos da semeadora e solo. Até o momento, pode-se dizer que do solo para cima já existem muitas soluções disponíveis, mas solo para baixo ainda se carece delas. Uma das iniciativas para se abordar este tema está em desenvolvimento no IDR - Paraná, por meio de projetos que buscam o melhor conhecimento da interação entre solo e ferramenta e o desenvolvimento de um sistema de regulação em tempo real dos dispositivos de acabamento da semeadura. A automação de implementos agrícolas em tempo real já é alvo de muitas pesquisas pelo mundo, e recebe a denominação de agricultura on-the-go, ou seja, no momento da passagem do equipamento no campo (Figura 3). Nesta linha, diferente da interação solo ferramenta, o que já se tem disponível, inclusive comercialmente, são sensores capazes de determinar parâmetros nutricionais do solo, nível de clorofila nas plantas, desordens nutricionais e doenças em plantas, dentre outros. Essa tecnologia associada a sistemas de automação eletrônica é um dos elementos que torna possível o desenvolvimento dos sistemas autônomos descritos anteriormente.

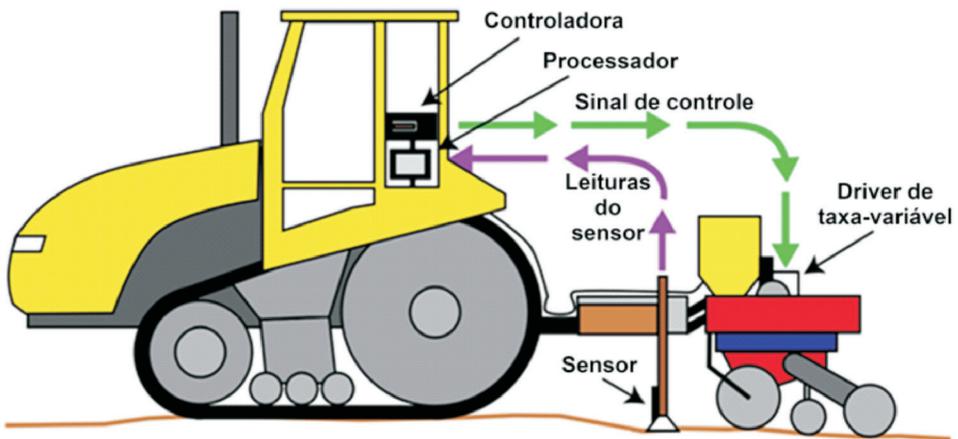


Figura 3. Exemplo de um sistema de ajuste da taxa de semeadura em função das leituras de um sensor de propriedades do solo. Adaptado de Šarauskiis et al. (2022).

Ainda existem outras tecnologias, como os circuitos eletrônicos e microcontroladores voltados a internet das coisas (IoT) que abrem espaço para o desenvolvimento de novas soluções. Por exemplo, sensores autônomos, sem tomada e sem fio, os quais podem ser distribuídos de forma massiva em toda a propriedade, formando uma malha, podendo-se construir um mapa em tempo real de informações de parâmetros da cultura e do solo. Este mapa em tempo real e on-line pode ser aproveitado pelos sistemas de automação embarcados nas máquinas desta propriedade, permitindo um ajuste do equipamento em função da condição da área naquele exato momento, ou então a transmissão via internet do que está ocorrendo na propriedade.

A pandemia de corona vírus gerou um momento sem precedentes na história. A crise sanitária colocou uma enorme quantidade de pessoas em suas casas e as empresas tiveram que adaptar a sua rotina transferindo as atividades de trabalho para o ambiente virtual. Essa nova rotina elevou demanda por componentes como notebooks, câmeras, fones de ouvido e microfones. A necessidade de se poder realizar tarefas de forma não presencial em outras áreas, como dentro de uma indústria, elevou a demanda por tecnologias de sensoriamento remoto, que se utilizam de sensores, microcontroladores, dataloggers e modems. Mesmo após a vacinação e um quase retorno a rotina pré-pandemia, muitas empresas mantiveram parte ou todos os seus funcionários trabalhando em casa, atraídos pela redução de custos com manutenção de infraestrutura de escritório (SOUZA, 2021).

Essa nova realidade abriu espaço para o desenvolvimento de novas tecnologias, ao mesmo tempo, que ocasionou grandes problemas. Um setor alavancado foi o da chamada internet das coisas (IoT) devido a necessidade de se monitorar uma porta, um ambiente ou um equipamento a distância. Esse setor vem crescendo em função do barateamento no processo de fabricação de componentes eletrônicos mais complexos, como é o caso dos microcontroladores, com o surgimento de componentes dedicados à IoT, e as mudanças decorrentes da pandemia elevaram a demanda.

No entanto, componentes eletrônicos mais complexos, como processadores, microcontroladores, memórias, e uma infinidade de outros componentes, são construídos em chips, pequenas lâminas de silício chegando a ter bilhões de transistores dentro. A guerra comercial entre EUA e China, que ocorreu às vésperas da pandemia e interferiu o fluxo de produção da indústria de semicondutores, juntamente com fechamento temporário de muitas fabricas em todo o mundo, provocou o represamento da demanda destes componentes, com posterior forte retomada sobre uma indústria com capacidade fornecimento já restrita. Essa restrição também foi agravada pela crise hídrica que houve em Taiwan na mesma época, sendo que este país responde por quase metade da produção mundial de semicondutores (CHEUNG, 2021). Como resultado, em meados de 2021 o mundo enfrentou a escassez destes componentes, impactando em diversos setores da indústria a fortemente no setor automobilístico. Em resposta os EUA, a União Europeia e a China planejam fortes investimentos em seus territórios visando reduzir a dependência de Taiwan.

Para se entender melhor, todo chip é produzido a partir de um cilindro (lingote) de uma espécie de vidro tecnológico, produzido a partir de uma areia, do silício, passando por uma série de processos, desde a purificação da areia, produção do cilindro, corte em lâminas extremamente finas, polimento, limpeza, e diversas outras etapas até o circuito eletrônico final. Todo esse processo é muito complexo: dura meses, cada lote representa quantidades gigantescas de componentes, pode envolver fabricantes diferentes, que podem estar em diferentes partes do mundo, consome diversos insumos e grandes quantidades de água. Uma fabrica deste tipo custa bilhões e requer mão-de-obra extremamente especializada e escassa.

Os fabricantes com tecnologia mais antiga, que produzem componentes de menor valor agregado, são os com menor capacidade de reação a mudanças na demanda de seus produtos, pois utilizam lingotes de silício menores o que limita a sua capacidade produtiva (CUNHA, 2021).

Percebe-se então grande imprevisibilidade quanto ao cenário nos próximos anos, que certamente afetará o desenvolvimento das aplicações em IoT, que expandiram justamente por empregar chips de menor valor agregado, bem como da atual

eletrônica embarcada em máquinas agrícolas, podendo postergar o seu crescimento. Após esse período, acredita-se em forte expansão da IoT da eletrônica embarcada, com consequente disponibilidade de novos produtos e soluções para a Agricultura 4.0 e a Agricultura 5.0 que está por vir.

REFERÊNCIAS

CHEUNG, Eric. Fábrica de chips luta contra a Covid e a crise climática. **CNN Business**. Disponível em <https://www.cnnbrasil.com.br/business/2021/06/11/fabrica-de-chips-luta-contr-a-covid-e-a-cri-se-climatica>. Acessado em 31/03/2022.

CUNHA, Alessandro. Não consigo mais comprar componentes eletrônicos. Por que isso está acontecendo? **Embarcados**. Disponível em <https://www.embarcados.com.br/nao-consigo-mais-comprar-componentes-eletronicos-por-que-isso-esta-acontecendo/>. Acessado em 31/03/2022.

JACTO - Máquinas Agrícolas Jacto S.A. **Banco de Imagens**, 2022. Disponível em: <https://jacto.com/brasil/press/media>. Acessado em 30/03/2022.

REHAGRO BLOG. Semeadura de milho e soja à taxa variável de sementes. Disponível em: <https://rehagro.com.br/blog/semeadura-de-milho/>. Acessado em: 31/03/2022.

ŠARAUSKIS, E.; KAZLAUSKAS, M.; NAUJOKIENĖ, V.; BRUČIENĖ, I.; STEPONAVIČIUS, D.; ROMANECKAS, K.; JASINSKAS, A. Variable Rate Seeding in Precision Agriculture: Recent Advances and Future Perspectives. **Agriculture** 2022, vol. 12(2), 305. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/agriculture12020305>. Acessado em: 31/03/2022.

SOUZA, P. C. R. O home office no mundo pós-pandemia. **Correio Brasiliense** - Blog do Servidor. Publicado em 01/09/2021. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/227719/0%20home%20office%20no%20mundo%20p%C3%B3s-pandemia%20%20Blog%20do%20Servidor.pdf?sequence=1>, e em: <https://blogs.correiobrasiliense.com.br/servidor/author/verabatista/page/17/>. Acessado em: 31/03/2022.

Manejo de Plantas Daninhas em Sistema Plantio Direto

Dr. Dirceu Agostinetto, Dr. André R. Ulguim e Dr. Leandro Vargas

1. Introdução

As plantas daninhas (espécie vegetal que se desenvolve onde não é desejada e causa dano econômico), são desde o início dos cultivos agrícolas comerciais, o principal fator limitante a obtenção da produtividade potencial das culturas. Sua interferência, causada principalmente pela competição com as culturas pelos recursos do meio (luz, água e nutrientes), provoca elevadas perdas de produtividades, variáveis em função da cultura, sistema de cultivo e condições do ambiente. As perdas de produtividade variam com a(s) espécie(s) infestante(s) e sua população, podendo atingir valores próximos a 100%; causam prejuízos indiretos (hospedeiras de pragas e doenças, dificuldade de colheita, redução da qualidade de grãos, dentre outros); e, seu controle eleva consideravelmente os custos de produção.

As plantas daninhas apresentam características que lhes conferem alta competitividade mesmo em ambientes adversos ao desenvolvimento vegetal. Entre as principais características destacam-se: desuniformidade na germinação; rápido crescimento inicial; abundante sistema radicular; grande capacidade de absorver água e nutrientes do solo; alta eficiência no uso da água; elevado nível de ploidia; reprodução continuada, elevada produção e disseminação de propágulos; deiscência precoce das sementes; dormência prolongada; e, elevada longevidade.

Alterações no sistema de cultivo, permitem modificar o nicho preferencial de ocorrências de determinada espécie, favorecendo a cultura em detrimento das plantas daninhas. Estas alterações provocam modificação da predominância e dominância de espécies e, em caso mais drásticos, levam a exclusão de determinada espécie do meio. Além disso, as modificações do sistema, permitem rotacionar os métodos de controle e, no caso do controle químico, os mecanismos de ação e com isso e minimizar o processo de seleção de espécies daninhas resistentes a herbicidas.

Levantamento realizado recentemente sobre práticas de manejo e sistemas de cultivo no Brasil, apontou que apenas 16% dos entrevistados manejam lavouras em preparo convencional, com maior adoção da prática de plantio direto nas regiões do

Centro-Oeste e Sul (Tabela 1) (OLIVEIRA et al., 2021). Consequentemente, é destacado a importância do conhecimento e compreensão do manejo de plantas daninhas em sistema de plantio direto comparativamente ao convencional.

Tabela 1. Adoção do sistema de plantio direto em diferentes regiões do Brasil.

Adoção sistema plantio direto	Região					
	Brasil	Norte	Nordeste	Centro Oeste	Sudeste	Sul
	----- % -----					
Sim	61	55	50	71	51	67
Parcialmente	22	27	18	18	18	27
Não	16	18	32	11	31	6
n ¹	273	11	22	63	99	119

¹ n = número de respondentes. (Fonte: adaptado de OLIVEIRA et al., 2021)

2. Métodos de controle de plantas daninhas

O controle das plantas daninhas consiste em suprimir o crescimento e/ou reduzir o número de indivíduos por área até níveis abaixo dos que causam danos econômicos às culturas. Os principais métodos de controle são o controle preventivo, físico/mecânico, biológico, cultural, químico e adoção conjunta destes (integrado). Os diferentes métodos de controle são importantes dentro de um programa de manejo integrado de plantas daninhas, devendo serem utilizados quando pertinente.

O controle preventivo de manejo de plantas daninhas, visa evitar a introdução, multiplicação de propágulos e disseminação de plantas daninhas na área, constituindo-se prática importante especialmente para espécies resistentes a herbicidas.

No método de controle físico/mecânico as plantas daninhas são removidas/controladas manualmente ou com auxílio de implementos manuais ou mecanizados. Em sistemas de plantio direto é possível aplicação por exemplo de catação manual/química, capina manual/mecanizada ou roçada de plantas daninhas, sobretudo em pequenas áreas ou baixa infestação. A cobertura do solo com palhada é uma premissa básica do plantio direto. A palhada em quantidade adequada (acima de 4 ton/ha) evita a passagem de luz, diminuindo germinação de sementes fotoblásticas positivas; e/ou, libera aleloquímicos que resulta em controle das plantas daninhas.

No que diz respeito ao controle biológico em áreas de plantio direto, os principais efeitos são referentes à interferência dos resíduos vegetais na persistência e longevidade do banco de sementes, aumentando a biocenose na superfície do solo (GOMES JR.; CHRISTOFFOLETI, 2008). As sementes das plantas daninhas depositadas nessa camada do solo ficam suscetíveis à ação de predadores como pássaros e roedores, insetos, moluscos e crustáceos, além de danos causados pela maior oscilação das condições abióticas, especialmente luz, umidade e temperatura, as quais alteram a dinâmica das populações.

O controle cultural usa principalmente as características da cultura para inibir o desenvolvimento de plantas daninhas. Assim, as principais práticas culturais que podem proporcionar vantagem para a cultura são: rotação de cultura, escolha correta da cultivar para as condições de solo e clima da região; época de semeadura; adubação

correta; manutenção da cobertura de solo; adequação da população, profundidade de semeadura e espaçamento entrelinhas; dentre outras. A adoção dessas práticas, em alguns casos, pode reduzir a necessidade do uso de outros métodos de controle.

A adoção massiva do sistema de plantio direto aumentou a importância do controle químico em detrimento ao controle realizado por meio de arações e gradagens, utilizadas no cultivo convencional (GOMES JR.; CHRISTOFFOLETI, 2008). Este método de controle é o mais utilizado, isso em decorrência da praticidade, custo acessível e aumento do conhecimento técnico por parte dos agricultores.

No sistema de plantio direto, o controle químico pode ser realizado em pré e/ou pós-semeadura, buscando sempre a rotação de mecanismos de ação, para reduzir a seleção de biótipos resistentes. Ainda, deve-se atentar para as condições ambientais (vento, umidade e temperatura) e, adoção de tecnologia de aplicação adequada. Outro ponto importante em relação ao controle químico, é a prática de dessecação da vegetação existente anterior ao cultivo, sendo esta fundamental para a formação de cobertura morta e evitar a competição com a cultura nos estádios iniciais de desenvolvimento.

Por fim, o uso de forma integrada de todos os métodos de controle configura-se no manejo integrado de plantas daninhas (MIPD). Um exemplo de manejo integrado é adoção de rotação de culturas, que permite alternar mecanismos de ação herbicida; cultivo de culturas de cobertura no período entre safras, ocupando a área e evitando infestação/multiplicação das plantas daninhas; uso de sementes certificadas, livre de sementes de plantas daninhas; semear dentro do período de zoneamento, quando ocorrem condições ambientais favoráveis a cultura; aplicação de herbicidas pré-emergentes, com controle residual para manter a cultura no limpo e evitar competição nos estádios iniciais de desenvolvimento; e, complementação do controle na pós-emergência conforme necessidade. O uso dessas práticas em sequência favorece o controle de espécies daninhas tolerantes/resistentes a um ou outro desses métodos, ou seja, se uma espécie sobreviver a um dos métodos, o outro controla.

3. Diferenças no manejo de plantas daninhas em plantio convencional e sistema plantio direto

Até o final da década de 1980 o sistema predominante de cultivos anuais no Brasil era o convencional, caracterizado pela aração dos solos (arado ou grade aradora) e dois ou três cortes com grade niveladora, sendo a última, geralmente, para incorporação de herbicida(s) pré-emergente(s).

A adoção do sistema convencional, aliado a monocultura, trouxe severas perdas ao ambiente agrícola brasileiro, como elevada erosão, especialmente em solos declivosos; redução da fertilidade (perdas por lixiviação); maior tempo de preparo do solo; maior necessidade de uso de implementos; maiores gastos com combustível; criação de camada compactada, dificulta à infiltração de água e crescimento de raízes, deixando o solo suscetível à erosão; entre outros. No que tange a área de plantas daninhas, destaca-se a necessidade de realizar mais práticas de manejo (herbicidas pré-emergentes + herbicidas pós emergentes ou capinas/arranquio de escapes), o que gerava aumento no custo de produção. Porém, no sistema convencional também há algumas vantagens, como por exemplo o aumento da mineralização dos componentes orgânicos pelos microrganismos e conseqüente disponibilização para as culturas; incorporação de corretivos e matéria orgânica (maior decomposição dos restos vegetais); o controle de plantas daninhas perenes; e, redução do banco de sementes.

Com o início da adoção do sistema de plantio direto, impulsionado pela disponibilização de máquinas apropriadas e herbicida sistêmico de ação total, que permitia o controle de espécies daninhas perenizadas, foi possível obter diversas melhorias nos quesitos de conservação do solo e água (uma vez que a cobertura do solo evita o impacto direto da gota da chuva, reduz a compactação do solo, regula a temperatura do solo, conserva a umidade do solo e melhora a estrutura do solo); de fertilidade (aumento da atividade microbiológica do solo); aumento da CTC (redução da lixiviação); aumento do teor de N no solo; aumento da disponibilidade de P no solo); e, de manejo de plantas daninhas (diminui a população, desenvolvimento de plântulas mais estioladas acarretando em facilidade de controle por herbicidas pós emergentes). Porém, de igual modo ao sistema convencional, o sistema de semeadura direta também possui algumas desvantagens como aumento de plantas daninhas perenes, migração e concentração do banco de sementes na camada superficial do solo, necessidade de investimento em conhecimento técnico e financeiro (equipamentos) para controle das plantas daninhas em pós-emergência.

A alteração do sistema de cultivo convencional para o sistema de plantio direto, mediante o não-revolvimento do solo, promove modificações na dinâmica populacional das plantas daninhas. Esse evento está associado a mudanças na composição da comunidade infestante no tempo, considerando o número e a dominância relativa de cada espécie no agroecossistema (ZELAYA et al., 1997).

No contexto acima, pode-se inferir que há três tipos de comportamento das plantas daninhas, sendo as mesmas: tolerantes ao estresse (S), competidoras (C) e ruderais (R) (RADOSEVICH et al., 2007) (Figura 1). As plantas tolerantes ao estresse maximizam a extração de nutrientes e água em favor da sua manutenção, logo são bem adaptadas em ambientes menos férteis. As competidoras investem em crescimento de parte aérea e raízes com alta velocidade, porém não toleram ambientes altamente perturbados. Por sua vez, as plantas ruderais investem na reprodução com ciclos rápidos, porém não se adaptam em ambientes pouco férteis.

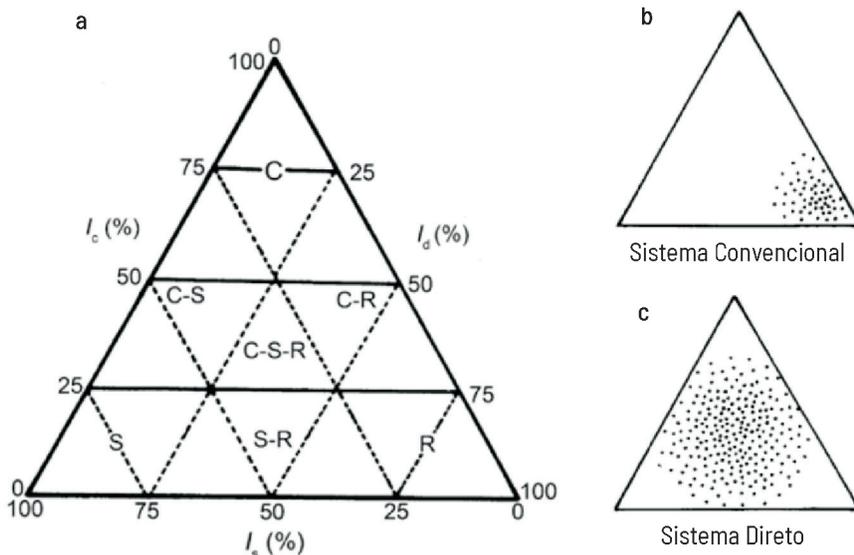


Figura 1. Diagrama de estratégia evolucionária de plantas daninhas em tolerantes ao estresse (S), competidoras (C) e ruderais (R) (I) e, exemplo de mudanças na flora infestante em função do sistema de cultivo (II). Adaptado de Grime, 1977.

Observa-se que a mudança do sistema convencional de cultivo para o plantio direto promoveu a migração da predominância de espécies que toleravam o distúrbio (caracterizado pelo preparo mecânico do solo) mas eram suscetíveis ao estresse, para maior diversidade de espécies que ocupam o nicho quando não há distúrbio, estresse e competição elevadas. Essas modificações envolvem aspectos da biologia e ecologia das espécies, e podem ser alteradas pelas condições de manejo do solo, das culturas e dos métodos de controle (VOLL et al., 2005). Um exemplo disso é que a população de espécies daninhas anuais tende a diminuir a partir do segundo ano de implantação do sistema plantio direto, havendo tendência de aumento da população de espécies de plantas daninhas perenes (RUEDELL, 1995).

4. Principais espécies e características de plantas daninhas problema em sistema de plantio direto

A adoção prolongada do sistema plantio direto aumentou a dinâmica da flora daninha. As principais mudanças foram:

- Aumento da diversidade de espécies;
- Aumento da presença de espécies perenes;
- Migração do banco de sementes para a camada superficial do solo;
- Redução da longevidade das sementes;
- Favorecimento de espécies com reprodução vegetativa;
- Favorecimento da emergência de espécies fotoblásticas negativas e neutras;
- Intensificação da seleção de biótipos resistentes a herbicidas.

Em decorrência do uso continuado de herbicida pós-emergente com o mesmo mecanismo de ação, especialmente após a liberação de cultivos transgênicos, ocorreu a seleção de espécies resistentes a diversos herbicidas. As principais plantas daninhas ocorrentes em lavouras agrícolas de sequeiro, com suas características botânicas e destaque à resistência a herbicidas, estão apresentadas na Tabela 2.

5. Estratégias e alternativas para o manejo de plantas daninhas em sistema de plantio direto

Conforme destacado anteriormente, os diferentes métodos de controle de plantas daninhas permitem uso de diferentes estratégias para suprimir ou reduzir a população de determinada espécie-alvo. Por conseguinte, em áreas em sistema de plantio direto muitas são as alternativas possíveis. Todavia, destacam-se duas estratégias principais para o controle de plantas daninhas, envolvendo o método cultural e o químico.

Os métodos de controle biológico e físico apresentam estreita relação com o controle cultural em áreas de plantio direto e são destacados, sobretudo, pela presença de plantas e/ou resíduos vegetais na superfície do solo. Por outro lado, os métodos de controle mecânico são pouco usuais haja vistas que o uso de mecanização para o controle de plantas daninhas não é preconizado em áreas de plantio direto consolidado. Assim sendo, serão melhor discutidas estratégias de controle cultural e química nos principais cultivos de grãos do Brasil.

Tabela 2. Principais espécies de plantas daninhas ocorrentes em lavouras de sequeiro cultivadas em sistema de plantio direto.

Nome científico	Nome comum	Família	Ciclo	Reprodução	Resistência ¹
<i>Amaranthus</i> sp.	Caruru	Amaranthaceae	Anual	Sementes	ALS ² ; EPSPs; FSIII; PPO
<i>Bidens</i> sp.	Picão-preto	Asteraceae	Anual	Sementes	ALS; FSI
<i>Chloris</i> sp.	Capim-branco/Cloris	Poaceae	Perene	Sementes/Rizomas	In. EPSPs
<i>Conyza</i> sp.	Buva	Asteraceae	Anual	Sementes	ALS; EPSPs; FSI; FSIII; PPO; Mimetizadores de Auxinas
<i>Commelina</i> sp.	Trapoeraba/ Rabo-de-cachorro	Commelinaceae	Perene	Sementes/rizomas/ partenocarpia nas raízes	-
<i>Digitaria ciliaris</i>	Milhã	Poaceae	Anual	Sementes	ACCas
<i>Digitaria sanguinalis</i>	Milhã	Poaceae	Anual	Sementes	-
<i>Digitaria insularis</i>	Capim-amargoso	Poaceae	Perene	Sementes/Rizomas	ACCas; EPSPs
<i>Echinochloa</i> sp.	Capim-arroz	Poaceae	Anual	Sementes	ACCas; ALS; Celulose; EPSPs
<i>Echium plantagineum</i>	Flor-roxa	Boraginaceae	Anual	Sementes	ALS
<i>Eleusine indica</i>	Capim pé-de-galinha	Poaceae	Anual	Sementes	ACCas; EPSPs
<i>Euphorbia heterophylla</i>	Leiteiro	Euphorbiaceae	Anual	Sementes	ALS; EPSPs; PPO
<i>Ipomoea</i> sp.	Corriola/Corda-de-viola	Convolvulaceae	Anual	Sementes	-
<i>Lolium multiflorum</i>	Azevém	Poaceae	Anual	Sementes	ACCas; ALS; EPSPs
<i>Raphanus</i> sp.	Nabo	Brassicaceae	Anual	Sementes	ALS
<i>Richardia brasiliensis</i>	Poaia-branca	Rubiaceae	Anual	Sementes	-
<i>Schizachyrium microstachyum</i>	Capim rabo-de-burro	Poaceae	Perene	Sementes/Rizomas	-
<i>Sida rhombifolia</i>	Guanxuma	Malvaceae	Perene	Sementes	-
<i>Spermacoe latifolia</i>	Erva-quente/Poaia-do-campo	Rubiaceae	Anual	Sementes	-
<i>Urochloa plantaginea</i>	Papuã	Poaceae	Anual	Sementes	ACCas

¹ Casos de resistência a herbicidas registrados no Brasil (HEAP, 2021). ² ALS - Acetolactato sintase; EPSPs - Enolpiruvil shiquimato fosfato sintase; FSI - Fotossistema II; PPO - Protoporfirinogênio oxidase; FSI - Fotossistema I; ACCas - Acetil-CoA carboxilase

5.1. Estratégias culturais

Levando-se em conta que o princípio fundamental do controle cultural é o conhecimento das características da cultura e da planta daninha, sendo que para apresentar a devida eficiência deve-se atentar para a interferência oriunda dessa relação. Nesse sentido, os conhecimentos acerca dos períodos de interferência são estratégias fundamentais para o êxito do manejo integrado de plantas daninhas.

Para a cultura da soja, o período crítico de competição com as plantas daninhas varia, principalmente, com a espécie e população da planta daninha presente, período de convivência, cultivar/grupo de maturação e local (condições de clima e solo). Para Spadotto et al. (1994), o período crítico foi de 21 a 30 dias após a emergência da soja, entretanto, Van Acker et al. (1993) constataram que, em média, a cultura da soja deve estar livre de competição dos 9 aos 38 dias após a sua emergência, ou seja, quando encontra-se entre os estádios V2 e R3. Trabalho conduzido na região Sul do Rio Grande do Sul, avaliando os períodos de interferência de milhã, em população de 112 plantas m⁻¹, com soja, demonstrou que a cultura deve permanecer livre da presença da planta daninha por período entre 23 e 50 dias após a emergência (AGOSTINETTO et al., 2014). A diferença de resultados demonstra que cada situação poderá ter período crítico de competição diferente em número de dias, mas deverá ser semelhante no estádio de desenvolvimento da cultura.

Para a cultura do milho, o período crítico de competição com as plantas daninhas vai de 20 até 60 dias após a emergência, que, em número de folhas da planta corresponde ao intervalo amplo, entre a terceira e a décima quarta folha. Esse é o subperíodo entre a emergência das plântulas e a diferenciação da espiga, momento em que se define o potencial de produção da lavoura.

A cultura do milho não apresenta alta cobertura do solo, principalmente nos estádios iniciais do seu desenvolvimento; assim, as plantas daninhas que se desenvolvem entre suas fileiras recebem luz e crescem com maior facilidade do que em culturas com alta cobertura do solo, como a soja. Em consequência disso, o controle de plantas daninhas deve ser realizado utilizando-se o MIPD, devido à competitividade de algumas espécies daninhas, visando evitar os efeitos negativos da competição inicial sobre o potencial de produtividade da cultura.

No caso do milho o sistema de cultivo plantio direto interferiu no grau de competição e habilidade competitiva com plantas daninhas. Segundo Helvig et al. (2020), observa-se redução de quatro dias para o período total de prevenção à interferência quando o milho foi cultivado em sistema de plantio direto sobre palha de aveia, comparativamente ao sistema convencional. Consequentemente, o manejo de plantas daninhas em sistemas de plantio direto passa, necessariamente, pela visão completa do sistema e escolha dos cultivos de entre-safra, cujas culturas de cobertura apresentam destaque.

As culturas de cobertura são conhecidas como ferramentas dentro do sistema de produção que contribuem para a ciclagem de nutrientes, aumento da infiltração de água, diminuição da erosão do solo e supressão de plantas daninhas (WAYMAN et al., 2017). Os resíduos remanescentes após a colheita das culturas de coberturas interferem na temperatura e umidade do solo, além da disponibilidade de radiação solar que atinge a superfície e, assim, alteram o fluxo de germinação das plantas daninhas, pois varia a incidência de radiação solar direta sobre o solo. Além disso, a utilização de plantas de cobertura pode suprimir o crescimento e o desenvolvimento das plantas

daninhas pela competição interespecífica e pelos efeitos alelopáticos já registrados em algumas espécies, como *Secale cereale* L. (BURGOS et al., 2004) e *Avena* spp. (JACOBI; FLECK, 2000). Culturas de cobertura, como aveia e centeio, associadas ao manejo de adubação nitrogenada, reduzem, em média, 56 a 82% a população de buva (WALLACE et al., 2019).

A presença da palha de culturas de cobertura interfere no banco de sementes de buva, além de facilitar o manejo na pré-semeadura de culturas de verão, como a soja, pois reduz a competição interespecífica durante o estabelecimento da cultura e permite melhores resultados de controle em pós-emergência (PAULA et al., 2011). A população de buva é maior em áreas mantidas sob pousio no inverno em relação às áreas mantidas com cobertura de solo, como trigo ou aveia preta, pois essas apresentam efeito supressor (PAULA et al., 2011) (Figura 2).



Figura 2. Ocorrência de buva no final do ciclo de desenvolvimento de trigo (a), Aveia (b) ou pousio (c). Boa vista do Incra-RS, 2010. Fonte: Dirceu Agostinetto.

Além do uso de cultivos no outono-inverno, é necessário garantir estabelecimento e cobertura adequados, sob pena de não serem observados os efeitos supressores sobre a população de plantas daninhas. Esse fato fica evidente no caso da buva em que diferentes densidades de semeadura das culturas de cobertura, promovem diferentes níveis de supressão dessa planta daninha (Figura 3).

O azevém (*Lolium multiflorum* Lam.), aveia branca (*Avena sativa* L.), aveia ucraniana (*Avena strigosa* Schreb.) e centeio (*Secale cereale*) são poáceas, anuais de inverno, que podem ser utilizadas como forrageiras, graníferas e plantas de cobertura em sistemas conservacionistas. Destaca-se ainda que outras espécies tem sido utilizadas para reduzir períodos de ausência de cultivo, como o nabo (*Raphanus sativus* L.) e o trigo-mourisco (*Fagopyrum sculentum* Moench) que pode ser semeado no período entre a colheita da safra de verão e semeadura da safra de inverno, como por exemplo o trigo (Figura 4). Nesse sentido, têm-se observado mais recentemente o uso de misturas de coberturas (demonimados de “mix”) com diferentes espécies, como milheto [*Pennisetum glaucum* (L.) R.Br.] + aveia-branca (*Avena sativa* L.) e nabo + trigo-mourisco + capim-sudão (*Sorghum sudanense* L.) (Figura 4 c-d). Todavia, os produtores devem estar atentos quanto ao uso de misturas de coberturas acerca do ciclo, época recomendada de cultivo e proporção de cada espécie. Essas características assumem importância pois o fim do ciclo de determinada espécie na mistura, assim como a morte devido a condições climáticas não favoráveis, pode comprometer a ocupação do solo e por conseguinte, permitir a emergência de espécies daninhas.

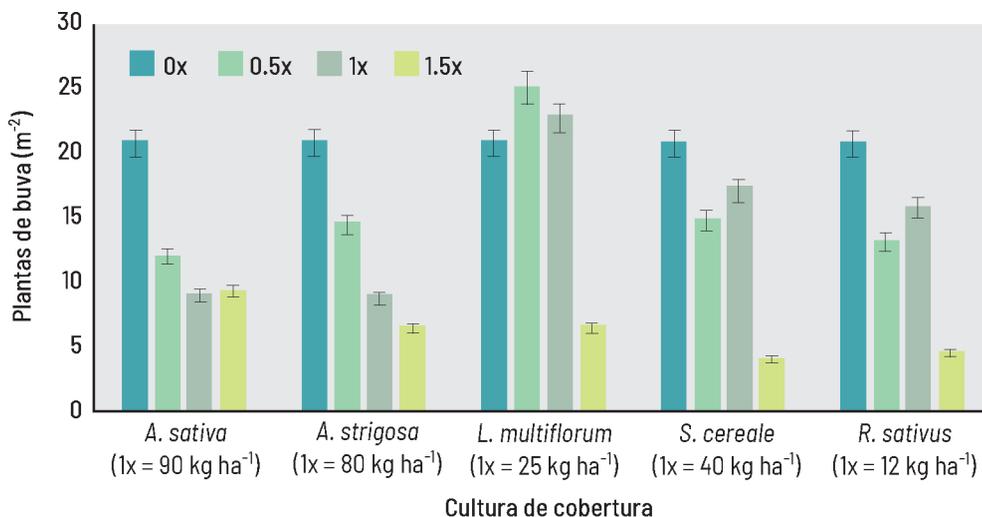


Figura 3. População de plantas de buva m⁻² em função de densidades de semeadura de coberturas de solo. Santa Maria, 2018.



Figura 4. Exemplos de cultivos de cobertura estabelecidos após a colheita das culturas de verão: nabo (a), trigo-mourisco (b), milheto+aveia branca (c), e nabo+trigo-mourisco+capim-sudão (d). Fonte: a: André Ulguim; b-c: Alessandro Da Ponte; d: Alencar J. Zanon.

5.2. Estratégias químicas

Embora existam diversos métodos de controle de plantas daninhas possíveis de serem utilizados, o controle químico tem sido o mais amplamente utilizado, e isso, conforme descrito anteriormente, decorre da praticidade e custo acessível, quando comparado a outros métodos. Porém, o uso de herbicidas deve sempre vir acompanhado de práticas culturais, sendo esta ação benéfica no controle das plantas daninhas.

A aplicação de herbicidas, integrada à utilização de culturas de cobertura em pré-plantio, resultou em baixa população de buva no ciclo da cultura da soja, evidenciando a importância da integração de métodos de controle nos sistemas de cultivo (WALLACE et al., 2019). O uso de culturas de cobertura foi apontado por 28% de produtores de soja e milho no Sul do Brasil como a principal prática de manejo associada ao controle químico (SILVA et al., 2020).

Nas espécies poáceas, cultivadas na estação hiberna de crescimento como cobertura de solo, podem ser utilizados herbicidas seletivos sem comprometer o desenvolvimento dessas culturas e, assim, a integração dos métodos de controle cultural e químico auxilia na redução da produção e dispersão de biótipos resistentes de espécies daninhas de folhas estreitas, pela associação de práticas; e, de folhas largas, pelo efeito da cultura. O principal herbicida utilizado, em pós-emergência, para controle de dicotiledôneas em poáceas hibernais é o metsulfurom-metílico, sendo os herbicidas saflufenacil e 2,4-D alternativas de controle (DALAZEN et al., 2015).

Na cultura da soja os principais herbicidas pré-emergentes são diclosulam, imazetapir, flumioxazina e sulfentrazone ou suas associações, para controle de folhas largas; e, s-metolaclo e trifluralina, para controle de espécies folhas estreitas. Já na pós-emergência, o glifosato (em soja Roundup Ready) é o mais utilizado para controle de folhas largas e estreitas, o clorimurrom-etílico é usado exclusivamente para controle de folhas largas e inibidores da ACCase (cletodim, setoxidim, haloxifop etc.) para controle de plantas de folhas estreitas.

A compreensão da relação entre conteúdo de palha e controle químico tem especial relevância quando do uso de pré-emergentes. Por terem como o alvo o solo, esses herbicidas sofrem influência em sistema de cultivo de plantio direto, podendo ficar retidos na palhada e não expressar seu potencial de controle. Além da palhada o teor de argila e matéria orgânica também afetam o desempenho dos pré-emergentes. Nesse sentido, é necessário compreender a dinâmica do seu uso nas diferentes situações e tipos de solo.

6. Considerações finais

O sistema plantio direto implica em mudanças na dinâmica populacional e demografia de plantas daninhas nas áreas de produção, havendo prejuízo ao estabelecimento de algumas espécies e favorecimento de outras. Notadamente, o sistema plantio direto favorece plantas daninhas com reprodução vegetativa e ciclo perene, em face da ausência de mobilização do solo que é requerimento para a germinação de sementes de algumas espécies anuais.

O manejo de plantas daninhas sofre influência nas áreas de plantio direto, comparativamente às áreas de sistema de cultivo convencional. As práticas mecânicas de controle são menos praticáveis, sendo que o efeito físico da palha sobre a superfície do solo é predominante para impedir a emergência de espécies daninhas. Além disso, se aplicado corretamente o manejo culturas, mantendo-se o solo sempre coberto, pela presença de plantas de cobertura, há a supressão das plantas daninhas, quer seja pelo efeito físico, pela habilidade competitiva das espécies de coberturas e/ou pela liberação de substâncias alelopáticas. Associado ao manejo cultural, o uso de herbicidas, notadamente os pré-emergentes, deve ser bem planejado, garantido o controle precoce das plantas daninhas e evitando desperdiçar tempo e recursos, o que eleva os custos de produção e impacta o ambiente.

REFERÊNCIAS

- AGOSTINETTO, D.; FONTANA, L.C.; VARGAS, L.; PERBONI, L.T.; POLIDORO, E.; SILVA, B.M. Competition periods of crabgrass with rice and soybean crops. **Planta Daninha**, v.32, n.1, p.31-38, 2014.
- BURGOS, N.R.; TALBERT, R.E.; KIM, K.S.; KUK, Y.I. Growth inhibition and root ultrastructure of cucumber seedlings exposed to allelochemicals from rye (*Secale cereale*). **Journal of Chemical Ecology**, v.30, n.3, p.671-689, 2004.
- DALAZEN, G.; KRUSE, N.D.; MACHADO, S.L.O. Herbicidas de uso potencial no controle de buva e sua seletividade sobre aveia e *Lolium multiflorum*. **Revista Ciência Agrônômica**, v.46, n.4, p.792-799, 2015.
- GOMES JR., F.G.; CHRISTOFFOLETI, P.J. Biologia e manejo de plantas daninhas em áreas de plantio direto **Planta Daninha**, v.26, n.4, p.789-798, 2008.
- GRIME, J.P. Evidence for the existence of three primary strategies in plants and its relevance to ecological and evolutionary theory. **The American Naturalist**. v.111, n. 982, p.1169 -1194, 1977.
- HEAP, I. The International Survey of Herbicide Resistant Weeds. Disponível em: <www.weedscience.org>. Acesso em: 20 de julho de 2021.
- HELVIG, E.O.; PINHEIRO, K.K.G.; DRANCA, A.C.; SILVA, A.A.P.; MENDES, M.C.; MACIEL, C.D.G. Interference periods of weeds in maize in no-tillage and conventional systems at high altitudes. **Planta Daninha**, v.38, p.e020198681, 2020.
- JACOBI, U.S.; FLECK, N.G. Avaliação do potencial alelopático de genótipos de aveia no início do ciclo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.35, n.1, p.11-19, 2000.
- OLIVEIRA, M.; LENCINA, A.; ULGUIM, A.; WERLE, R. Assessment of crop and weed management strategies prior to introduction of auxin-resistant crops in Brazil. **Weed Technology**, v.35, n.1, p.155-165, 2021.
- PAULA, J.M.; VARGAS, L.; AGOSTINETTO, D.; NOHATTO, M.A. Manejo de *Conyza bonariensis* resistente ao herbicida glyphosate. **Planta Daninha**, v.29, n.1, p.217-227, 2011.
- RADOSEVICH, S.R., HOLT, J.S., GHERSA, C.M. **Ecology of Weeds: Relationship to Agriculture and Natural Resource Management**. 3rd ed. Hoboken: John Wiley and Sons, 2007. 454p.
- RUEDELL, J. **Plantio direto na região de Cruz Alta**. Cruz Alta: FUNDACEP FECOTRIGO, 1995. 134p.
- SILVA, A.L.; ULGUIM, A.R.; WESZ, A.M.; HOLKEM, A.S.; BIANCHI, M.A. Manejo de plantas daninhas resistentes. Parte 1 – a percepção do produtor. **Boletim Técnico CCGL Pesquisa e Tecnologia**, v.80, p.1-2, 2020.
- SPADOTTO, C.A.; MARCONDES, D.A.S.; LUIZ, A.J.B.; SILVA, A.A.R. da. Determinação do período crítico para prevenção da interferência de plantas daninhas na cultura de soja: uso do modelo "Broken-stick". **Planta Daninha**, v.12, n.2, p.59-62, 1994.
- VAN ACKER, R. C.; SWANTON, C. J.; WEISE, S. F. The critical period of weed control in soybeans (*Glycine max* (L.) Merr.). **Weed Science**, v.41, n.2, p.194-200, 1993.

VOLL, E.; GAZZIERO, D.L.P.; BRIGHENTI, A.M.; ADEGAS, F.S.; GAUDÊNCIO, C. de A.; VOLL, C.E. **A dinâmica das plantas daninhas e práticas de manejo**. Londrina: Embrapa Soja, 2005. 85p.

WALLACE, J.M.; CURRAN, W.S.; MORTENSEN, D.A. Cover crop effects on horseweed (*Erigeron canadensis*) density and size inequality at the time of herbicide exposure. **Weed Science**, v.67, n.3, p.327-338, 2019.

WAYMAN, S., KUCEK, L.K.; MIRSKY, S.B.; ACKROYD, V.; CORDEAU, S.; RYAN, M.R. Organic and conventional farmers differ in their perspectives on cover crop use and breeding. **Renewable Agriculture and Food Systems**, v.32, n.4, p.376-385, 2017.

ZELAYA, I.A.; OVEN, M.D.K.; PITTY, A. Effect of tillage and environment on weed population dynamics in the dry tropics. **Ceiba**, v.38, n.2, p123-135, 1997.

Manejo de Doenças em Sistema Plantio Direto

Dr. Rafael Moreira Soares, Dr. Henrique Debiasi,
Dr. Maurício Conrado Meyer e Dr. Murillo Lobo Junior

1. Introdução

A intensificação dos cultivos agrícolas para atender as diversas demandas do mercado pode ser considerada irreversível, tendo o Brasil o privilégio de produzir até três safras anuais, sendo duas sem irrigação e a terceira com (Cerrado) ou sem irrigação (região Sul). O Sistema Plantio Direto (SPD) tem sido recomendado para melhorar a sustentabilidade agrícola, possibilitando a produção de grãos e fibras com menor impacto ambiental, como premissa para garantir maiores produtividades sem prejudicar os agroecossistemas e garantir a segurança alimentar (Bommarco et al., 2013). Por não revolver o solo e manter a sua cobertura com palha, o SPD pode melhorar os serviços ecossistêmicos que favorecem a funcionalidade do solo e das plantas como ciclagem de nutrientes, supressividade de doenças transmitidas pelo solo, conservação da biodiversidade e diminuição da pegada de carbono, entre outros.

Apesar de toda a dinâmica da agricultura brasileira, baixas produtividades nos sistemas produtivos são frequentemente atribuídas a doenças causadas por fungos, oomicetos, bactérias, nematoides e vírus, habitantes do solo ou causadores de doenças foliares. As práticas de manejo das culturas agrícolas, incluindo a rotação de culturas, o uso de fertilizantes, diferentes técnicas de preparo do solo, irrigação, aplicação de produtos químicos e biológicos, entre outras, podem influenciar positiva ou negativamente os patógenos causadores de doenças em plantas, bem como os processos ecológicos que afetam as comunidades microbianas no interior e acima do solo.

Neste sentido, o SPD pode influenciar direta ou indiretamente o controle cultural de doenças nos sistemas de produção em que for adotado, com ações que reduzem a densidade de inóculo dos patógenos e/ou reduzem a velocidade de disseminação das doenças. Considerando-se a classificação de fitopatógenos (Agrios, 2005) quanto à sua

forma de nutrição no hospedeiro em biotróficos (se nutrem de células vivas, com pouco ou nenhum dano ao hospedeiro) e necrotróficos (destroem as células do hospedeiro e se nutrem de tecidos mortos do hospedeiro vivo e de restos culturais mortos), esses últimos tendem a ser mais afetados pelo SPD, onde os restos culturais deixados na superfície do solo são mais abundantes.

A monocultura ou rotações curtas geralmente afetam negativamente a comunidade microbiana do solo, favorecendo as doenças radiculares em culturas importantes como soja, feijão-comum e milho (Perez-Brandán et al., 2014). A composição e função da comunidade microbiana do solo é diretamente influenciada pelo SPD e, por sua vez, afeta a densidade do inóculo de patógenos que habitam o solo. Um aumento da diversidade microbiana pode levar à supressividade dos patógenos e ao melhor manejo das doenças radiculares, e sistemas de cultivo que estimulem o microbioma são, conseqüentemente recomendados para o desenvolvimento de sistemas de produção sustentáveis.

Este estímulo que leva à melhoria da saúde do solo não é necessariamente fácil de ser obtido. No Cerrado e em outras regiões tropicais, há um desafio extra em manter a palhada no solo porque, devido às elevadas temperaturas, a degradação é mais rápida do que no Sul do país. Como consequência, há facilidades para a perda de matéria orgânica do solo e da comunidade microbiana que ela sustenta. Junto às facilidades do complexo de patógenos necrotróficos para sobreviver no solo e em restos culturais, a sucessão de culturas conduzida apenas por critérios econômicos acaba muitas vezes em prejuízos difíceis de serem revertidos no curto prazo. Pelos desafios que o manejo de doenças proporciona, este capítulo discorre sobre os patógenos mais relevantes e as possibilidades de manejo de suas doenças no SPD.

2. Manejo de fungos necrotróficos habitantes do solo

2.1. Mofo-branco

Causado pelo fungo *Sclerotinia sclerotiorum* (Lib.) de Bary, o mofo-branco é uma doença que afeta mais de 400 espécies de plantas no mundo (notadamente as plantas de folhas largas), e possui a capacidade de produzir abundante quantidade de estruturas de sobrevivência no solo – os escleródios (Bolland; Hall, 1994). Essas características norteiam e dificultam o manejo da doença em vários sistemas de produção, requerendo medidas que afetem a viabilidade dos escleródios e limitando a sequência de cultivos de espécies hospedeiras.

Dentre as principais medidas de controle da doença, citam-se a utilização de sementes de boa qualidade e tratadas com fungicidas sistêmicos; formação de palhada para cobertura uniforme do solo, preferencialmente oriunda de gramíneas (Figura 1); escolha de cultivares com arquitetura de plantas que favoreça boa aeração e insolação entre plantas (pouco ramificadas e com folhas pequenas) e com menor período de florescimento; população de plantas e espaçamento de entrelinhas adequado às cultivares; emprego de controle químico, por meio de pulverizações foliares preventivas, principalmente no período de maior suscetibilidade da cultura; emprego de controle biológico também preventivo, por meio da propagação de agentes antagonistas no solo; e limpeza de máquinas e equipamentos após utilização em área infestada para evitar a disseminação de escleródios (Hall; Nasser, 1996; Meyer et al., 2014).

A cobertura do solo com palhada de gramíneas exerce praticamente três funções principais no controle de mofo-branco. A primeira refere-se ao efeito de barreira física, retendo a maior parte da ejeção de ascospores dos apotécios de *S. sclerotiorum*

formados sob a palhada, funcionando como um filtro que impede que os ascosporos alcancem a parte aérea das plantas e iniciem o processo de infecção. A segunda função da palhada é a de promover o condicionamento do solo para o estabelecimento de microrganismos antagonistas que promoverão o controle biológico do patógeno. Este condicionamento consiste na manutenção da umidade superficial do solo, redução da temperatura e da incidência de insolação direta e a formação de uma camada de matéria orgânica na superfície do solo, provendo substrato nutritivo e ambiente favorável à proliferação dos agentes de biocontrole. Uma terceira função é estimular a germinação e esgotamento de parte do banco de escleródios sob o dossel de gramíneas cultivadas para formação de palha, pela formação de microclima favorável à germinação carpogênica (Civardi et al., 2019).



Figura 1. Exemplo de cobertura uniforme de solo com palhada de *Urochloa ruziziensis* (esquerda) e *Avena sativa* (direita). Fotos: Maurício C. Meyer.

Como consequência deste conjunto de benefícios ocorre a desinfestação parcial do solo, com resultados que se acumulam conforme a prática é mantida ao longo dos anos (Görgen et al., 2010; Civardi et al., 2019). Para isso, é importante escolher culturas de sucessão na entressafra que proporcionem o ambiente favorável à germinação dos escleródios e que não sejam hospedeiras do fungo, como as gramíneas (Figura 2).



Figura 2. Germinação carpogênica de escleródios de *Sclerotinia sclerotiorum* sob plantas de *Urochloa ruziziensis* (esquerda) e *Avena strigosa* (direita). Fotos: Cláudia A. Görgen e Maurício C. Meyer.

2.2. Podridão de carvão da raiz

A podridão de carvão da raiz ou podridão cinza da raiz, causada pelo fungo *Macrophomina phaseolina* (Tassi) Goid., é capaz de infectar mais de 500 espécies vegetais (Wyllie, 1993), tais como, soja, feijão, caupi, milho, sorgo, crotalária, amendoim, algodão e girassol, entre outras espécies botânicas de importância econômica, além de plantas daninhas. Esse fungo é encontrado tanto em solos de mata nativa, como em solos cultivados e também sobrevive em restos culturais. Nas condições brasileiras de clima tropical e subtropical, a ocorrência dessa doença tem sido favorecida por solos com alta densidade (mais compactados) e sob elevada temperatura na superfície (Almeida et al., 2014).

Os sintomas da doença, durante a emergência, são lesões de coloração marrom-escura na região do colo. Em plantas adultas, ocorrem sintomas de amarelecimento, similares à maturação normal e que progridem para murcha e secamento das folhas, as quais ficam aderidas, porém caídas ao longo das hastes e com coloração marrom-escura. Nessas plantas, as raízes apresentam a epiderme solta, deixando à mostra pontuações negras, que são os microescleródios, estruturas de resistência do fungo capazes de sobreviver no solo por dois a quinze anos (Meyer et al., 1974).

A ocorrência da podridão de carvão da raiz tem sido frequentemente associada a compactação do solo, ao déficit hídrico e a alta temperatura do solo e do ambiente, que são fatores que aumentam a suscetibilidade das plantas e reduzem a atividade de microrganismos antagonistas ao fungo. Um destes antagonistas pode ser o fungo *Trichoderma* spp., pois já foi constatado que práticas agrícolas que aumentem a sua população podem, direta e indiretamente, diminuir a longevidade de *M. phaseolina* (Baird et al., 2003)

Estudos visando responder se o sistema de plantio (convencional ou direto), o tipo de palhada e o herbicida utilizado poderiam influenciar a sobrevivência de *M. phaseolina* em tecidos de soja e no solo, mostraram que o número de unidades formadoras de colônias do fungo foi maior no sistema convencional do que no plantio direto e, também, maior em palha de ervilhaca e solo descoberto do que em palha de centeio. O herbicida glifosato não afetou o fungo (Mengistu et al., 2008).

Almeida et al. (2014) avaliaram a severidade da podridão de carvão durante quatro safras, em uma área com histórico de 17 anos de plantio direto e convencional, em solo oxisol com 67% de argila, 17% de silte e 16% de areia, sob um esquema de sucessão (soja/trigo) e outro de rotação/sucessão (verão – milho/soja; inverno - tremoço, aveia, trigo) para ambos os sistemas de plantio. Após a avaliação de diversos fatores, os autores concluíram que a infecção das raízes de soja pelo fungo foi mais favorecida no plantio convencional, mas quando houve déficit hídrico. A temperatura da superfície do solo sob plantio direto foi mais baixa, diminuindo o déficit hídrico. A distribuição espacial de microescleródios foi maior no solo sob plantio convencional em razão da movimentação de solo pelo arado. Não houve diferença entre os esquemas de sucessão, com e sem rotação de culturas, provavelmente pelo caráter polífago de *M. phaseolina*.

Os benefícios do SPD para manejo da podridão de carvão de raiz podem ser observados quando o esquema de rotações traz benefícios aos indicadores da qualidade do solo, como aumentos do teor de matéria orgânica, da capacidade de retenção de água, da estabilidade de agregados e maiores populações de fungos e bactérias, entre outras variáveis, todas negativamente correlacionados com a densidade de inóculo de *M. phaseolina* (Perez-Brandán et al., 2012).

2.3. Fusarioses

As podridões radiculares causadas por espécies de *Fusarium* representam um dos maiores desafios de controle no sistema de plantio direto, justamente pela diversidade de espécies fitopatogênicas adaptadas às diversas regiões produtoras do Brasil e pela capacidade dessas espécies colonizarem palhadas de diversas origens. As diferentes espécies de *Fusarium* são beneficiadas pela oferta de raízes de plantas hospedeiras e de restos culturais. Em sistemas com dois ou três plantios anuais, há várias oportunidades de estímulo ao complexo de espécies de *Fusarium* ao longo de um ano agrícola.

As principais medidas de controle de fusarioses são o uso de cultivares resistentes (quando disponíveis), o manejo de nematoides e de pragas causadoras de lesões radiculares, o uso de sementes de boa qualidade sanitária, o tratamento de sementes com fungicidas sistêmicos e o manejo de solo para ótimo desenvolvimento radicular, eliminando a compactação e o encharcamento (Henning et al., 2014; Seixas et al., 2020). O controle biológico pode interagir positivamente com o tratamento químico quando há compatibilidade entre bioagentes e fungicidas sintéticos, e ocorre colonização das raízes pelo antagonista aplicado nas sementes ou em jato direcionado ao sulco de plantio (Carvalho et al., 2015).

Como a maioria das espécies de *Fusarium* apresentam grande capacidade de sobrevivência saprofítica pela colonização e decomposição da matéria orgânica, o SPD pode, em alguns casos, favorecer a predominância destes fitopatógenos. Se as boas práticas de condução do sistema não forem respeitadas, o revolvimento do solo com incorporação dos restos de culturas pode ser necessário para reduzir o inóculo. A rotação de cultura com milho e a cobertura do solo com palhada de milheto (*Pennisetum glaucum*) não controlam a doença (Henning et al., 2014), mas a sucessão com sorgo e trigo ajudam a reduzir a fusariose em soja (Rupe et al., 1997).

2.4. Rizoctonioses

Rhizoctonia solani é outro fitopatógeno necrotrófico que acomete várias culturas de importância econômica utilizadas no SPD. O fungo é dividido em grupos de anastomose em razão de sua compatibilidade de fusão de hifas. Os grupos mais comuns de ocorrência em grandes culturas são *R. solani* AG4, causador de tombamento de plântulas e podridões em raiz e colo, geralmente no Centro-Sul do país, e *R. solani* AG1, causador de podridões na parte aérea das plantas, provocando a doença comumente conhecida por mela ou requeima, com maior frequência em regiões de baixa latitude (Blanco et al., 2017).

O controle de *R. solani* requer boa qualidade de sementes, o tratamento de sementes com fungicidas sistêmicos, a rotação de culturas com gramíneas e melhoria das condições de solo para uma boa drenagem e aprofundamento radicular (Henning et al., 2014). O SPD colabora no manejo desse fitopatógeno na melhoria das condições físicas de solo, pela diversidade de culturas de sucessão e com o aumento de competição trófica por antagonistas na microbiota do solo.

A principal forma de infecção das plantas por *R. solani* AG1 ocorre por fragmentos de micélio e escleródios do fungo presentes no solo e carregados para a parte aérea das plantas pelos respingos do impacto das gotas (Figura 3). A cobertura de solo com palhada de gramíneas promove a eficiente redução desse efeito, reduzindo assim a infecção inicial (Costa-Coelho et al., 2016).



Figura 3. Efeito de amortecimento do impacto de gotas de chuvas no solo pela cobertura de solo com palhada, evitando o efeito de respingos (esquerda). Fragmentos de solo e propágulos de fitopatógenos aderidos às plantas de soja em sistema de plantio convencional (direita). Fotos: Maurício C. Meyer.

Além disso, a sucessão de culturas para a formação de palhada na entressafra facilita o controle de invasoras hospedeiras do fitopatógeno. Também, a ciclagem de nutrientes colabora na redução de danos causados por *R. solani*, principalmente por disponibilizar potássio para a cultura de verão, nutriente que confere maior rigidez de parede celular, dificultando a penetração de hifas do fungo.

3. Manejo de oomicetos habitantes do solo

3.1. *Phytophthora*

O oomiceto *Phytophthora* é um patógeno de importância econômica para diversas culturas agrícolas e florestais, apresentando uma ampla distribuição geográfica (Martin et al., 2012). No Brasil, a bibliografia registra um total de 24 espécies de *Phytophthora* causando doenças radiculares ou da parte aérea das plantas, em mais de 65 culturas (Santos et al., 2014).

Entre as culturas que adotam o SPD de forma relevante, apenas a soja, o feijão e o algodão têm registro do gênero *Phytophthora* causando doença. No entanto, a podridão radicular de *Phytophthora*, causada por *Phytophthora sojae* Kaufm. & Gerd. na soja, é a única doença expressiva causada pelo gênero entre essas culturas. Essa espécie possui uma gama de hospedeiros relativamente estreita e, além da soja, a ancestral selvagem *Glycine soja*, espécies de tremoço (*Lupinus* spp.), espécies de feijão (*Phaseolus* spp.), entre outras de menor relevância, são relatadas como suscetíveis. O patógeno não é transmitido e disseminado pelas sementes, sendo o solo e os restos culturais de soja contaminados as principais fontes de inóculo (Costamilan et al., 2010).

Os sintomas causados por *P. sojae* são dependentes do nível de resistência da cultivar. Pode ocorrer apodrecimento de sementes recém germinadas e tombamento de plântulas, onde os tecidos afetados adquirem coloração marrom. Em plantas adultas, as folhas ficam amareladas, murcham e secam, permanecendo presas às plantas. Há destruição quase completa de raízes secundárias e apodrecimento da raiz principal. Nesta fase, o sintoma característico é o escurecimento de coloração marrom escura

do exterior da haste, circundando-a desde o solo e, frequentemente, progredindo ao longo desta e das hastes laterais em direção ao topo da planta. Na lavoura podem aparecer plantas isoladas infectadas, cercadas por plantas saudáveis, ou em reboladeiras isoladas, geralmente onde há acúmulo de umidade no solo (Costamilan et al., 2010). A má distribuição da palhada da cultura antecessora à soja, pode favorecer a doença em locais de acúmulo excessivo de palha.

Alguns trabalhos relatam que a podridão radicular de *Phytophthora* é favorecida em cultivo reduzido e em plantio direto. A umidade é o principal fator que condiciona sua ocorrência, sendo que solos saturados são essenciais para a formação e a disseminação dos zoósporos do patógeno, responsáveis pela infecção das raízes. Como a taxa de percolação de água é mais baixa em SPD, resultando em longos períodos de solo saturado, pode haver o favorecimento à doença. Workneh et al. (1998) obtiveram frequência de recuperação de *P. sojae* duas a três vezes superior em amostras entre 0 e 7,5 cm de profundidade em solos sob SPD, quando comparados com solos sob preparo convencional, o que sugere maior potencial para o tombamento de plântulas de soja no plantio direto. Em profundidades maiores que 7,5 cm não houve diferença entre os sistemas de plantio.

Avaliações da doença em solo sob plantio direto com problemas de compactação foram feitas em parcelas escarificadas e não escarificadas, em diferentes épocas de semeadura. O manejo com escarificação reduziu a severidade da podridão radicular de *Phytophthora* na soja, no entanto, não foi suficiente para controlá-la nas épocas de semeadura em que houve coincidência do desenvolvimento da cultura com condições climáticas mais propícias para a doença (Guginski et al., 2009).

Dessa forma, para manter o SPD e todos os seus benefícios e evitar prejuízos com a doença é necessário adotar medidas integradas de controle que são: o bom manejo do solo com a melhoria da estrutura para evitar compactação e proporcionar boa drenagem e o favorecimento microrganismos antagonísticos; a rotação de culturas adequada que ajude a evitar o aumento de inóculo do patógeno; e o uso de cultivares com genes de resistência. Apesar de existirem produtos para tratamento de sementes com efeito contra o patógeno, no Brasil os mais eficientes estão registrados apenas para uso contra *Pythium* spp.

3.2. *Pythium*

Diversas espécies de *Pythium* spp. causam podridões de sementes, de raízes e tombamento de plântulas em muitas culturas, como o algodão, o arroz, a cana de açúcar, o feijão-comum, o fumo, o milho e a soja.

A temperatura e a umidade do ar próxima ao solo e do próprio solo, constituem o microclima dos cultivos, que é afetado pela presença da palhada na superfície do solo resultante do SPD. O efeito isolante da palhada pode reduzir a temperatura da superfície do solo em até 10 °C em solo com camada de 2 cm de restos culturais (James; Sutton, 1990). Com isso, pode-se criar uma situação mais favorável às doenças radiculares causadas por patógenos de solo favorecidos por baixas temperaturas, como a podridão radicular de *Pythium*.

Para a cultura do feijão-comum, foi constatado que solos frios favoreceram os apodrecimentos de sementes, de raízes e de hastes causados por *R. solani*, por *F. solani* f.sp. *phaseoli* e por *Pythium* spp. (Hall; Nasser, 1996). Este tombamento pré-emergente é responsável por falhas na formação de estande e é de difícil diagnóstico no campo. No entanto, para a soja estudos mostraram amplo intervalo de temperatura em que

Pythium spp. pode causar doença, pois há pelo menos 17 espécies de *Pythium* patogênicos. Por exemplo, *P. debaryanum*, *P. torulosum* e *P. ultimum*, infectam soja em baixas temperaturas (20 °C ou menos), mas *P. aphanidermatum* e *P. myriotylum* infectam soja em temperaturas mais altas (30 °C ou mais) (Rupe et al., 2011), sendo, portanto, a umidade do solo o fator relevante que está mais acessível para ser manejado pelo agricultor.

Com isso, independente do sistema de plantio, mas com especial atenção no plantio direto, recomenda-se o controle da doença através do bom manejo do solo, para evitar compactação e proporcionar boa drenagem do solo, uso de sementes sem danos físicos e o tratamento de sementes com fungicidas registrados para o controle do patógeno. O desenvolvimento de cultivares resistentes ao *Pythium* não tem sido buscado em programas de melhoramento, não havendo materiais comerciais disponíveis. No entanto, foi identificado na cultivar Archer o gene de resistência Rpa1, que pode ser usado como fonte de resistência contra a doença (Rupe et al., 2011).

4. Manejo de nematoses

Os fitonematoides são vermes, em geral microscópicos, que habitam o solo e atacam as plantas, causando prejuízos econômicos significativos às culturas agrícolas. As perdas de produtividades médias ocasionadas pelos fitonematoides em diversas culturas são estimadas em 12% (Weischer; Brown, 2001), porém, dependendo da espécie do parasita, da suscetibilidade do hospedeiro e das condições ambientais, os prejuízos podem ser muito maiores, atingindo valores próximos a 100% em algumas situações (Dias et al., 2010).

Pode-se dividir os fitonematoides em dois grupos, conforme o seu comportamento parasitário no solo, tendo-se os fitonematoides sedentários, que estabelecem um sítio de alimentação na planta e ali permanecem até completar seu ciclo de vida, e os fitonematoides migradores, que se movimentam dentro e fora da planta durante todo seu ciclo vital, causando lesões em cada ponto de alimentação (Hussey; Grundler, 1998). Esses dois grupos apresentam características biológicas distintas que refletem diretamente na eficiência de controle das medidas culturais preconizadas que, por conseguinte, necessitam ser consideradas ao se adotar o SPD.

A diversidade de espécies de nematoides sedentários é menos afetada pelos sistemas de cultivo do que a dos migradores. A principal forma de manejo das nematoses em culturas agrícolas é baseada na redução da população dos fitonematoides pelo equilíbrio populacional com nematoides de vida livre e diversas outras espécies de organismos potencialmente antagonísticos. Considerando que a maior biodiversidade é observada em solos de matas nativas, o SPD é o sistema que mais se assemelha à diversidade de matas nativas e os sistemas de cultivo mínimo e cultivo convencional são os que mais reduzem a diversidade de espécies de nematoides no solo (Machado et al., 2022).

4.1. Fitonematoides sedentários

Os gêneros de fitonematoides sedentários mais importantes às grandes culturas são *Heterodera* spp. (nematoides de cisto), *Meloidogyne* spp. (nematoides das galhas) e *Rotylenchulus reniformis* (nematóide reniforme). Possuem gama restrita de hospedeiros e seu controle é baseado no uso de cultivares resistentes e rotação de culturas não hospedeiras (Favoreto et al., 2019; Seixas et al., 2020).

4.1.1. Nematoides de cisto (*Heterodera* spp.)

Dentre o gênero *Heterodera*, *H. glycines* (nematóide de cisto da soja - NCS) é a espécie mais importante para as condições brasileiras, ocasionando grandes prejuízos econômicos à cultura da soja. Foi detectado pela primeira vez no Brasil na safra de 1991/92 e, nessa época, resultou em perdas de produtividade próximas a 100% em algumas lavouras de soja na região Centro-Oeste do Brasil (Dias et al., 2010). Esse fitonematóide foi rapidamente disseminado e, atualmente, encontra-se presente em praticamente todas as regiões produtoras de soja do país. Mais recentemente, Franchini et al. (2014a) encontraram perdas médias de produtividade de soja ao redor de 31% em lavoura comercial de soja no norte do MT, com infestação média de 20 cistos por planta.

Os sintomas aparecem em reboleiras, onde as plantas apresentam porte reduzido e clorose da parte aérea. A partir dos 30-40 dias após a semeadura da soja, é possível observar no sistema radicular de plantas parasitadas as fêmeas do nematóide, com o formato de limão ligeiramente alongado e coloração branca. Com o passar do tempo, as fêmeas vão escurecendo e morrem, desprendendo-se da raiz, o que praticamente inviabiliza sua visualização para fins de diagnóstico. Após a morte, o corpo da fêmea se transforma em uma estrutura dura de coloração marrom escura, denominada cisto, responsável pela sobrevivência do nematóide no solo por longos períodos.

Muitas áreas agrícolas ainda se encontram livres do NCS. Nessas situações, o controle preventivo é de grande importância, envolvendo ações como a limpeza de máquinas, equipamentos agrícolas e outros veículos que tenham operado ou transitado em áreas com suspeita de infestação por NCS. Em muitos casos, os sintomas aparecem primeiramente em locais próximos a estradas e carreadores e, em seguida, alastram-se pelo restante da área. Assim, em propriedades ou regiões com alta incidência de NCS, a semeadura das bordaduras dos talhões com espécies não hospedeiras pode ser uma alternativa para evitar a entrada do nematóide na área. Salienta-se que o não revolvimento do solo no SPD contribui para reduzir a disseminação dos cistos nos talhões.

Em áreas onde o NCS já foi identificado, o produtor tem que conviver com o mesmo, uma vez que sua erradicação é impossível. Entre as estratégias indicadas para minimizar as perdas, destacam-se a rotação de culturas com plantas não hospedeiras (milho, arroz, sorgo, algodão, *Crotalaria spectabilis* e gramíneas forrageiras tropicais em sistemas integrados de produção), realizada no verão (Garcia et al., 1999), e o uso de cultivares resistentes (Dias et al., 2010), sendo ideal a combinação dos dois métodos. O cultivo de plantas não hospedeiras na entressafra (fevereiro a agosto) não se constitui em opção eficiente para controlar a população do nematóide, sendo necessária a rotação no verão para que as populações reduzam de forma significativa. Entretanto, a presença de soja voluntária ou o cultivo de espécies hospedeiras durante a entressafra contribui para aumentar o inóculo para a safra de verão seguinte. Entre os hospedeiros alternativos de *H. glycines*, merecem destaque o feijão-comum, o caupi, a ervilha, a ervilhaca, a *Crotalaria juncea*, o guandu e o tremoço (Silva et al., 1997). Ainda com relação à reação das crotalárias à *H. glycines*, Cardoso et al. (2019) encontraram que *C. ochroleuca* foi resistente às raças 1, 2 e 5, suscetível à raça 3, e apresentou resposta variável para as raças 6 e 14. Portanto, *C. ochroleuca* não parece ser uma opção adequada para compor sistemas de produção visando o controle do NCS.

O uso de cultivares resistentes é o método de controle mais econômico e de melhor aceitação pelo produtor. Contudo, o uso contínuo de cultivares resistentes em uma mesma área, como estratégia única de controle, contribui para o desenvolvimen-

to de novas raças de NCS e deve ser evitado. No Brasil, já foram relatadas 11 raças (1, 2, 3, 4, 4+, 5, 6, 9, 10, 14 e 14+), o que reduz as opções de cultivares resistentes (Dias et al., 2010). Nesse sentido, a identificação da(s) raça(s) predominantes em uma determinada área é essencial para a escolha correta da cultivar. A adoção de um esquema de rotação que envolva culturas não hospedeiras, cultivar suscetível e cultivar resistente, por exemplo, milho - soja suscetível – soja resistente, é o ideal (Silva et al., 1997). Possivelmente, isso evitaria que houvesse seleção de novas raças e, assim, a resistência da cultivar seria preservada.

Os danos do NCS são maiores em solos com pH e teores de bases trocáveis excessivamente altos (Garcia et al., 1999). O manejo correto da acidez do solo, seguindo as indicações técnicas para a cultura (Oliveira Jr. et al., 2020), é mais uma estratégia importante para a redução dos danos por NCS em soja, devendo-se evitar a prática contínua de calagem em superfície do solo sem incorporação, o que torna a camada superficial do solo favorável ao desenvolvimento de *H. glycines*. Nestes casos de áreas infestadas pelo NCS, a calagem deve ser realizada com incorporação de, no mínimo, 25 cm, a fim de evitar valores elevados de pH concentrados nas camadas superficiais do solo (Torres et al., 2010). O ideal é que imediatamente após a operação da incorporação de calcário se proceda a reposição de palhada de cobertura de solo pela semeadura de culturas não hospedeiras do nematoide, para manutenção do ambiente favorável ao desenvolvimento de microrganismos antagonísticos no solo e para a redução da dispersão do nematoide pela ação de ventos e enxurradas (Garcia et al., 1999; Dias et al., 2010).

4.1.2. Nematoides de galhas (*Meloidogyne* spp.)

Entre os nematoides de galhas, *Meloidogyne incognita* e *M. javanica* são as espécies que causam os maiores prejuízos para as culturas em SPD no Brasil. Nesse sentido, Antonio (1988) encontrou uma redução de 56% na produtividade da soja nas manchas mais atacadas por *Meloidogyne* spp. Os sintomas variam conforme a cultura atacada, a suscetibilidade da cultivar, a fertilidade do solo e o nível populacional. Em geral, lavouras atacadas apresentam reboleras de plantas pequenas e amareladas, sendo comum a ocorrência do sintoma “folha carijó” (manchas cloróticas ou necroses entre as nervuras). As raízes das plantas atacadas apresentam-se engrossadas devido à formação de galhas, dentro das quais encontram-se as fêmeas dos nematoides. Os maiores danos são observados em solos arenosos, compactados e de baixa fertilidade, em anos secos. Em algumas culturas, como o milho, os sintomas ocasionados por nematoides do gênero *Meloidogyne* na parte aérea e raízes são pouco perceptíveis, dificultando o diagnóstico visual do problema.

Para áreas ainda não infestadas, medidas preventivas de controle devem ser adotadas, principalmente com a limpeza de máquinas, implementos e veículos em geral que tenham operado ou trafegado em áreas infestadas e/ou com suspeita de infestação. Nas lavouras em que o nematoide de galhas já tenha sido identificado, as principais medidas de controle envolvem a rotação e/ou sucessão com culturas não hospedeiras e a utilização de cultivares resistentes. A definição das cultivares e das espécies vegetais a serem utilizadas requer o conhecimento da espécie de nematoide presente na área (*M. incognita*, *M. javanica* ou outra), de forma que a identificação por meio de análises laboratoriais é o primeiro passo para o manejo desses parasitas. Entre as espécies vegetais que podem ser utilizadas em rotação ou sucessão com culturas suscetíveis, destacam-se genótipos resistentes de milho, milheto, sorgo e aveia branca, as crotalárias, o algodão (exceto para *M. incognita*) e as forrageiras tropicais perenes, como as braquiárias.

Existem diversas opções de cultivares de soja resistentes ou moderadamente resistentes a *M. incognita* e/ou *M. javanica* disponíveis no mercado brasileiro. Em geral, os níveis de resistência dessas cultivares não são altos de forma que, em áreas com elevadas populações do nematoide e/ou em ambientes favoráveis aos danos dos mesmos, o uso da resistência genética deverá ser associado à rotação ou sucessão com espécies más ou não hospedeiras. A maior contribuição do SPD no controle dos nematoides de galhas é a melhoria da atividade microbiana do solo para o desenvolvimento de antagonistas que promovem o controle biológico.

4.1.3. Nematoide reniforme (*Rotylenchulus reniformis*)

O nematoide reniforme tem causado danos econômicos crescentes e expressivos em lavouras de algodão e soja, especialmente em algumas regiões do Mato Grosso do Sul. Na literatura, são relatadas perdas de produtividade de até 60% no algodoeiro e 32% na soja (Asmus et al., 2003). Sua crescente importância nessas regiões está associada principalmente à utilização de sistemas de produção pouco diversificados, inclusive com a utilização da sucessão soja/algodão, e à elevada capacidade de sobrevivência do nematoide em camadas profundas do perfil do solo (Robinson et al., 2005), em função de sua capacidade de entrar em estado de anidrobiose e, assim, suportar a dessecação (Galbieri et al., 2015).

A exemplo dos demais nematoides, as características e a intensidade dos sintomas de *R. reniformis* dependem de diversos fatores, como a espécie vegetal, a suscetibilidade da cultivar, a densidade populacional do nematoide e a textura e fertilidade do solo. Os sintomas são mais evidentes em solos argilosos e na cultura do algodoeiro. Nesta cultura, os sintomas geralmente ocorrem em reboleiras, com diminuição do porte das plantas e, sob altas infestações e/ou cultivares altamente suscetíveis, o sintoma de folha carijó pode aparecer (Galbieri et al., 2015). As plantas atacadas apresentam redução do volume de raízes, e, quando arrancadas, mantêm aspecto de sujas, mesmo depois de lavadas em água corrente, devido à aderência de partículas de argila às massas de ovos do nematoide. Na soja, geralmente não ocorrem reboleiras, observando-se expressiva desuniformidade da parte aérea e extensas áreas de plantas subdesenvolvidas (Dias et al., 2010).

As principais alternativas de controle do nematoide reniforme no contexto do SPD são a rotação/sucessão com culturas não hospedeiras e a utilização de cultivares resistentes. O milho, o arroz e a braquiária são resistentes e podem ser utilizados em rotação com a soja ou o algodão. Das plantas cultivadas no outono/inverno em sucessão à soja ou algodão, são resistentes a braquiária, o nabo forrageiro, os sorgos forrageiro e granífero, o girassol, o capim Sudão, a aveia preta, as crotalárias, o milheto e o capim corocana (*Eleusine coracana*). Pelo fato de o nematoide reniforme ser muito persistente no solo, dependendo da densidade populacional, pode haver necessidade de, pelo menos, dois anos de cultivo com espécie não hospedeira (Dias et al., 2010). Da mesma forma, a utilização de sistemas de produção com elevada diversidade de culturas e em SPD, sobretudo em integração lavoura-pecuária, limitam o crescimento das populações no solo e os danos do nematoide reniforme. Tal fato foi comprovado por Sereia et al. (2007) quando a densidade populacional de *R. reniformis* foi reduzida de 3.424 nematoides/300 cm³ de solo na sucessão soja/aveia sob preparo convencional com grades, para 24 nematoides/300 cm³ no tratamento envolvendo SPD com rotação de culturas (soja e milho no verão, e aveia, nabo e trigo no outono/inverno).

4.2. Fitonematoides migradores

Dentre os fitonematoides migradores, destacam-se os gêneros *Pratylenchus* spp. e *Aphelenchoides* spp., que possuem ampla gama de hospedeiros e elevada capacidade de sobrevivência no solo. A maioria das culturas não apresenta resistência genética a esse grupo, o que exige a adoção de medidas para diminuir a população no solo e reduzem as opções de culturas em sucessão com menores fatores de reprodução (Seixas et al., 2020).

O SPD geralmente favorece o desenvolvimento desses fitonematoides migradores pela maior manutenção de umidade na superfície do solo, presença de fungos decompositores de matéria orgânica e da própria palhada, que podem servir de alimento ou abrigo no caso de *Aphelenchoides besseyi*. Entretanto, a condição de maior biodiversidade da microbiota do solo sob plantio direto favorece o estabelecimento de antagonistas que promovem o controle biológico dos fitonematoides (Favoreto et al., 2019; Seixas et al., 2020).

4.2.1. Nematóide das lesões radiculares (*Pratylenchus* spp.)

A literatura aponta a existência cerca de 70 espécies de nematoides pertencentes ao gênero *Pratylenchus* capazes de parasitar e ocasionar prejuízos às mais diversas culturas agrícolas. No Brasil, as mais importantes para os sistemas de produção em SPD são *P. brachyurus* e *P. zeae*, que têm causado danos econômicos consideráveis principalmente em soja, feijão, milho e algodão. No caso da soja, há relatos frequentes de reduções de até 30% na produção em áreas infestadas na região Centro-oeste, podendo chegar a até 50% (Franchini et al., 2014b).

Os nematoides das lesões radiculares já se encontravam anteriormente distribuídos em diversas regiões do Brasil, sendo inclusive identificados em solos sob vegetação nativa (Goulart, 2008). Porém, recentemente, a sua importância econômica aumentou significativamente, o que pode ser atribuído principalmente aos seguintes fatores: ausência de rotação de culturas; rotação ou sucessão com culturas hospedeiras do nematóide (maioria dos genótipos de soja, feijão, algodão, milho, sorgo e de diversas gramíneas forrageiras); uso mais frequente de solos com textura arenosa ou média, condição em que os danos desses nematoides são maiores; compactação de solo; e uso de irrigação, que viabiliza até três safras anuais favorecendo a multiplicação do parasita (Dias et al., 2010).

Os sintomas ocorrem em reboleiras, com as plantas apresentando porte reduzido, mas que continuam apresentando coloração verde. O sistema radicular das plantas atacadas apresenta-se parcial ou totalmente escurecido e é comum a emissão de grande quantidade de raízes secundárias, dando aspecto de “cabeleira”. Os sintomas e as perdas de produtividade costumam ser mais elevadas em solos de textura arenosa, de baixa fertilidade e em anos secos.

Os nematoides das lesões radiculares são parasitas biotróficos obrigatórios e polípagos, de modo que podem parasitar grande parte das espécies vegetais cultivadas em SPD, o que limita as opções para estabelecer sistemas de sucessão ou rotação visando reduzir as populações do nematóide (Goulart, 2008). Existe também muitas diferenças entre genótipos da mesma espécie na capacidade de multiplicar esse parasita. Entre as alternativas que podem ser utilizadas para compor sistemas de rotação ou sucessão visando o manejo de *Pratylenchus* spp., pode-se citar as crotalárias *C. spectabilis*; *C. breviflora*; *C. mucronata*; além de estilosantes Campo Grande e BRS Bela; nabo forrageiro; e alguns genótipos de aveia preta, de sorgo, milheto, feijão-guandu

e girassol. Com relação às crotalárias, *C. juncea* é considerada um bom hospedeiro, ao passo que a reação de *C. ochroleuca* a esse nematoide mostra-se variável, com alguns trabalhos evidenciando multiplicação do nematoide nessa espécie. Adicionalmente, existem cultivares de soja e híbridos de milho com fatores de reprodução menores e maior nível de tolerância aos danos, que devem ser preferidos em áreas com histórico de ocorrência de *Pratylenchus* spp.

Grande parte das plantas daninhas de importância em áreas sob SPD multiplicam *Pratylenchus* spp. (Braz et al., 2016; Bellé et al., 2017), de forma que seu adequado manejo é uma importante ferramenta de controle do nematoide. Estratégias como o preparo do solo e o alqueive (manutenção da área sem plantas vivas) reduzem a densidade populacional, mas na maioria dos casos os danos e as perdas de produtividade não diminuem ou até mesmo são maiores (Costa et al., 2014; Debiasi et al., 2016).

O nível do dano ocasionado pelo nematoide das lesões radiculares é influenciado pela qualidade do solo. Nesse sentido, Franchini et al (2014b) demonstraram que, para uma mesma população de *P. brachyurus* (1.200 indivíduos por grama de raiz), as perdas de produtividade da soja variaram de 8% a 41%, o que foi atribuído às variações espaciais na qualidade do solo. Portanto, o correto manejo do SPD, melhorando a qualidade do solo de modo a aumentar a disponibilidade de água e o crescimento das raízes, pode reduzir as perdas de produtividade da soja por *P. brachyurus* em até 80%.

A acidez do solo constitui-se um dos principais aspectos relacionados ao manejo do solo com influência sobre os danos de *Pratylenchus* spp. Solos com acidez elevada e baixos teores de cálcio e magnésio favorecem a multiplicação e os danos desse nematoide (Debiasi et al., 2018; Franchini et al., 2018). Assim, a correção da acidez do solo por meio da calagem, realizada conforme as indicações técnicas para as culturas em SPD, é estratégia eficiente na redução das perdas de produtividade provocadas por *Pratylenchus* spp.

4.2.2. Nematoide das hastes verdes (*Aphelenchoides besseyi*)

Apesar de *A. besseyi* ser globalmente conhecido como o causador da ponta branca do arroz, mais recentemente, foi descrito no Brasil como causador de haste verde e retenção foliar nas culturas da soja e do algodão (Meyer et al., 2017; Favoreto et al., 2018), podendo infectar também plantas de feijão-comum e de caupi (França et al., 2018; Favoreto et al., 2021). O principal dano causado por *A. besseyi* é a redução de flores e frutos nas plantas infectadas, promovendo reduções médias de produtividade de 40% a 60% na soja e de 35% no algodão (Favoreto et al., 2019; Loreto et al., 2020). A região de ocorrência do nematoide das hastes verdes nestas culturas no Brasil ainda está limitada às regiões tropicais de clima quente e chuvoso dos estados do Mato Grosso, do Pará, de Rondônia, do Amapá, de Tocantins e do Maranhão (Favoreto; Meyer, 2019), estimando-se uma área infestada de cerca de 5,2 milhões de hectares (dados não publicados).

Aphelenchoides besseyi é um fitoparasita não obrigatório, pois, na ausência de plantas hospedeiras, sobrevive como micófago no solo, ou seja, alimenta-se de fungos habitantes de solo. Em condições extremas de desidratação, pode entrar em anidrobiose (estado de redução da atividade metabólica, decorrente da ausência ou diminuição de água no ambiente) e sobreviver no interior de restos culturais ou em sementes de gramíneas por longos períodos de tempo (Fortuner; Williams 1975; Favoreto et al., 2011; Jesus; Cares 2016).

Considerando estas características biológicas do nematoide, o SPD favorece a sobrevivência e a multiplicação de *A. besseyi* em áreas infestadas, onde a adoção de

medidas para reduzir sua população no solo devem ser necessariamente adotadas, incluindo eliminação de plantas hospedeiras voluntárias em todas as épocas do ano; a dessecação antecipada à semeadura; o controle pós-emergência da cultura o mais cedo possível; a sucessão de culturas não hospedeiras e, em situações extremas, a incorporação de restos culturais, com a recomposição da cobertura de solos com gramíneas na sequência de cultivos da safra seguinte (Meyer; Klepker, 2015; Favoreto; Meyer, 2019).

Trabalhos realizados em condições controladas por Andrade et al. (2019) demonstraram que não houve infecção pelo nematoide das hastes verdes em plantas de soja semeadas em sucessão a *C. ochroleuca*, *C. spectabilis*, milho (*Zea mays* L.), milheto (*Pennisetum glaucum*) e *Stylosantes* cv. Campo Grande, indicando serem boas alternativas para o controle cultural do nematoide.

Ainda não foram identificadas fontes de resistência genética nas culturas da soja e do algodão. O controle químico e biológico tem uma promissora perspectiva de emprego no futuro, necessitando ainda de estudos para o correto posicionamento e uso dessas medidas (Favoreto; Meyer, 2019).

Dentre as plantas invasoras, a trapoeraba (*Commelina benghalensis*), o cordão-de-frade (*Leonotis nepetifolia*), o caruru (*Amaranthus* sp.) e o agriãozinho-do-pasto (*Synedrellopsis grisebachii*) são boas multiplicadoras do nematoide e devem ser efetivamente controladas em áreas de ocorrência do nematoide das hastes verdes (Favoreto; Meyer, 2018). As gramíneas mais utilizadas como fonte de cobertura de solo nas regiões Norte e Nordeste do País ou mesmo como alternativas de produção de grãos, tais como as diversas espécies forrageiras (*Urochloa* spp., *Panicum* spp., *Pennisetum* spp., etc.), milheto, sorgo e milho, não são boas multiplicadoras de *A. besseyi*, mas a palhada pode servir de abrigo para alojar o nematoide em anidrobiose na entressafra, ou podem fornecer alimento para o nematoide em períodos chuvosos, por meio da proliferação de fungos decompositores de matéria orgânica. Por isso, a utilização do SPD sobre palha nas regiões de incidência do nematoide da haste verde deve observar uma rigorosa estratégia de manejo de sua população.

5. Manejo de doenças foliares

A ampla variedade de patógenos que causam doenças foliares nas culturas que podem compor um SPD levam a diferentes interações entre os patógenos e as plantas hospedeiras. O ambiente influenciado pelo plantio direto pode favorecer, prejudicar ou, até mesmo, não interferir na ocorrência de doenças foliares relevantes para a produção agrícola.

As exigências nutricionais dos patógenos, já citadas no início desse capítulo, são um fator preponderante para a influência do sistema de plantio na ocorrência de doenças foliares. Os patógenos necrotróficos encontram um meio de sobrevivência seguro nos restos culturais deixados sob a superfície no plantio direto. Os patógenos biotróficos, como por exemplo os causadores de ferrugens e de oídios, tendem a não ser influenciados, já que possuem sobrevivência limitada em restos culturais, mas algumas consequências do SPD, como a alteração do microclima no interior do dossel das plantas ou a maior presença de plantas voluntárias da cultura hospedeira, podem também favorecer esses patógenos.

A sobrevivência de patógenos foliares em gramíneas para formação de palha é melhor observada nos cereais de inverno do que em espécies tropicais, como as

braquiárias. Diversos estudos demonstram a maior sobrevivência de patógenos causadores de manchas foliares em cereais de inverno, como *Drechslera tritici-repentis* (mancha-amarela), *Bipolaris sorokiniana* (mancha-marrom), *Fusarium graminearum* (giberela) e *D. avenae* (helminthosporiose), nos restos culturais superficiais presentes no plantio direto, aumentando a severidade das doenças (Blum, 1997; Reis, 1990; Reis et al., 1998). Como a decomposição dos restos culturais de trigo e da aveia, nas condições predominantes no sul do Brasil, completa-se em cerca de 18 meses (Zambolim et al., 2000), a adoção da rotação de culturas destaca-se entre as medidas de manejo preventivo para essas doenças, para evitar que as culturas sejam semeadas sobre restos culturais da mesma família de plantas. Por outro lado, para o fungo *Stagonospora nodorum* (mancha-da-gluma ou septoriose do trigo), a maior amplitude de temperatura e umidade proporcionada pela presença de palha na superfície levou a diminuição da ocorrência desse patógeno em plantio direto (Forcelini, 2009).

Outros importantes patógenos necrotróficos causadores de doenças foliares, que podem ser favorecidos, em sua sobrevivência, pelo plantio direto são o *Colletotrichum* spp., causador de antracnose em culturas como o feijão (*C. lindemuthianum*), a soja (*C. truncatum*; *C. cliviae*), o milho (*C. graminicola*) e o sorgo (*C. graminicola*); e a *Corynespora cassicola*, que causa doença em diversas culturas, entre elas a mancha-alvo no algodão e na soja. A incidência dessa doença na cultura da soja é agravada pelo uso de cultivares suscetíveis e a utilização de culturas em sucessão que são hospedeiras do fungo, como o algodão e a crotalária (Godoy et al., 2021).

No entanto, de forma paradoxal, alguns fungos necrotróficos podem ter seu controle favorecido no plantio direto. É o caso de *Septoria glycines*, causadora da mancha-parda na soja, em que foi constatado que a palha do trigo semeado em sucessão a soja, formou uma camada sobre os restos culturais de soja suficiente para bloquear a disseminação de esporos do fungo pelo impacto das gotas de chuva (Figura 3), diminuindo o nível inicial da doença (Almeida et al., 2015). Da mesma forma, outros patógenos com características semelhantes de disseminação à *S. glycines*, podem ser manejados com práticas adequadas de sucessão e rotação de culturas.

De maneira geral, para o bom manejo de doenças foliares em plantio direto devem ser adotados, principalmente: o uso de sementes livres de patógenos e tratadas com fungicidas; o uso de cultivares resistentes, quando disponíveis, considerando a região e a doença; a sucessão/rotação de culturas adequadas; e, se necessário, o controle químico com a pulverização de fungicidas registrados para a doença alvo. Além disso, é importante fazer um bom controle de plantas daninhas e plantas voluntárias (que nascem de sementes perdidas na colheita ou no transporte da safra), utilizar uma população de plantas adequada e manter a fertilidade do solo em equilíbrio.

6. Manejo do solo em SPD para redução dos danos de doenças

A intensidade dos danos ocasionados por doenças depende da interação entre o hospedeiro, o patógeno e o ambiente. Assim, fatores ambientais relacionados ao solo podem alterar a intensidade dos sintomas e a magnitude das perdas de produtividade ocasionadas pelas doenças nas culturas manejadas sob SPD, por influenciarem tanto a predisposição das plantas às doenças, quanto a sobrevivência, disseminação, infecção, colonização e reprodução dos patógenos ou parasitas. As práticas de manejo alteram esse ambiente, em função da influência que exercem sobre as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo. Nesse sentido, o princípio básico do manejo do

solo como ferramenta de redução dos danos de doenças em SPD é proporcionar um ambiente químico, físico e biológico que, por um lado, favoreça o crescimento das plantas e suas raízes aumentando a tolerância das mesmas aos danos e, por outro, reduza a quantidade de inóculo ou a população dos agentes fitopatogênicos e a sua capacidade de danificar as plantas.

Dentre os fatores ambientais que mais influenciam a tolerância da planta aos patógenos, principalmente os que atacam as raízes (podridões radiculares e nematoses), encontra-se a compactação do solo. Camadas compactadas restringem o crescimento radicular das culturas à camada superficial (0-10 cm) do solo, que geralmente apresenta a maior quantidade de inóculo devido à deposição superficial dos restos culturais e ausência de revolvimento. A redução do volume e da profundidade do sistema radicular aumenta a concentração de inóculo por unidade de comprimento de raízes, o que evidentemente favorece os danos ocasionados pelas doenças radiculares (Debiasi et al., 2017). É importante salientar ainda que as raízes aumentam a produção de exsudatos nos pontos de crescimento em resposta à compactação (Boeuf-Tremblay et al., 1995). Esses exsudatos atraem e estimulam o crescimento inicial da maioria dos patógenos de solo, favorecendo o estabelecimento da infecção (Allmaras et al., 1988). Os mesmos autores explicam que a compactação do solo, ao reduzir a taxa de crescimento das raízes, aumenta o “tempo disponível” para os patógenos responderem à sinalização química e infectarem os pontos de crescimento das raízes.

Em condições de excesso de chuvas, solos compactados apresentam baixa disponibilidade de oxigênio, o que também diminui o vigor das plantas, aumentando a sua suscetibilidade aos patógenos. De acordo com Torres et al. (2004), condições anaeróbicas podem desencadear várias alterações biológicas e químicas do solo, com a liberação de diversos compostos orgânicos e elementos com efeito tóxico, capazes de reduzir o volume do sistema radicular e resultar na formação de lesões radiculares que facilitam a penetração dos patógenos nas raízes. Allmaras et al. (1988) destacam que em condições em que o oxigênio é limitante as raízes passam a obter energia por meio da respiração anaeróbica ou fermentação, processos que resultam na produção de energia insuficiente para sustentar suas funções, crescimento e integridade dos tecidos, o que também favorece a infecção por patógenos.

O déficit hídrico é outro fator ambiental que aumenta a severidade de muitas doenças. Além da podridão de carvão (*M. phaseolina*) (Almeida et al., 2014), a maioria das nematoses resultam em maiores perdas de produtividade em anos secos (Dias et al. 2010). Assim, práticas de manejo que preservem ou melhorem a estrutura do solo e, ao mesmo tempo, resultem em elevada cobertura por restos culturais, contribuem para aumentar o volume de água disponível e, assim, reduzir os danos dessas doenças. Ressalta-se que, embora favoreça algumas doenças por manter maior umidade do solo e temperaturas mais amenas, a cobertura é essencial para a conservação do solo e a formação de um ambiente favorável a microbiota em condições subtropicais e tropicais. Além disso, contribui para o controle de algumas doenças importantes, como o mofo-branco. Portanto, o manejo do solo no SPD deve ser planejado de forma a manter o solo sob cobertura morta e/ou viva a maior parte do tempo possível.

Algumas características químicas e nutrientes parecem estar associados de forma mais específica à incidência e severidade de determinadas doenças, por afetarem a tolerância das plantas e/ou suprimirem os patógenos. Como exemplo, tem-se a redução da população e dos danos de *P. brachyurus* em soja em solos com acidez corrigida e teores adequados de cálcio e magnésio (Debiasi et al., 2018; Franchini et al., 2018),

ao passo que valores de pH excessivamente altos favorecem o nematoide de cisto da soja (Garcia et al., 1999) e o mal-do-pé do trigo (Reis et al., 2005). Da mesma forma, a nutrição adequada com potássio é associada à redução da suscetibilidade das culturas a diversos patógenos (Reis et al., 2005; Oliveira Jr. et al., 2010), como no caso da soja à antracnose (Meyer; Klepker, 2007).

Em relação a supressão biológica de doenças, os principais mecanismos envolvidos são a produção de antibióticos, a competição, o parasitismo e a predação (Chandrashekara et al., 2012). O efeito supressor exercido pela comunidade microbiana do solo sobre patógenos que atacam as culturas é bem documentado na literatura. Por exemplo, correlações negativas entre a atividade microbiana do solo e a incidência de doenças foram reportadas para *M. phaseolina* (Perez-Brandán et al., 2012), *F. solani* (Corrêa et al., 2008) e *S. sclerotiorum* (Rousseau et al., 2006).

Considerando o que foi anteriormente exposto, a redução da severidade das doenças em SPD envolve, em primeiro lugar, a prevenção ou eventual correção de camadas de impedimento químico que restringem o crescimento das raízes, por meio da adoção de práticas como a calagem e a gessagem, realizadas com base na interpretação de laudos de análise química de solo. É importante ressaltar que diversas pesquisas têm demonstrado a viabilidade de se manter um ambiente químico favorável ao crescimento radicular de diversas culturas em áreas sob SPD por meio de aplicações superficiais de calcário e gesso, sem necessidade de incorporação mecânica, desde que eventuais camadas subsuperficiais com acidez excessiva sejam corrigidas (se necessário, com incorporação) no processo de conversão do preparo convencional para o SPD (Oliveira; Pavan, 1996; Caires et al, 2008; Rheinheimer et al., 2018). A adubação correta e equilibrada, levando-se em consideração os teores no solo e na folha, bem como a exportação pelos grãos, garante suprimento adequado de macro e micronutrientes às plantas, o que também reduz a severidade das doenças (Oliveira Jr. et al., 2010).

Outra prática essencial para o controle de doenças em SPD é a diversificação de espécies vegetais no sistema de produção, técnica que exerce efeitos diretos e indiretos sobre os patógenos (Figura 4) (Debiasi et al., 2017). Os efeitos indiretos da diversificação de culturas no controle de doenças envolvem a produção de cobertura, a melhoria da estrutura física e o aumento da diversidade e atividade da microbiota do solo, o que resulta na formação de um ambiente supressor às doenças.

Por outro lado, os efeitos diretos estão relacionados à reação de uma dada espécie vegetal ao patógeno ou parasita (suscetibilidade, tolerância ou resistência), indicando se a planta é ou não um hospedeiro favorável ao agente causal. Adicionalmente, determinadas espécies de plantas, além de serem má hospedeiras do patógeno, podem atuar como planta armadilha e/ou produzir substâncias tóxicas, exercendo efeito antagônico (“plantas antagonistas”). Um exemplo clássico de antagonismo é representado pelos efeitos da *C. spectabilis* sobre diversas espécies de nematoides. Além de ser uma espécie vegetal resistente aos nematoides (Dias et al., 2010), *C. spectabilis* age como planta armadilha (o nematoide parasita a planta, mas não se reproduz) (Silva et al., 1989) e, ao mesmo tempo, apresenta em sua composição substâncias com efeito nematicida ou nematostático (monocrotalinas) (Wang et al., 2002; Almeida et al., 2008).



Figura 4. Efeitos da diversificação de culturas na redução dos danos ocasionados por doenças em plantas. Fonte: Debiasi et al. (2017).

7. Considerações finais

A contribuição do SPD para o manejo de doenças em grandes culturas se concentra na melhoria do ambiente do solo, com a redução da temperatura superficial, manutenção da umidade, acúmulo de matéria orgânica, estímulo a populações de fungos e bactérias endêmicos que atuam como antagonistas dos fitopatógenos, formação de ambiente à proliferação de fungos e bactérias aplicados para o biocontrole de doenças, melhoria da estrutura física evitando o encharcamento, diversificação de culturas em sucessão, ciclagem de nutrientes e, no efeito direto da cobertura do solo com palhada, evita respingos e retém propágulos de fitopatógenos.

Todos estes benefícios somente serão efetivos no manejo de doenças se houver a rotação de culturas e sucessão de espécies não hospedeiras de fitopatógenos em comum, para promover a quebra de seus ciclos biológicos e o esgotamento das fontes de inóculo. Caso contrário, o SPD poderá até favorecer a ocorrência de doenças, dependendo do patossistema envolvido.

Mesmo com todos os benefícios do SPD no manejo de doenças abordados aqui, as demais medidas de controle também devem ser adotadas, pois, por mais que se obtenha um bom equilíbrio da microbiota do solo, haverá flutuação na concentração de inóculo com as variações ambientais entre safras e com as sequências de cultivos, requerendo muitas vezes intervenções específicas em alguns patossistemas.

REFERÊNCIAS

AGRIOS, G. N. **Plant Pathology**. 5th Edition. Academic Press. 2005. 952p.

ALLMARAS, R. R. KRAFT, J. M.; MILLER, D. E. Effects of soil compaction and incorporated crop residue on root health. **Annual Review of Phytopathology**, v.26, p. 219-243, 1988.

ALMEIDA, C. D. S.; SOUZA, D. S. L.; SARTO, R. P.; FIRMINO, A. A. P.; SILVA, T. S.; MAGALHÃES, J. C. C.; SÁ, M. F. G.; ROCHA, T. L. **Fracionamento de extrato aquoso de sementes de *Crotalaria spectabilis* efetivo no controle de juvenis de segundo estágio (J2) de *Meloidogyne incognita***. Brasília: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, 2008. 10 p. (Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia. Circular Técnica, 78).

ALMEIDA, A. M. R.; SEIXAS, C. D. S.; FARIAS, J. R. B.; OLIVEIRA, M. C. N. de; FRANCHINI, J. C.; DEBIASI, H.; COSTA, J. M. da; GAUDÊNCIO, C. de A. ***Macrophomina phaseolina* em soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2014. 55 p. (Documentos / Embrapa Soja, ISSN 2176-2937; n.346)

ALMEIDA, A. M. R.; HAU, B.; AMORIM, L.; BERGAMIN FILHO, A.; MARIANO, J.C. Tillage system effect on the epidemic of soybean brown spot. **Tropical Plant Pathology**, v. 40, p. 362-367, 2015.

ANDRADE, D. F. M.; MOREIRA, A.; MEYER, M. C.; FAVORETO, L.; LORETO, R. B.; FRANÇA, P. P.; SILVA, S. A. Avaliação quantitativa de *Aphelenchoides besseyi* na cultura da soja em resposta a diferentes coberturas de solo e controles químico e biológico. In: REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA, 37, 2019, Londrina. **Resumos expandidos...** Londrina: Embrapa Soja, 2019. (Embrapa Soja. Documentos, 413). p. 87-89.

ANTONIO, H. Avaliação das perdas causadas por *Meloidogyne incognita* raça 4 na cultivar BR-4 de soja. **Nematologia Brasileira**, v. 12, p. 29-34, 1988.

ASMUS, G. L.; RODRIGUES, E.; ISENBERG, K. Danos em soja e algodão associados ao nematoide reniforme (*Rotylenchulus reniformis*) em Mato Grosso do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE NEMATOLOGIA, 24, 2003, Petrolina. **Anais...** Petrolina: Sociedade Brasileira de Nematologia: Embrapa Semi-Árido, 2003. p. 169.

BAIRD, R. E.; WATSON, C. E.; SCUGGS, M. Relative longevity of *Macrophomina phaseolina* and associated mycobiota on residual soybean roots in soil. **Plant Disease**, v. 87, p. 563-566, 2003.

BELLÉ, C.; KASPARY, T. E.; KUHN, P. R.; SCHMITT, J.; LIMA-MEDINA, I. Reproduction of *Pratylenchus zeae* on weeds. **Planta Daninha**, v. 35, e017158528, 2017.

BLANCO, A. J. V.; COSTA, M. O.; SILVA, R. N.; ALBUQUERQUE, F. S.; MELO, A. T. O.; LOPES, F. A. C.; STEINDORFF, A. S.; BARBOSA, E. T.; ULHOA, C. LOBO JR. M. Diversity and Pathogenicity of Rhizoctonia Species from the Brazilian Cerrado. **Plant Disease**, v. 101, p. 1, 2017.

BLUM, M. M. C. ***Pyrenophora avenae*: ocorrência, inóculo, patogenicidade e sobrevivência**. (Tese de Mestrado). Porto Alegre. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 1997. 111p.

BOEUF-TREMBLAY, V.; PLANTUREUX, S.; GUCKERT, A. Influence of mechanical impedance on root exudation of maize seedlings at two development stages. **Plant and Soil**, v. 172, p.279-287, 1995.

BOLLAND, G. J.; HALL, R. Index of plants hosts of *Sclerotinia sclerotiorum*. **Canadian Journal of Plant Pathology**, v. 16, p. 93-108, 1994.

- BOMMARCO, R.; KLEINN, D.; POTTS, S. G. Ecological intensification: harnessing ecosystem services for food security. **Trends in Ecology and Evolution** v.28, p.230-238, 2013.
- BRAZ, G. B. P.; OLIVEIRA JR., R. S.; CONSTANTIN, J.; RAIMONDI, R. T.; RIBEIRO, L. M.; GEMELLI, A.; TAKANO, H. K. Plantas daninhas como hospedeiras alternativas para *Pratylenchus brachyurus*. **Summa Phytopathologica**, v.42, p.233-238, 2016.
- CAIRES, E. F.; BARTH, G.; GARBUIO, F. J.; CHURKA, S. Soil acidity, liming and soybean performance under no-till. **Scientia Agricola**, v. 65, p. 53-540, 2008.
- CARDOSO, M. R.; DIAS-ARIEIRA, C. R.; RIBEIRO, N. R.; ALMEIDA, A. A. de; MIAMOTO, A.; LOPES, A. P. M. *Crotalaria ochroleuca* susceptibility to *Heterodera glycines* races. **Journal of Agricultural Science**, v. 11, p. 205-212, 2019.
- CARVALHO, D. D. C.; MELLO, S. C. M., MARTINS, I.; LOBO JUNIOR, M. Biological control of Fusarium wilt on common beans by in-furrow application of *Trichoderma harzianum*. **Tropical Plant Pathology**, v. 40, p. 375-381, 2015.
- CHANDRASHEKARA, C.; BHATT, J. C.; KUMAR, R.; CHANDRASHEKARA, K. N. Suppressives soils in plant disease management. In: SINGH, V. K.; SINGH, Y.; SINGH, A. **Eco-friendly innovative approaches in plant disease management**. Dehradun, India: International Book Distributors, p. 271-290, 2012.
- CIVARDI, E. A.; GÖRGEN, C. A.; RAGAGNIN, V. A.; SILVEIRA NETO, A. N.; CARNEIRO, L. C.; LOBO JUNIOR, M. Management of Congo grass cover crop affects timing of *Sclerotinia sclerotiorum* carpogenic germination and decay of soybean stem rot. **Tropical Plant Pathology**, v. 44, p. 1-10, 2019.
- CORRÊA, C. A.; OLIVEIRA, P. de; LOBO JUNIOR, M.; SILVEIRA, P. M. da; KLUTHCOUSKI, J. Efeitos de rotações de cultura sob plantio direto sobre *Fusarium* spp. e *Trichoderma* spp. em cultivos de feijoeiro irrigado. In: CONGRESSO NACIONAL DE PESQUISA DE FEIJÃO, 9, 2008, Campinas. Ciência e tecnologia na cadeia produtiva do feijão. **Anais...** Campinas: Instituto Agrônômico, 2008. 1 CD-ROM. (IAC. Documentos, 85).
- COSTA, M. J. N.; PASQUALLI, R. M.; PREVEDELLO, R. Efeito do teor de matéria orgânica do solo, cultura de cobertura e sistema de plantio no controle de *Pratylenchus brachyurus* em soja. **Summa Phytopathologica**, v.40, p.63-70, 2014.
- COSTA-COELHO, G. R.; TOLEDO-SOUZA, E. D.; CAFÉ-FILHO, A. C.; LOBO JUNIOR, M. Dynamics of common bean web blight epidemics and grain yields in different tillage systems. **Tropical Plant Pathology**, v. 41, p. 306-311, 2016.
- COSTAMILAN, L. M.; SOARES, R. M.; BERTAGNOLLI, P. F. Podridão radicular de fitóftora (*Phytophthora sojae*). In: Almeida, A.M.R.; Seixas, C.D.S. (Eds.) **Soja: doenças radiculares e de hastes e inter-relações com o manejo do solo e da cultura**. Londrina Brasil. Embrapa Soja. pp.105-126. 2010.
- DEBIASI, H.; FRANCHINI, J. C.; DIAS, W. P.; RAMOS JUNIOR, E. U.; BALBINOT JUNIOR, A. A. Práticas culturais na entressafra da soja para o controle de *Pratylenchus brachyurus*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, p. 1720-1728, 2016.
- DEBIASI, H.; FRANCHINI, J. C.; BALBINOT JR., A. A. Estratégias essenciais de manejo do solo como fator determinante da produtividade e renda. In: FANCELLI, A. L. (Org.) **Feijão: condicionantes da produtividade**. 1 ed. Piracicaba: Esalq, 2017, p. 41-76.

DEBIASI, H.; FRANCHINI, J. C.; DIAS, W. P.; BALBINOT JUNIOR, A. A.; RAMOS JUNIOR, E. U.; OLIVEIRA JUNIOR, A. de. Calagem diminui a densidade populacional do nematoide das lesões radiculares em solos com texturas contrastantes. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SOJA, 8, 2018, Goiânia. Inovação, tecnologias digitais e sustentabilidade da soja: **Anais...** Brasília, DF: Embrapa, 2018. p. 829-831.

DIAS, W. P.; ASMUS, G. L.; SILVA, J. F. V.; GARCIA, A.; CARNEIRO, G. E. S. Nematoides. In: ALMEIDA, A.M.R.; SEIXAS, C.D.S. (Ed.) **Soja: doenças radiculares e de hastes e inter-relações com o manejo do solo e da cultura**. Embrapa Soja: Londrina, 2010. p. 173-206.

FAVORETO, L., SANTOS, J. M., CALZAVARA, S. A., LARA, L. A. Estudo fitossanitário, multiplicação e taxonomia de nematoides encontrados em sementes de gramíneas forrageiras no Brasil. **Nematologia Brasileira**, Piracicaba – SP, v. 35, n.1-2, p. 20-35, 2011.

FAVORETO, L.; MEYER, M. C. Diagnose, hospedeiros e manejo de *Aphelenchoides besseyi*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE NEMATOLOGIA, 35, 2018, Bento Gonçalves. **Anais...** Brasília: Embrapa, 2018, p. 60-62.

FAVORETO, L.; FALEIRO, V. O.; FREITAS, M. A.; BRAUWERS, L. R.; GALBIERI, R.; HOMIAK, J.A.; LOPES-CAITAR, V. R.; MARCELINO-GUIMARÃES, F. C.; MEYER, M. C. First report of *Aphelenchoides besseyi* infecting the aerial part of cotton plants in Brazil. **Plant Disease**, v. 102, n. 12, p. 2662, 2018.

FAVORETO, L.; MEYER, M. C. **O nematoide da haste verde**. Londrina: Embrapa Soja, 2019. 11 p. (Embrapa Soja. Circular técnica, 147).

FAVORETO, L.; MEYER, M. C.; DIAS-ARIEIRA, C. R.; MACHADO, A. C. Z.; SANTIAGO, D. C.; RIBEIRO, N. R. Diagnose e manejo de fitonematoides na cultura da soja. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 40, n. 306, p.18-29, 2019.

FAVORETO, L.; MEYER, M. C.; CALANDRELLI, A.; da SILVA, M. C. M.; da SILVA, S. A.; MACHADO, A. C. Z. *Aphelenchoides besseyi* parasitizing common bean in Brazil. **Plant Disease**, v. 105, n. 4, p 748-751, 2021.

FORCELINI, C. A. Semeadura direta muda estratégias de controle de doenças. **Revista Visão Agrícola**, n. 9, p. 104-108, 2009.

FRANÇA, P. P.; SILVA, M. C. M. da; CALANDRELLI, A.; FAVORETO, L.; MEYER, M. C. Reação de cultivares de feijão-caupi (*Vigna unguiculata*) à infecção por populações de *Aphelenchoides besseyi*. In: JORNADA ACADÊMICA DA EMBRAPA SOJA, 13, 2018, Londrina. **Resumos expandidos...** Londrina: Embrapa Soja, 2018. p. 235-241. (Embrapa Soja. Documentos, 401).

FRANCHINI, J. C.; DEBIASI, H.; DIAS, W. P.; RAMOS JUNIOR, E. U.; BALBINOT JUNIOR, A. A. Variabilidade espacial da população do nematoide de cisto e sua relação com a acidez do solo e a produtividade da soja de 2ª safra. In: REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA, 34, 2014, Londrina. **Resumos expandidos...** Londrina: Embrapa Soja, 2014. p. 152-154a.

FRANCHINI, J. C.; DEBIASI, H.; DIAS, W. P.; RAMOS JR, E. U.; SILVA, J. F. V. Perda de produtividade da soja em área infestada por nematoide das lesões radiculares na região médio norte do Mato Grosso. In: BERNARDI, A. C. de C.; NAIME, J. de M.; RESENDE, A. V. de; BASSOI, L. H.; INAMASU, R. Y. (Ed.). **Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar**. São Carlos: Embrapa Instrumentação, 2014. p. 274-278b.

FRANCHINI, J. C.; DEBIASI, H.; DIAS, W. P.; RIBAS, L. N.; SILVA, J. F. V.; BALBINOT JUNIOR, A. A. Relationship among soil properties, root-lesion nematode population, and soybean growth. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 17, p. 30-35, 2018.

GALBIERI, R.; INOMOTO, M. M.; SILVA, R. A. da; ASMUS, G. L. Manejo de nematoides na cultura do algodoeiro em Mato Grosso. In: BELOT, J. L. **Manual de boas práticas de manejo do algodoeiro em Mato Grosso**. Cuiabá: IMAmt, 2015. p. 215-225.

GARCIA, A.; SILVA, J. F. V.; PEREIRA, J. E.; DIAS, W. P. Rotação de culturas e manejo do solo para controle do nematoide de cisto da soja da soja. In: SOCIEDADE BRASILEIRA DE NEMATOLOGIA. **O nematoide de cisto da soja: a experiência brasileira**. Artsigner Editores: Jaboticabal, 1999. p. 55-70.

GODOY, C. V.; UTIAMADA, C. M.; MEYER, M. C.; CAMPOS, H. D.; LOPES, I. de O. N.; TOMEN, A.; SICHOCKI, D.; MOREIRA, E. N.; KONAGESKI, F. T.; BONANI, J. C.; NUNES JUNIOR, J.; BELUFI, L. M. de R.; FANTIN, L. H.; LIMA, L. A. de S.; SILVA, L. H. C. P. da; ARAÚJO JÚNIOR, I. P.; GOUSSAIN JÚNIOR, M.; GARBIATE, M. V.; MÜLLER, M. A.; MARTINS, M. C.; TORMEN, N. R.; KONAGESKI, T. F.; CARLIN, V. J. **Eficiência de fungicidas para o controle da mancha-alvo, *Corynespora cassicola*, na cultura da soja, na safra 2020/2021: resultados sumarizados dos ensaios cooperativos**. Londrina: Embrapa Soja, 2021. 13 p. (Embrapa Soja. Circular técnica, 172).

GÖRGEN, C. A.; CIVARDI, E. A.; RAGAGNIN, V. A.; SILVEIRA NETO, A. N. CORDEIRO, L. C.; LOBO JUNIOR, M. Redução do inóculo inicial de *Sclerotinia sclerotiorum* em soja cultivada após uso do sistema Santa Fé. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, p. 1102-1108, 2010.

GOULART, A. M. C. **Aspectos gerais sobre nematoides das lesões radiculares (gênero *Pratylenchus*)**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2008. 30 p. (Embrapa Cerrados. Documentos, 219).

GUGINSKI, C. A.; SANTOS, I.; BRAIDA, J. A.; CARNIELETO, R.; HECK, D. Manejos de solo e severidade da podridão de raiz e haste da soja causada por *Phytophthora sojae* em seis épocas de semeadura. **Synergismus scyentifica UTFPR**, v. 4, n. 1, 2009. Disponível em: <<http://revistas.utfpr.edu.br/pb/index.php/SysScy/article/view/596>>. Acesso em: 10 set 2021.

HALL, R.; NASSER, L. C. B. Practice and precept in cultural management of bean diseases. **Canadian Journal of Plant Pathology**, v.18, p.176-185, 1996.

HENNING, A. A.; ALMEIDA, A. M. R.; GODOY, C. V.; SEIXAS, C. D. S.; YORINORI, J. T.; COSTAMILAN, L. M.; FERREIRA, L. P.; MEYER, M. C.; SOARES, R. M.; DIAS, W. P. **Manual de identificação de doenças de soja**. 5. ed. Londrina: Embrapa Soja, 2014. 76 p. (Embrapa Soja. Documentos, 256).

HUSSEY, R. S., GRUNDLER, F. M. W. Nematode parasitism of plants. In: PERRY, R.N., WRIGHT, D. J. **The physiology and biochemistry of free-living and plant-parasitic nematodes**. New York: CABI, p.213-244, 1998.

JAMES, T. D. W.; SUTTON, J. C. Relationships of tillage practices and microclimate of winter wheat in Ontario. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ON CONSERVATION TILLAGE SYSTEMS, 1990, Passo Fundo. **Proceedings...** Passo Fundo: CIDA/EMBRAPA-CNPT, 1990. p.55-68.

LORETO, R. B.; FRANÇA, P. P.; CALANDRELLI, A.; FAVORETO, L.; MEYER, M. C. Quantificação de *Aphelenchoides besseyi* em brácteas, capulhos e plumas do algodoeiro, naturalmente infectado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROPECUÁRIA SUSTENTÁVEL, 10; CONGRESSO INTERNACIONAL DE AGROPECUÁRIA SUSTENTÁVEL, 7, 2020. Evento virtual. **Anais...** Viçosa: UFV, 2020. Parte 7, p. 70-73.

MACHADO, A. C. Z.; ZAGATTO, M. R. G.; SKORA NETO, F.; SILVA, S. A.; ZANÃO JUNIOR, L. A. Impact of crop management systems on soil nematode communities in South Brazil. **Scientia Agrícola**, v.79, n.1, e20200088, 2022.

MARTIN, F. N.; ABAD, Z. G.; BALCI, Y.; IVORS, K. Identification and detection of *Phytophthora*: Reviewing our progress, identifying our needs. **Plant Disease**, v.96, p.1080-1103, 2012.

MENGISTU, A., KRISHNA, N., REDDY, R., ZABLOTOWICZ, M., AND WRATHER, A. J. Propagule densities of *Macrophomina phaseolina* in soybean tissue and soil as affected by tillage, cover crop, and herbicides. **Plant Health Progress**. 2008.

MEYER, M. C.; CAMPOS, H. D.; GODOY, C. V.; UTIAMADA, C. M. (Ed.). **Ensaios cooperativos de controle químico de mofo branco na cultura da soja: safras 2009 a 2012**. Londrina: Embrapa Soja, 2014. 100 p. (Embrapa Soja. Documentos, 345).

MEYER, M. C.; FAVORETO, L.; KLEPKER, D.; MARCELINO-GUIMARÃES, F. C. Soybean green stem and foliar retention syndrome caused by *Aphelenchoides besseyi*. **Tropical Plant Pathology**, v. 42, n. 5, p. 403-409, 2017.

MEYER, M. C.; KLEPKER, D. Manejo da antracnose em soja. **Fitopatologia Brasileira**, v. 32 (suplemento), p. 31-33, 2007.

MEYER, M. C.; KLEPKER, D. Efeito do manejo de solo e sistemas de cultivo na incidência de Soja Louca II. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FITOPATOLOGIA, 48; CONGRESSO BRASILEIRO DE PATOLOGIA PÓS COLHEITA, 2, 2015, São Pedro. Fitopatologia de Precisão – Fronteiras da Ciência: **Anais**. Botucatu: SBF, 2015. 1 CD-ROM.

MEYER, W. A.; SINCLAIR, J. B.; KHARE, M. N. Factors affecting Charcoal rot of soybean seedlings. **Phytopathology**, v. 64, p. 845-849, 1974.

OLIVEIRA JR, A.; MOREIRA, A.; CASTRO, C. de; KLEPKER, D.; LEITE, R. M. V. B. de C.; OLIVEIRA, F. A. de; SFREDO, G. J. Podridão de carvão (*Macrophomina phaseolina*). In: ALMEIDA, A.M.R.; SEIXAS, C.D.S. (Ed.) **Soja: doenças radiculares e de hastes e inter-relações com o manejo do solo e da cultura**. Embrapa Soja: Londrina, 2010. p. 303-344.

OLIVEIRA JR, A.; CASTRO, C. de; OLIVEIRA, F. A. de; KLEPKER, D. Fertilidade do solo e avaliação do estado nutricional da soja. In: SEIXAS, C. D. S.; NEUMAIER, N.; BALBINOT JUNIOR, A. A.; KRZYZANOWSKI, F. C.; LEITE, R. M. V. B. de C. (Ed.). **Tecnologias de produção de soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2020. p. 133-184 (Embrapa Soja. Sistemas de Produção, 17).

OLIVEIRA, E. L.; PAVAN, M. A. Control of acidity in no-tillage system for soybean production. **Soil & Tillage Research**, v. 38, p. 47-57, 1996.

PEREZ-BRANDÁN, C.; ARZENO, J. L.; HUIDOBRO, J.; GRÜMBERG, B.; CONFORTO, C.; HILTON, S.; BENDING, G. D.; MERILES, J. M.; VARGAS-GIL, S. Long-term effect of tillage systems on soil microbiological, chemical and physical parameters and the incidence of charcoal rot by *Macrophomina phaseolina* (Tassi) Goid in soybean. **Crop Protection**, v. 40, p.73-82, 2012.

REIS, E. M. Control of disease of small grains by rotation and management of crop residues in Southern Brazil. In: **International Workshop on Conservation Tillage Systems**. Passo Fundo, 1990. Conservation tillage for subtropical areas: CIDA/Embrapa – CNPT, 1990. p. 140-146.

REIS, E. M.; CASA, R. T.; HOFFMANN, L. L. Controle cultural de doenças radiculares. In: MICHEREFF, S. J.; ANDRADE, D. E. G. T.; MENEZES, M. (ed.). **Ecologia e manejo de patógenos radiculares em solos tropicais**. Recife: UFRPE, Imprensa Universitária, 2005. p. 279-301.

REIS, E. M.; SILVA, C. E. L.; CASA, R. T.; MEDEIROS, C. A. Decomposição dos restos culturais do trigo e sobrevivência saprofítica de *Bipolaris sorokiniana*. **Fitopatologia Brasileira**, v. 23, p. 62-64, 1998.

RHEINHEIMER, D. S.; TIECHER, T.; GONZATTO, R.; ZAFARC, M.; BRUNETTO, G. Residual effect of surface-applied lime on soil acidity properties in a long-term experiment under no-till in a Southern Brazilian sandy Ultisol. **Geoderma**, v. 313, p.7-16, 2018.

ROBINSON, A. F.; AKRIDGE, R.; BRADFORD, J. M.; COOK, C. G.; GAZAWAY, W. S.; KIRKPATRICK, T. L.; LAWRENCE, G. W.; LEE, G.; McGAWLEY, E. C.; OVERSTREET, C.; PADGETT, B.; RODRIGUEZ-KABANA, R.; WESTPHAL, A.; YOUNG, L. D. Vertical distribution of *Rotylenchulus reniformis* in cotton fields. **Journal of Nematology**, v. 37, p. 265-271, 2005.

ROUSSEAU, G. X.; RIOUX, S.; DOSTALER, D. Multivariate effects of plant canopy, soil physico-chemistry and microbiology on Sclerotinia stem rot of soybean in relation to crop rotation and urban compost amendment. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 38 p. 3325-3342, 2006.

RUPE, J. C.; ROBBINS, R. T.; GBUR JR, E. E. Effect of crop rotation on soil population densities of *Fusarium solani* and *Heterodera glycines* and on the development of sudden death syndrome of soybean. **Crop Protection**, v. 16, p. 575-580, 1997.

RUPE, J. C.; ROTHROCK, C. S.; BATES, G.; ROSSO, M. L.; AVANZATO, M. V.; CHEN, P. Resistance to *Pythium* Seedling Disease in Soybean. In: SUDARIC A. (Ed.). **Soybean - Molecular Aspects of Breeding**. IntechOpen. 2011. DOI: 10.5772/15301. Disponível em: <<https://www.intechopen.com/chapters/14937>>. Acesso em: 13 ago 2021.

SANTOS, A. F. dos; LUZ, E. D. M. N.; REIS, A. Phytophthora spp.: distribuição e associação com espécies florestais. In: Congresso Brasileiro de Fitopatologia, 47; **Simpósio Brasileiro de Mofo Branco**, 2014, Londrina. Desafios futuros: anais. Londrina: SBF, 2014.

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

SEREIA, A. F. R.; ASMUS, G. L.; FABRÍCIO, A. C. Influência de diferentes sistemas de produção sobre a população de *Rotylenchulus reniformis* (Linford & Oliveira, 1940) no solo. **Nematologia Brasileira**, v.31, p.42-45, 2007.

SILVA, G. S.; FERRAZ, S.; SANTOS, J. M. Atração, penetração e desenvolvimento de larvas de *Meloidogyne javanica* em raízes de *Crotalaria* spp. **Nematologia Brasileira**, v.13, p. 151-163, 1989.

SILVA, J. F. V.; GARCIA, A.; DIAS, W. P.; SILVA, E. A. da. **Nematoide de cisto da soja**. Londrina: Embrapa Soja, 1997. (Embrapa Soja. Folder 07/97).

TORRES, E.; ALMEIDA, A. M. R.; SARAIVA, O. F.; HENNING, A. A.; FRANCHINI, J. C.; GALERANI, P. R.; FERREIRA, L. P. **Morte de plântulas de soja provocada pelo excesso de umidade e falta de aeração do solo**. Londrina: EMBRAPA Soja, 2004. 31 p. (EMBRAPA Soja, Documentos, 239).

TORRES, E.; DEBIASI, H.; SARAIVA, O. F.; ALMEIDA, A. M. R. Manejo do solo na prevenção de doenças radiculares. In: ALMEIDA, A. M. R.; SEIXAS, C. D. S. (Ed.) **Soja: doenças radiculares e de hastes e inter-relações com o manejo do solo e da cultura**. Embrapa Soja: Londrina, 2010. p. 207-279.

WANG, K. H.; SIPES, B. S.; SCHMITT, D. P. *Crotalaria* as a cover crop for nematode management: a review. **Nematropica**, v.32, p. 35-57, 2002.

WEISCHER, B.; BROWN, D. J. F. **Conhecendo os nematoides: nematologia geral**. Sofia: Pensoft Publishers, 2001. 209 p.

WORKNEH, F.; YANG, X. B.; TYLKA, G. L. Effect of tillage practices on vertical distribution of *Phytophthora sojae*. **Plant Disease**, v.82, p.1258-1263, 1998.

WYLLIE, T. D. **Compendium of Soybean Diseases**. 3rd ed. The American Phytopathological Society, St. Paul, MN. 1993.

ZAMBOLIM, L.; CASA, R. T.; REIS, E. M. Sistema de plantio direto e doenças em plantas. **Fitopatologia Brasileira**, v. 25, p. 585-595, 2000.

Manejo de Pragas em Plantio Direto

Dr. José Roberto Salvadori, Dr. Crébio José Ávila, Dra. Lúcia Madalena Vivan,
Dr. Marco Antonio Tamai e Dr. Rodolfo Bianco

O verdadeiro sistema plantio direto (SPD) está baseado no revolvimento mínimo do solo para realizar a semeadura ou o plantio, mas também preconiza a presença de cobertura vegetal morta (palhada) e a rotação de culturas.

Uma consequência importante viabilizada pelo SPD em lavouras foi o aproveitamento mais intensivo do solo, no sentido de ampliar o número de safras por ano, originando assim variados modelos e combinações de sucessão e de rotação de cultivos, adaptados a cada região. Isto tem contribuído tanto para a estabilidade técnica como a econômica do sistema, porém, o não preparo do solo associado à presença da palhada e de cultivos para fins de cobertura do solo, para alimentação animal ou para produção de grãos, na mesma área, impacta na composição da fauna de invertebrados que abriga tanto espécies nocivas como benéficas à produção agrícola.

Dessa forma, na análise da relação entre a ocorrência de pragas e o SPD deve-se levar em consideração todos os aspectos e características do sistema, incluindo tanto os efeitos específicos relacionados ao não revolvimento do solo como também os decorrentes da presença da palha e da cobertura vegetal viva adotada.

O foco principal deste capítulo são as pragas reconhecidamente associadas ao SPD, em decorrência do manejo do solo e/ou de outros componentes deste sistema. Porém, de forma complementar, são incluídas pragas que são desfavorecidas pelo SPD além de outras, que apesar de não estarem relacionadas ao sistema, têm ocorrido com relevância e fazem parte das preocupações atuais de técnicos e de produtores. Por outro lado, ressalta-se que não se considera aqui pragas que já ocorriam tradicionalmente no sistema convencional de manejo do solo, antes da adoção do SPD em grande escala no Brasil.

Este capítulo contém considerações teóricas e conceituais sobre a relação das pragas com o SPD e um conteúdo aplicado que remete a situações específicas de algumas pragas, incluindo o manejo daquelas associadas ao sistema, em lavouras extensivas de produção de grãos, principalmente em soja, milho e trigo.

1. Relação entre as pragas e o SPD: conceitos básicos

Entende-se, aqui, por pragas, animais invertebrados que se alimentam de plantas cultivadas, como insetos, ácaros, moluscos (lesmas e caracóis) e diplópodes (piochos-de-cobra ou milípodas). O hábito alimentar fitófago (herbívoro) de algumas espécies destes grupos de organismos, principalmente os insetos, faz delas pragas agrícolas reais ou potenciais.

Os principais organismos fitófagos influenciados pelo plantio direto são aqueles que de alguma forma estão associados ao solo, independentemente dos órgãos da planta que atacam. Todavia, é o nível de infestação e o tipo de associação que determinam se estes organismos são ou não prejudiciais.

Para efeito da análise da relação entre pragas e SPD, levando-se em conta o habitat e também os órgãos vegetais que lhes servem de alimento, os organismos nocivos mais sujeitos a efeitos do sistema podem ser classificados em a) pragas subterrâneas, b) pragas de superfície do solo e c) pragas da parte aérea das plantas que apresentam algum tipo de associação com o solo. Ressalta-se, porém, que os limites entre estas classes nem sempre são claros, havendo casos de pragas que não se enquadram perfeitamente em apenas uma delas.

As pragas subterrâneas vivem desde o horizonte superficial até mais profundamente no solo, inclusive com movimentações verticais no seu perfil, em função das condições climáticas, especialmente umidade, e das próprias etapas do seu ciclo de vida. Em princípio, constituem o grupo de pragas que mais pode ser beneficiado pelo não revolvimento do solo. Podem ser incluídos neste grupo os corós, outras larvas de solo e os percevejos-castanhos. Caracterizam-se por serem, quase sempre, residentes, pouco móveis, tipicamente rizófagas, muito influenciadas pelas condições químicas e físicas do solo e pouco pelas condições atmosféricas, e por apresentarem ciclo de vida relativamente longo.

As pragas de superfície do solo habitam a camada orgânica do mesmo ou a uma pequena profundidade, sob torrões ou restos culturais, e se alimentam de partes subterrâneas ou aéreas das plantas, mas sempre próximas do seu habitat. São influenciadas pelo não revolvimento do solo, mas também pela cobertura vegetal morta (palhada) ou viva (cultivada ou espontânea) do mesmo. Geralmente, já estão presentes na área por ocasião da implantação das culturas, na condição de pragas residentes ou herdadas da cultura anterior. São exemplos deste grupo as lagartas e os percevejos de superfície, as lesmas, os caracóis e os milípodas.

Algumas pragas que consomem a parte aérea das plantas estão bastante relacionadas aos eventos do solo por nele viverem durante a fase que atacam a planta ou mesmo quando não estão se alimentando, durante longos períodos de inatividade, em repouso, dormência ou diapausa. Sendo assim, podem sofrer a influência do SPD como se fossem pragas de solo, subterrâneas ou de superfície. São exemplos, o tamanhá-da-soja, as formigas cortadeiras e os grilos.

As pragas que habitam e se alimentam na parte aérea das plantas, mesmo aquelas espécies que passam alguma etapa do ciclo de vida no solo, como é o caso de certas espécies de lagartas, que empupam subterraneamente, e de vaquinhas, cuja larva e pupa são terrícolas, são pouco influenciadas, pelo menos diretamente, pelo não revolvimento do solo. Geralmente, apresentam ciclo biológico curto e grande capacidade de dispersão e migração, atributos que de forma conjunta ou isolada, compensam os eventuais prejuízos que o revolvimento poderia ocasionar ao seu crescimento populacional. De fato, o efeito indireto do SPD pode se manifestar sobre este grupo de pragas em consequência do modelo de sucessão de cultivos adotado, quando for composto por espécies da mesma família vegetal (sem rotação de culturas) ou de plantas da mesma espécie em cultivos de segundas-safras ou safrinhas.

Em resumo, o SPD pode exercer vários tipos de influência sobre as pragas. O não revolvimento do solo é benéfico para pragas subterrâneas, de superfície e para espécies que vivem no solo um longo período. O benefício decorre do fato que não há a morte delas por efeito direto de máquinas e equipamentos, desidratação e ação de predadores nos indivíduos trazidos à superfície externa do solo, como ocorre durante o preparo convencional.

Por outro lado, a presença da cobertura vegetal morta e a sucessão de cultivos adotada podem também ter impacto sobre a fauna invertebrada associada. A presença da palhada proporciona o estabelecimento de um microclima caracterizado por temperaturas mais amenas e com maior umidade, completamente diferente daquele que ocorre no solo desnudo, típico daquele preparado convencionalmente (Gassen, 1993a; 1996a). Dependendo dos requisitos ambientais das espécies e do efeito do microclima sobre os componentes das cadeias tróficas, a palhada pode proporcionar benefícios para a praga, como abrigo e proteção, ou prejudica-las, por meio de uma condição ambiental desfavorável ou mesmo servindo de abrigo a inimigos naturais entomófagos e dando condições para a incidência de microrganismos patogênicos a elas, especialmente de fungos. O cultivo intensivo com várias culturas em sucessão, também exerce efeito sobre a fauna fitófaga uma vez que representa a possibilidade de oferta contínua de alimento.

2. Pragas associadas ao SPD

As populações de pragas oscilam e flutuam normalmente como resultado do efeito interativo entre a sua biologia e fatores naturais ou mesmo em decorrência da atividade humana. De modo geral, é esperado que ao longo do tempo ocorram alterações na composição qualitativa e quantitativa da população de pragas em sistemas de produção, além de diferenças que normalmente já existem entre estações do ano e regiões climaticamente diferentes.

Estas alterações podem ser em decorrência da introdução de novas espécies de pragas ou do processo de adaptação das já existentes devido a questões climáticas, ampliação das áreas de cultivo, práticas de manejo de solo e cultivares e espécies de plantas cultivadas, entre outros fatores.

Assim, na vasta extensão de área cultivada sob plantio direto no Brasil, a importância das pragas varia com a região, em função do clima, das culturas envolvidas no sistema de produção e do manejo fitotécnico e fitossanitário adotado.

Nesse contexto, o plantio direto é sem dúvida um fator determinante de alterações da fauna, especialmente da edáfica. De forma direta ou indireta, o sistema

como um todo, envolvendo a presença da palhada, o manejo de plantas daninhas, o cultivo de “safrinhas” etc., colabora também para que se estabeleça uma nova composição tanto da fauna prejudicial e como da benéfica para as culturas. O uso mais intensivo do solo e a manutenção do mesmo coberto, com plantas e resíduos vegetais, fazem com que algumas pragas polípagas se adaptem ao sistema, tornando-se “pragas sistêmicas”, tanto na condição de espécies residentes (ciclo mais longo) como de pragas herdadas da cultura anterior.

Tem se observado que algumas alterações da fauna maléfica (pragas) apresentam relação com o plantio direto, enquanto outras pragas continuam a ter o mesmo *status* que tinham no plantio convencional, ao passo que outras parecem ter mudado o patamar de importância devido a outros fatores e sem relação com o não revolvimento do solo (Salvadori, 1991; Salvadori et al., 1991; Salvadori & Lorini, 1999).

Na sequência, são analisadas algumas pragas que hoje se destacam como relevantes em lavouras extensivas de produção de grãos cultivadas sob plantio direto, incluindo a eventual relação, direta ou indireta, com este sistema.

2.1 Corós

Os corós-praga são larvas melolontóides ou escarabeiformes (Coleoptera: Melolonthidae) (Figura 1A) de hábitos subterrâneos e polípagos, tipicamente rizófagas, embora também possam consumir sementes e plântulas inteiras quando as puxam para dentro do solo.

Os corós constituem um grupo extremamente numeroso e diversificado, cuja importância cresceu junto com a expansão do plantio direto no Brasil. Felizmente, nem todas as espécies de corós são pragas. Além das rizófagas, existem espécies saprófagas, necrófagas e húmidívoras, que podem ser benéficas, contribuindo para melhorar os atributos físicos, químicos e biológicos do solo (Gassen, 1993b; 2001). Considerando-se, apenas, as famílias Melolonthidae e Cetoniidae, estão registradas no Brasil 1162 espécies, sendo que destas, 875 têm potencial para ser prejudiciais (Morón, 2020). No caso dos melolontóides, que são os mais numerosos, apenas cerca de 5% das espécies são encontradas em solos cultivados e menos de 1% é considerado praga (Morón, 2020).

No Brasil, a evolução dos problemas de corós em lavouras se deu a partir dos anos 1980 quando novas ocorrências foram registradas em soja e trigo no Sul do país (Gassen et al., 1984; Salvadori, 2000). Gradativamente, a situação foi se manifestando em outras culturas e em regiões mais setentrionais, incluindo o cerrado (Ávila & Santos, 2009; Oliveira, 1997; Salvadori et al., 2002; Santos, 1992). Em decorrência da demanda por conhecimentos e dos investimentos feitos em pesquisa, o número de espécies registradas e identificadas em lavouras extensivas cresceu substancialmente a partir de então (Morón, 2020; Salvadori et al., 2020).

Atualmente, as espécies mais importantes citadas como pragas de lavouras de soja, milho ou trigo são *Diloboderus abderus* (coró-das-pastagens) e *Phyllophaga tritico-phaga* (coró-do-trigo), no extremo sul do Brasil. Mais ao norte, a partir do oeste e norte do Paraná e no Brasil central, destacam-se *Phyllophaga cuyabana* (coró-da-soja), *Phyllophaga capillata* (coró-da-soja do cerrado), *Liogenys suturalis* (coró-do-milho) e *Liogenys fusca* (coró-pequeno do cerrado).

Devido à longa duração do ciclo biológico, que é de dois anos para *P. tritico-phaga* e de um ano nas demais espécies, e à polifagia, normalmente, os danos dos corós se estendem por mais de uma cultura. O nome comum que associa algumas espécies de corós a espécies vegetais não significa especificidade hospedeira. Em geral, o nome

comum dos corós refere-se à cultura onde a espécie foi encontrada pela primeira vez ou onde tem sido mais frequente.

O coró-das-pastagens é a principal espécie que ocorre em cereais de inverno (trigo, cevada, aveia, centeio e triticale) e em milho no Rio Grande do Sul (Silva & Salvadori, 2020). O coró-da-soja, também ataca milho, tem ampla distribuição geográfica e ocorre como praga de soja principalmente no Paraná e também na região centro-oeste (Salvadori & Oliveira, 2001; Oliveira et al., 2020). O coró-da-soja do cerrado, ocorre principalmente no Distrito Federal e em Goiás e, além de soja, foi encontrado danificando mandioca (Oliveira & Frizzas, 2020). O coró-do-milho está amplamente distribuído no Brasil, ocorrendo desde o norte do Paraná até o norte do Mato Grosso (Cherman et al., 2020). A ocorrência do coró-pequeno do cerrado é registrada no bioma pampa (Cherman et al., 2011; Valmorbidia et al., 2018) e em Mato Grosso do Sul, Mato Grosso e Goiás (Costa et al., 2004; Rodrigues et al., 2008), embora até o momento tenha sido citado como praga somente em Mato Grosso, em soja e milho (Ávila et al., 2014).

Os corós podem se alimentar de plantas não cultivadas ou daninhas e muitas vezes sobreviver sem que sofram comprometimento biológico significativo. No caso de larvas de *P. cuyabana*, foi constatado que têm o desenvolvimento prejudicado quando alimentadas com raízes de espécies de crotalária ou de algodão (Oliveira, 1997).

Admite-se que as espécies de corós que hoje são pragas importantes em lavouras são nativas e foram se adaptando as plantas cultivadas em substituição à cobertura vegetal original. Podem ocorrer tanto em lavouras sob plantio direto como em lavouras sob preparo convencional do solo, porém o não revolvimento deste após a infestação facilita a sobrevivência dos corós.

Diloboderus abderus é um caso à parte entre estas espécies de corós-praga, uma vez que habita galerias que constrói no solo e, no primeiro instar larval, é saprófago, vivendo às custas da palha que a fêmea traz para dentro da galeria. Além de ser usada como alimento, a palha misturada com solo úmido faz parte de uma espécie de pastilha que protege os ovos, dentro da galeria. Por esta razão, a fêmea desta espécie prefere ovipositar em solos com maior oferta de palha na superfície (Silva et al., 1996).

2.2 Percevejos-castanhos

Os percevejos-castanhos das raízes (Hemiptera: Cydnidae) (Figura 1B) são, na verdade, um complexo de várias espécies com ampla distribuição geográfica no país, com relatos de ocorrência nos estados do Amazonas, Bahia, Goiás, Minas Gerais, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Pará, Paraná, Pernambuco, Piauí, Rio de Janeiro, Rio Grande do Sul, Rondônia, Santa Catarina, São Paulo e Tocantins (Fernandes et al., 2020b). Entre as espécies, destacam-se *Scaptocoris castanea*, que é a mais conhecida e a primeira a ser citada como praga, e outras de ocorrência mais recente como, por exemplo, *Scaptocoris buckupi* e *Scaptocoris carvalhoi* (Grazia et al., 2004; Vivan et al., 2013; Fernandes et al., 2020b).

Os percevejos-castanhos são polípagos e causam danos em diversas culturas, incluindo soja, milho, algodão, arroz, e em pastagens. São pragas subterrâneas típicas, cujas ninfas e adultos sugam as raízes de plantas e injetam toxinas salivares. Geralmente, aparecem na lavoura em manchas (grandes reboleiras) onde as plantas atacadas mostram deficiência no crescimento, amarelecimento e até podem morrer. Frente ao ataque de *S. castanea*, em condições semelhantes, os danos se mostram decrescentes nas culturas de algodão, soja, milho e arroz, pela ordem.

Ocorrem tanto em solos argilosos como arenosos, porém com maior frequência nestes últimos (Fernandes et al., 2020b). A presença é denunciada pelo odor carac-

terístico que exalam quando perturbados no solo e nas revoadas. Os adultos emitem sinais vibratórios e estridulatórios os quais variam com o sexo e com a espécie (Cokl et al., 2006). A umidade do solo provoca o deslocamento vertical, mas o que determina a movimentação é a busca por alimento (Fernandes et al., 2020b). Muitas vezes, nas amostragens, constata-se que apenas alguns insetos estão se alimentando próximo às raízes, no entanto, pode haver outros, até em maior quantidade, inativos, em câmaras no solo, onde podem permanecer meses sem se alimentar (Fernandes et al., 2020b). Nos períodos chuvosos, adultos e ninfas permanecem nas camadas mais superficiais do solo, enquanto que nos períodos secos aprofundam-se, podendo atingir mais de 1,2 m de profundidade (Oliveira et al., 2000; Oliveira & Malaguito, 2004). A dinâmica populacional no perfil do solo também depende da cultura e da profundidade do sistema radicular (Fernandes et al., 2020b). A revoada acontece no período chuvoso visando a dispersão da espécie e, provavelmente, ocorrem duas gerações anuais que se sobrepõem, fazendo com que se encontre no solo adultos e ninfas de diferentes tamanhos no ano inteiro (Fernandes et al., 2020b).

A ocorrência de danos econômicos causados por esses percevejos, em lavouras e em pastagens, cresceu a partir dos anos 1980-90. Populações elevadas têm ocorrido no cerrado, provocando danos severos tanto em pastagens como em lavouras sob plantio direto e em sistemas de preparo de solo convencional (Fernandes et al., 2020b).

2.3 Tamanduá-da-soja

Inseto nativo do Brasil, também denominado raspador ou bicudo-da-soja, *Sternuchus subsignatus* (Coleoptera: Curculionidae) (Fig. 1C), em algumas regiões, é um dos principais problemas em soja, pelo elevado potencial de dano. O primeiro registro em soja foi em 1973, em preparo convencional do solo, no Rio Grande do Sul (Corseuil et al., 1974). Passou a ter maior significado como praga de soja no final dos anos 1980 (Lorini et al., 1991) e atualmente ocorre em todo o país, com diferenças regionais. Nos anos 1990, se estabeleceu como praga de soja nos três estados da região Sul para depois também ser registrado como tal nas regiões Centro-oeste e Norte, sendo constatado em Mato Grosso do Sul em 1999 e depois em Mato Grosso, Goiás, Maranhão e Bahia (Lorini et al., 1997; Hoffmann-Campo et al., 1991; 1999; 2012; Gomez, 2000; Tamai et al., 2005). Na safra 2004/2005, em Formosa do Rio Preto - BA, houve ataque severo do inseto em cerca de 40 mil hectares, com perdas de até 20-25 sacas/ha (Tamai, 2005; Tamai et al., 2005).

Por atacar preferencialmente leguminosas, também é considerado praga em feijão e pode vir a ser problema em outras espécies dessa família. Os adultos dilaceram e desfiam o tecido da haste e de ramificações, onde também ocorre a oviposição e o desenvolvimento das larvas, o que provoca a formação de uma galha no local. Os adultos são ativos durante o dia, nas horas mais amenas, porém é no período noturno que a atividade se acentua e quando se expõem mais no terço superior das plantas. Apesar de ser uma praga da parte aérea das plantas, a espécie está estreitamente relacionada ao solo e ao seu manejo, uma vez que hiberna subterraneamente, como larva completamente desenvolvida (5º ínstar) e pupa, por um período que varia de 4 a 6 meses, dependendo da região do país.

O ciclo biológico é anual, bastante sincronizado com o cultivo da soja. Os adultos emergem do solo, em diversos fluxos, a partir da emergência da cultura, de agosto a dezembro, dependendo da região (Hoffmann-Campo et al., 1991; 1999; Lorini et al., 1997; Tamai et al., 2006b), quando procuram as plantas para se alimentar e ovipositar.

A ação dos adultos como praga inicial pode comprometer o desenvolvimento ou levar as plantas à morte. A larva vive no interior da haste ou ramificações desta e, junto com a galha que surge como reação da planta, prejudica a circulação de água e nutrientes. As plantas se tornam pouco produtivas e sujeitas ao quebraamento nos pontos onde as larvas estão alojadas. Em janeiro-fevereiro inicia a hibernação das larvas no solo. A distribuição geográfica e a ocorrência em nível de praga estão relacionadas a condições climáticas favoráveis, como temperaturas amenas, principalmente noturnas (Hoffmann-Campo et al, 1991). A evolução dessa espécie como praga, provavelmente, relaciona-se à expansão do cultivo da soja, à não adoção da rotação de culturas e à maior sobrevivência de larvas e pupas no solo em sistema conservacionistas, como o cultivo mínimo e o plantio direto (Lorini et al., 1997; Hoffmann-Campo et al., 1991; 1999; 2012; Gomez, 2000; Tamai et al., 2005).

2.4 Percevejos de superfície

A presença da cobertura morta tem favorecido algumas espécies de percevejos pentatomídeos no sentido de permanecerem na área, abrigados, entre uma cultura e outra. Da mesma forma, o cultivo intensivo com várias culturas em sucessão ou plantios para cobertura representa oferta de alimento permanente.

Nesse contexto, destaca-se o percevejo barriga-verde (Hemiptera: Pentatomidae) (Figura 1D), recentemente transferido do gênero *Dichelops* para *Diceraeus*. As espécies mais comuns no Brasil são *Diceraeus furcatus*, que ocorre mais ao sul, e *Diceraeus melacanthus* que predomina a partir do norte do Paraná e nas regiões mais setentrionais. Insetos de ocorrência relativamente secundária como pragas do período reprodutivo da soja, tornaram-se pragas principais em milho e em trigo a partir da década de 1990 (Ávila & Panizzi, 1995; Chocorosqui & Panizzi, 2004; Bianco, 2005a; 2005b). Em certas épocas do ano, vivem na superfície do solo, sob a palhada, e atacam plantas novas de milho e trigo e, mais eventualmente, cotilédones de soja. A presença de populações elevadas desses percevejos logo após a emergência das culturas pode ser consequência de uma mudança de hábitos dos insetos, relacionada ao crescimento do cultivo de safrinha de milho, em sucessão à soja, em SPD na palha (Bianco, 2005b; Chocorosqui, 2001; Chocorosqui & Panizzi, 2004). As safrinhas disponibilizam alimento de forma permanente, desobrigando os insetos de buscarem outras plantas na entressafra, e a palhada gerada no sistema é usada como abrigo para repouso hibernar e para sobrevivência. A presença no solo de sementes de soja perdidas na colheita também serve de fonte de alimento para estes insetos, contribuindo assim para a sua permanência na área (Bianco, 2005a; 2017).

Os danos destes percevejos decorrem tanto da sucção da seiva como de injúrias mecânicas causadas pelos estiletos mandibulares e do efeito das toxinas presentes na sua saliva (Panizzi et al., 2015), podendo haver diminuição de estande, problemas no crescimento e deformação de plantas e perdas no rendimento de grãos (Chocorosqui & Panizzi, 2004; Bianco, 2005a; Panizzi et al., 2015). Como pragas iniciais, os danos em soja, quando existem, são pequenos pois a planta geralmente se recupera após o ataque (Panizzi & Chocorosqui, 1999). É em milho e em trigo onde se observam os maiores danos. A ação das toxinas salivares faz com que, mesmo após o controle da praga, as plantas ainda possam apresentar sintomas de fitotoxicidade, junto com sinais de dano mecânico (Ávila & Panizi, 1995). Em trigo, provocam danos ao longo de todo o ciclo da cultura, desde a emergência ao enchimento do grão, incluindo plantas deformadas, folhas tipo “cebolinha”, abortamento de espigas e redução no rendimen-

to de grãos (Panizzi et al., 2015). Em milho, é praga principalmente de início de ciclo (Bianco, 2017; Fernandes et al., 2020a), onde também ocasiona danos severos, com sintomas característicos como perfurações foliares, deformações e perfilhamento anormal. A polifagia do percevejo barriga-verde permite que também se alimente de várias espécies de plantas não cultivadas e daninhas, sendo a sua presença bastante comum em trapoeraba.

Da mesma forma, outros percevejos pentatomídeos que são pragas importantes na fase reprodutiva da soja como, por exemplo, o percevejo-verde (*Nezara viridula*) e o percevejo-marrom (*Euschistus heros*), podem ter comportamento semelhante a *D. furcatus* e *D. melacanthus*, permanecer na palhada e atacar outras culturas, especialmente a do milho, nos estádios iniciais de desenvolvimento (Vasconcelos et al., 2014; Gomes et al., 2020; Cavalheiro, 2021). Em milho, os danos do percevejo-verde são semelhantes aos causados pelo percevejo barriga-verde, todavia, o potencial de danos do percevejo-marrom é menor.

2.5 Grilos

Os grilos (Orthoptera: Gryllidae) são insetos de hábitos alimentares bastante diversificado (onívoros), conhecidos e amplamente disseminados como pragas de hortaliças e jardins, especialmente o grilo-preto ou grilo-comum (*Gryllus assimilis*). A incidência em lavouras aumentou significativamente em sistema conservacionistas onde não há o revolvimento do solo, como o plantio direto. Embora o grilo-preto também possa ocorrer em lavouras, o grilo-marrom (*Anurogryllus muticus*) (Figura 1E) tem sido a espécie mais comum em SPD. Os grilos são mais ativos à noite, quando saem dos seus abrigos para se alimentar.

O grilo-marrom vive em galerias no solo, sempre com duas aberturas, a profundidades que variam entre 20 a 30 cm (Gassen, 1996a; 2000). A terra resultante da escavação ou da limpeza da galeria após chuvas é depositada próximo às aberturas, formando montículos que denunciam a presença deste inseto na lavoura, principalmente antes do inverno. No Sul do país, o ciclo de vida do grilo-marrom é de um ano. Os adultos são encontrados no período primavera-verão e os ovos de setembro a novembro; ninfas ocorrem durante todo o ano, mas em maior quantidade na primavera; no outono, as ninfas, em grupos numerosos, aprofundam a galeria cavada pelos adultos e armazenam alimento para os meses frios (Gassen, 1996ab; 2000).

Os danos dos grilos às culturas são maiores antes do inverno (abril-maio) e após o período mais frio (outubro-dezembro) (Gassen, 1996a; 2000), quando cortam plântulas ao nível do solo e as folhas mais baixas, levando parte do que é cortado para dentro da galeria. Em consequência, ocorre a redução do estande ou o atraso no desenvolvimento das plantas. Os danos são mais severos logo após a emergência de plantas, principalmente em períodos de estiagem e de altas temperaturas, quando aumenta a atividade dos grilos.

2.6 Lagartas de superfície

Algumas espécies de lagartas (Lepidoptera: Noctuidae) que vivem a pouca profundidade, como a lagarta-rosca (*Agrotis ipsilon*), ou que se abrigam na superfície do solo, sob torrões ou restos culturais, como a lagarta-do-trigo (*Mythimna sequax* e *Mythimna adultera*) e a lagarta-militar ou lagarta-do-cartucho do milho (*Spodoptera frugiper-*

da), podem ser beneficiadas pelo não revolvimento do solo. Porém, tem se observado que podem ser problema quando herdadas da cultura anterior, usada para cobertura do solo ou em sucessão de cultivos. Exemplo típico que ilustra esta situação é a ocorrência da lagarta-do-trigo (Figura 1F) como praga inicial de milho semeado sobre aveia-preta dessecada quimicamente ou rolada mecanicamente (Salvadori & Suzana, 2020). Atualmente, a lagarta *S. frugiperda*, reconhecida como importante praga de milho, trigo, arroz, algodão, entre outras culturas, tem apresentado uma grande expansão geográfica como praga de soja. Em SPD, lagarta *S. frugiperda* tem ocorrido como praga inicial de superfície do solo, herdada da cultura anterior. Casos de ataque de *Helicoverpa armigera* como lagarta de superfície e praga inicial têm sido registrados em soja, oriunda da cultura ou da cobertura de solo anterior.

2.7 Lesmas e caracóis

As lesmas (Figura 1G) e os caracóis são moluscos da classe Gastropoda, de hábitos terrestres. Apresentam simetria bilateral, corpo mole, alongado e achatado. São monoicos (hermafroditas), ovíparos e não realizam metamorfose (Chiaradia, 2020). A identificação da malacofauna ainda é bastante precária no que se refere a espécies, nativas e exóticas, que estão ocorrendo em lavouras brasileiras, principalmente por falta de estudos básicos de biologia, comportamento e taxonomia. A semelhança morfológica entre diferentes espécies e a variação de cor e de tamanho entre indivíduos da mesma espécie tem levado a confusões na identificação e gerado muitas sinônimas (Chiaradia, 2020). Os caracóis possuem concha calcárea que lhes serve de abrigo protetor o que os diferencia das lesmas, que não possuem esta estrutura (Chiaradia, 2020).

Lesmas e caracóis têm hábito alimentar polígrafo e vivem em ambientes úmidos e de temperaturas amenas. Abrigam-se sob torrões, restos vegetais e outros materiais existentes na superfície do solo ou penetram nele, a uma pequena profundidade a qual podem aumentar em busca de umidade. São ativos à noite e, eventualmente, em dias nublados, quando saem de seus esconderijos para se alimentar. As lesmas, geralmente, atacam a parte aérea de plantas e naquelas recém emergidas causam os maiores danos, reduzindo a população de plantas e, conseqüentemente, a produtividade das culturas. Os caracóis também atacam plântulas, mas espécies pequenas sobem e se alimentam nas partes mais altas de plantas, até mesmo daquelas já desenvolvidas. Os moluscos gastrópodes deixam por onde andam um rastro de muco que denuncia a sua presença.

Historicamente, são reconhecidos como pragas importantes em hortas, jardins e estufas, porém, mais recentemente, têm ocorrido em lavouras extensivas, como soja, feijão, milho e trigo, em áreas sob plantio direto com abundância de palha na superfície do solo. A ocorrência também é favorecida em sementeiras após o cultivo de certas espécies vegetais como o nabo-forageiro que, devido ao crescimento vigoroso, produzem sombreamento e palhada abundante. A conjugação de fatores como o hábito alimentar diversificado, a presença de palha e o cultivo em baixadas pode explicar o aumento da importância de lesmas e caracóis como pragas em lavouras, que se acentua em período chuvosos. Em condições adversas podem entrar em estado de letargia em períodos de baixa temperatura (hibernação) e sob estiagem prolongada (Chiaradia, 2020). Nesses casos, as lesmas se aprofundam no solo ou se abrigam em locais úmidos e os caracóis se recolhem à concha, fechando o orifício desta com um produto de secreção (Chiaradia, 2020).

Entre as lesmas, *Sarasinula liguaeformis* e *Sarasinula plebeia* (Soleolifera: Veronicellidae) têm sido as espécies relatadas com frequência em lavouras, assim como espécies de *Phyllocaulis* e *Vaginula* (Veronicellidae) (Chiaradia, 2020). A ocorrência e danos da espécie de caracol *Drymaeus interpunctus* (Stylommatophora: Bulimulidae) foi citada, principalmente em soja, no centro-oeste paranaense (Guarido, 2007) e em Mato Grosso do Sul. Porém, várias outras espécies de lesmas e caracóis cuja identificação ainda não foi realizada têm ocorrido, atacando partes subterrâneas e aérea das plantas.

Lesmas e caracóis também são de interesse na saúde pública uma vez que algumas espécies são vetoras de nematódeos patogênicos a humanos e animais (Chiaradia, 2020).

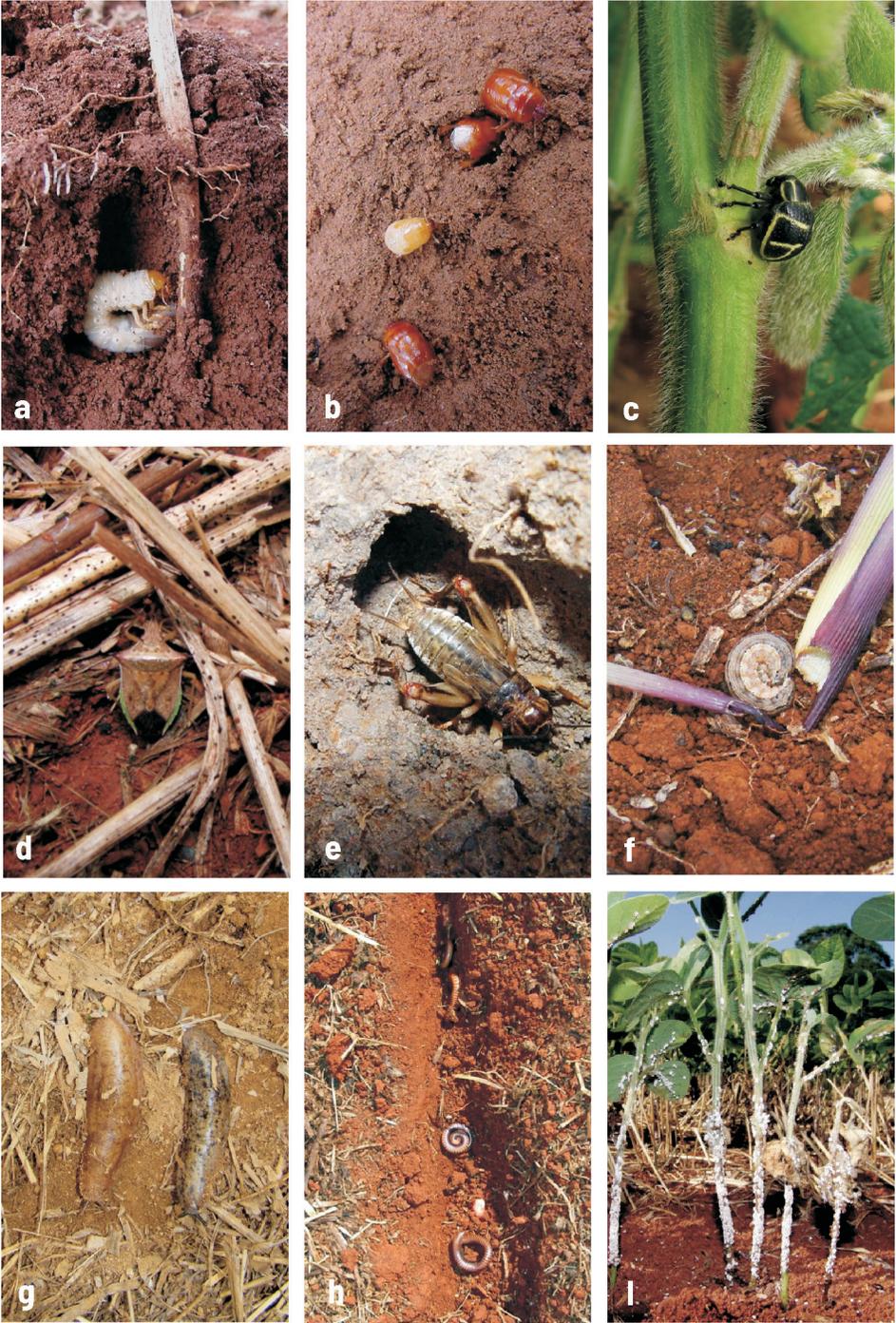
2.8 Piolhos-de-cobra

Os piolhos-de-cobra ou mílipodes (Fig. 1H) são artrópodes da classe Diplopoda que se alimentam, normalmente, de matéria orgânica morta, que têm sido encontrados em lavouras com abundância de palha e sem preparo de solo (Gassen, 1996b; Salvadori et al., 2007). No sul do Brasil, o ciclo de vida é de um ano e os adultos vivem vários meses (Gassen, 1996b). Têm hábitos noturnos, vivem enterrados no solo, principalmente em torno do sulco de semeadura ou sob a palha. Podem atacar sementes e plântulas, consumindo partes subterrâneas, cotilédones e outras partes próximas ao solo, ocasionando murcha e até a morte das mesmas. Os danos são maiores à noite e em períodos de estiagens e de temperaturas relativamente elevadas. Em solos compactados, os piolhos-de-cobra se concentram nas linhas de semeadura, onde o solo está mais solto, fazendo com que os danos se acentuem nesses pontos (Bianco, 2011). O gênero *Julus* e a espécie *Julus hesperus* (Julida: Julidae) têm sido citados com mais frequência (Corso, 1991; Gassen, 1996b; Link & Link, 2001; Nakano & Marinho, 2004; Albuquerque et al., 2011). No estado de São Paulo, foi registrada a espécie *Plusioporus setifer* (Spirotreptida: Spirotreptidae) danificando soja sob plantio direto (Domiciano & Fontes, 2001).

2.9 Outras pragas associadas ao SPD

A larva-angorá, *Astylus variegatus* (Coleoptera: Melyridae), é uma praga que tem sua sobrevivência favorecida em SPD. Os adultos são “vaquinhas” de cor preta e amarela, que se alimentam de pólen e não causam danos. A larva mede cerca de 1,0 cm de comprimento, tem o corpo de coloração marrom, revestido por pelos longos e finos, três pares de pernas torácicas e dois cercos abdominais (Gassen, 1996b). As larvas atacam sementes e partes subterrâneas de plantas cultivadas e daninhas. Em milho, podem causar danos logo após a semeadura, mas após esta fase, em geral, as plantas toleram o ataque uma vez que as larvas consomem muito pouco.

As cochonilhas-brancas, *Pseudococcus* spp. e *Dysmicoccus brevipes* (Hemiptera: Pseudococcidae) (Figura 1I) são favorecidas pelo não revolvimento do solo (Ávila, 2005; Salvadori & Pereira, 2005; Sosa-Gomez et al., 2010; Tonet et al., 2000). Sua incidência se acentuou nos últimos anos, mesmo ainda ocorrendo de forma localizada e eventual. Estes insetos sugadores de raízes sobrevivem no solo e a infestação no local vai crescendo em reboleiras até atingir áreas significativas na lavoura, quando passam para a parte aérea provocando secamento e morte das plantas.



Fotos: D. N. Gassen.

Figura 1. Coró (A), percevejo-castanho, adultos e ninfas (B), tamanduá-da-soja (C), percevejo barriga-verde (D), grilo-marrom (E), lagarta-do-trigo (F), lesma (G), piolho-de-cobra (H) e cochonilha-branca (I).

Teoricamente, o não revolvimento do solo pode favorecer a sobrevivência de cupins e de formigas cortadeiras. A presença de cupim-de-montículo em áreas de lavouras dificulta o trânsito de máquinas e aumenta os riscos de acidentes. No caso de formigas cortadeiras, em algumas situações, a presença da palhada dificulta a visualização de olheiros e de trilhas, bem como a localização de formigueiros, dificultando assim o controle. Todavia, o aumento dos problemas com cupins e formigas cortadeiras em SPD tem se mantido apenas como uma possibilidade, não resultando de fato em crescimento na sua importância como pragas.

3. Pragas não associadas ao SPD

Se por um lado algumas pragas são beneficiadas, outras são desfavorecidas de forma direta ou indireta pelo SPD. Também existem pragas que se mostram indiferentes e casos de pragas sobre as quais existem dúvidas se são ou não impactadas pelo sistema.

A lagarta-elasma ou broca-do-colo, *Elasmopalpus lignosellus* (Lepidoptera: Pyralidae), é um exemplo clássico de inseto que é prejudicado pelo SPD. Sua incidência é menor em lavouras sob plantio direto em relação a lavouras conduzidas em sistema convencional de semeadura (Bianco, 1985; 2005a). Esta lagarta caracteriza-se por ser praga de início de ciclo de várias culturas e por viver muito próximo da superfície do solo. Para se alimentar, penetra no caule por um orifício que faz e mantém aberto na região do colo e broqueia em direção ascendente, prejudicando a passagem de água e de nutrientes. As plantas atacadas murcham e podem acabar morrendo, situação na qual a lagarta se desloca para uma planta vizinha, podendo atacar 4 a 5 plantas, dependendo da cultura. Em ataques mais tardios da broca-do-colo, as plantas podem ficar com o desenvolvimento e a capacidade de produzir comprometidos (Viana & Mendes, 2020). Nesta situação, a planta pode emitir radículas laterais, mas devido à fragilidade provocada pelo ataque da praga, tomba facilmente pela ação do vento. Quando em repouso, a lagarta se protege em um abrigo que constrói unindo partículas de solo e de fezes com fios de seda, o qual fica preso à planta, dentro do horizonte orgânico do solo.

A ocorrência da lagarta-elasma é determinada por condições bem específicas como solo arenoso, seco e quente (Gassen, 1996a). No SPD, a palhada gera um microclima úmido e de temperatura amena, ambiente adverso à praga (Gassen, 1996a; Vianna & Mendes, 2020). Os adultos selecionam locais secos para ovipositar e a umidade prejudica a sobrevivência das lagartas durante e logo após a eclosão (Viana, 1981).

Em lavoura de grãos, a lagarta-elasma já foi praga limitante à expansão dos cultivos na região centro-oeste, especialmente em plantios de sequeiro. Atualmente, em plantio direto na palha perdeu esta condição, embora possa ocorrer em situações específicas, como em solos arenosos e sem palhada.

A larva da mosca-da-semente, *Delia platura* (Diptera: Anthomyiidae), também denominada bicheira-da-raiz, é um exemplo de praga de solo que ocorria eventualmente em lavouras sob plantio convencional e cuja incidência tornou-se ainda mais incomum em SPD. O adulto é uma mosca menor que a mosca doméstica e a larva é vermiforme, branca, ápole e mede cerca de 0,5 cm de comprimento. Em lavouras, a mosca-da-semente pode ocorrer em várias culturas, como soja, milho e feijão, quando a emergência das plântulas se dá em condição de estresse, ocasionado por semeadura muito profunda, compactação superficial do solo, excesso de umidade, temperatura relativamente baixa e sementes de baixo vigor (Gassen, 1996b; Link & Costa, 1981), condições estas que não são comuns em SPD. Várias larvas podem ser encontradas

atacando sementes ou partes subterrâneas de plântulas em vias de emergir ou recém emergidas, levando-as à morte.

Outro exemplo de praga esporádica, muito comum na superfície do solo, que normalmente se aloja sob a palha ou torrões, é o besouro “ligeirinho”, *Blapstinus punctulatus* (Coleoptera: Tenebrionidae). O besouro é escuro, quase preto, e mede em torno de 0,6 cm de comprimento. A larva (falsa-larva-aramé) é marrom, com anéis mais claros e mais escuros, tem três pares de pernas torácicas e mede cerca de 1,2 cm de comprimento (Gassen, 1996b). Adultos e larvas mostram-se muito ágeis e, embora também se alimentem de restos vegetais, quando em grande quantidade podem danificar plantas, especialmente em solos secos e quentes. Devido ao hábito alimentar e ao tipo de ambiente que lhe favorece, esta praga parece não ter potencial para se tornar mais importante em SPD. Todavia, grandes infestações e elevados danos já foram constatados em milho cultivado nesse sistema de manejo do solo, em Minas Gerais (Souza & Souza, 2002)

Atualmente, em lavouras conduzidas sob SPD, existem pragas da parte aérea das plantas que representam problemas reais ou potenciais relativamente recentes, sobre as quais não se sabe se estariam ou não ocorrendo com a mesma intensidade em cultivos sob preparo convencional do solo. Não há evidências que sejam impactadas pelo manejo do solo, mas não se pode descartar que estejam sendo beneficiadas, indiretamente, pelos modelos de sucessão de culturas mais intensivos empregados. Por outro lado, a atual predominância dos sistemas conservacionistas de manejo do solo nas lavouras brasileiras dificulta que se tire conclusões a respeito. Nesse contexto, destacam-se moscas-brancas, cigarrinhas, ácaros, tripes e a mosca-da-haste.

A mosca-branca, *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae), além de sugar a parte aérea das plantas, também favorece o aparecimento de fumagina, causada pelo fungo do gênero *Capnodium*, que se desenvolve nas excreções dos insetos e cobre a planta com um micélio preto que compromete a fotossíntese e provoca o secamento das folhas, afetando drasticamente a produção das culturas. A elevada capacidade de reprodução e a ampla gama de espécies de plantas que a mosca-branca ataca contribuem decisivamente para o grande potencial de dano de adultos e ninfas desta praga. Estima-se que *B. tabaci* tem mais de 600 hospedeiros, incluindo cucurbitáceas, fabáceas, malváceas e solanáceas (Lourenção & Nagai, 1994; Moscardi et al., 2012). Recentemente, foi relatada sua presença em milho (Quintela, 2015). Em soja, após surtos registrados em 1996, no Paraná, as ocorrências se multiplicaram em várias regiões do país (Moscardi et al., 2012), incluindo o cerrado e atingindo de forma impactante lavouras no oeste da Bahia (Tamai et al., 2006a). O biótipo B, predominante em soja (Sosa-Gómez et al., 2010), é vetor do *Cowpea mild mottle virus* (CPMMV), vírus causador da necrose-da-haste, capaz de provocar perdas significativas à cultura (Silva et al., 2020).

A cigarrinha-do-milho, *Dalbulus maidis* (Hemiptera: Cicadellidae), tem ocorrido em níveis populacionais muito elevados nas lavouras de milho do Brasil. Inseto de pequeno potencial de danos diretos pela sucção de seiva por adultos e ninfas, tornou-se praga severa por ser vetor de vários fitopatógenos, como mollicutes e vírus, que afetam significativamente o rendimento da cultura (Ávila et al., 2021). Devido à especificidade hospedeira, esta espécie utiliza o próprio milho de safrinhas e de plantas guachas presentes na entressafra para sobreviver e se multiplicar. Há evidências que este fato é determinante no crescimento populacional da praga, uma vez que são repositórios naturais do complexo vetor-patógenos, funcionando como “pontes verdes” dentro do sistema de produção de grãos (Ávila et al., 2021). Em certas regiões do cerrado, a redução no uso de inseticidas químicos na cultura do milho devido ao advento das tecnologias Bt, ao extenso período de cultivo do milho conferido pelas áreas irrigadas

e às condições climáticas favoráveis à ocorrência de gerações sucessivas do inseto, também são considerados fatores que contribuem para que esta praga tenha a sua importância aumentada na cultura (Tamai et al., 2016).

A ocorrência de várias espécies de ácaros tetraniquídeos (Prostigmata: Tetranychidae) é relatada nas lavouras brasileiras há muito tempo. Nas últimas duas décadas, porém, a incidência e a importância de várias espécies como praga aumentou na cultura da soja. Nesse sentido, destacam-se o ácaro-rajado (*Tetranychus urticae*) e o ácaro-verde (*Mononychellus planki*), além de outras espécies como, por exemplo, os ácaros-vermelhos (*Tetranychus desertorum*, *Tetranychus gigas* e *Tetranychus ludeni*) (Guedes et al., 2007; Roggia et al., 2008; Rezende, 2011; Tamai et al., 2020). Os tetraniquídeos desenvolvem colônias numerosas protegidas por teia mais ou menos abundante, conforme a espécie. Alimentam-se de células epidérmicas e parenquimatosas dos folíolos, tendo como efeito direto o rompimento e o esvaziando celular (Moraes & Flechtmann, 2008). Altas populações nas lavouras de soja, normalmente, estão presentes em anos mais secos, com ocorrência de veranicos longos e temperaturas diárias elevadas. Nestas condições, há uma redução no tempo de desenvolvimento dos ácaros (período ovo-adulto), resultando em aumento do número de gerações/safra e maior sobrevivência das ninfas e adultos (Roggia, 2010; Tamai et al., 2020). Em infestações severas, ocorrem perdas de produção expressivas, que podem chegar a 40-60% (Moscardi et al., 2012).

Com menor frequência e importância em soja, mas com ampla distribuição nas regiões produtoras, ocorre o ácaro-branco, *Polyphagotarsonemus latus* (Tarsonemidae) (Guedes et al., 2007; Rezende, 2011), cuja ocorrência não depende de períodos de estiagem. Devido ao tamanho muito reduzido, geralmente, a presença deste ácaro é percebida apenas pelos sintomas que causa. Ataca tecidos novos e em formação, impedindo a expansão normal de folíolos e provocando o escurecimento de hastes, pecíolos e legumes (Sosa-Gomez et al., 2010).

Em trigo, o ácaro-do-enrolamento, *Aceria tosichella* (Prostigmata, Eriophyidae), teve sua ocorrência constatada no Brasil em 2006 (Pereira et al., 2009). Este ácaro tem elevado potencial de dano, como já foi constatado em várias outras partes do mundo, e ataca várias espécies de poáceas. Os danos decorrem tanto da sucção da seiva, o que provoca o enfraquecimento e a deformação das plantas, mas principalmente pela virose causada pelo *Wheat streak mosaic virus* (WSMV) do qual o ácaro-do-enrolamento é vetor. Trata-se em um problema potencial, uma vez que não tem se manifestado em níveis capazes de causar epidemias e danos severos nas lavouras brasileiras.

A incidência de tripses (Thysanoptera: Thripidae) em altas populações tem sido cada vez mais comum nas lavouras de soja e está associada a condições climáticas semelhantes às mencionadas para os ácaros tetraniquídeos. Em soja podem ocorrer várias espécies, com destaque para o tripses-carijó (*Caliothrips brasiliensis*) e o tripses-marrom (*Frankliniella schultzei*) (Moscardi et al., 2012). Devido ao esvaziamento das células sugadas por adultos e ninfas, provocam o aparecimento de sintomas de “prateamento” nas plantas, comprometendo a área fotossintética, podendo levar ao secamento das folhas. Espécies polífagas de tripses podem se tornar problema em mais de uma cultura no sistema de produção.

Pelo potencial de dano e pela dificuldade de controle, a mosca-da-haste (Diptera: Agromyzidae) é, atualmente, uma das grandes preocupações como praga da soja. A ocorrência de *Melanagromyza* em soja, no Brasil, ainda como espécie indefinida, foi citada a partir de 1983 (Gassen et al., 1985; Link et al., 2009; Guedes et al., 2015). Identificada como *Melanagromyza sojae* (Arnemann et al., 2016), tem ocorrido com maior frequência, causando perdas significativas nas lavouras de soja, incluindo o cerrado

brasileiro (Czepak et al., 2018). Os danos são causados pelas larvas, oriundas da oviposição endofítica que a mosca faz nos folíolos das plantas. Dos folíolos, a larva se desloca internamente pelo mesófilo e pecíolo até atingir a haste. Broqueia o miolo da haste, no sentido ascendente e descendente, provocando murcha e secamente da planta. Sua ocorrência parece estar associada a plantio mais tardios, cultivares de ciclo mais longo e a safrinhas de soja. Observações preliminares indicam que a incidência e os danos podem variar com genótipos de soja.

4. Manejo de pragas no SPD

4.1 Medidas gerais de manejo

Com exceção do controle mecânico de pragas por meio da mobilização do solo usando-se práticas como lavração, gradagem, escarificação etc., utilizadas no sistema convencional de cultivo, as demais medidas e táticas empregadas para o controle de pragas são comuns a sistemas não conservacionistas de manejo do solo e ao SPD.

Em adição, como práticas que visam produzir economicamente e reduzir o impacto ambiental, o manejo integrado de pragas e o plantio direto são dois sistemas perfeitamente compatíveis e complementares.

Dessa forma, o manejo das pragas que ocorrem em plantio direto deve ser sustentado pelo a) monitoramento da população das pragas através de amostragens, b) uso de critérios quantitativos para tomadas de decisão de controle, c) preservação do controle biológico natural, d) emprego de táticas eficazes de controle e e) integração de todos os meios disponíveis para que seja atingido o objetivo de reduzir a densidade populacional das pragas a um nível que não cause danos econômicos às culturas.

Entenda-se aqui como meios, o conjunto de conhecimentos sobre a biologia e o comportamento das pragas, o conhecimento sobre a suscetibilidade e a tolerância das plantas às pragas, as práticas de monitoramento da dinâmica populacional das pragas, a avaliação do custo-benefício através dos conceitos de nível de dano econômico e níveis de ação, a avaliação do potencial de controle natural e, finalmente, a adoção de métodos de controle disponíveis e tecnicamente eficientes.

Especificamente, os métodos de controle adotados variam com a praga e com a região de sua ocorrência, incluindo o emprego de inseticidas químicos e biológicos, feromônios sexuais, extratos vegetais, inimigos naturais, cultivares resistentes, manejo cultural (rotação e sucessão de culturas, época de semeadura, manejo de coberturas vegetais a serem usadas para dessecação ou alimentação animal), dentre outros.

Pragas que ocorrem no início do ciclo das culturas, como pragas subterrâneas ou de superfície do solo, ou mesmo pragas da parte aérea que atacam plântulas, podem ser controladas com a aplicação de inseticidas via tratamento de sementes ou no sulco de semeadura com formulações granuladas ou líquidas. Pulverizações em pré-plantio, em pós-plantio no sistema “plante e aplique”, bem como em pós-emergência também podem ser alternativas para uso isolado ou em combinação com o tratamento de sementes ou aplicação no sulco.

A escolha do método e do momento da aplicação, do produto e das doses depende de cada situação, devendo ser muito bem ajustada ao alvo a ser combatido. Devido à dinamicidade que existe no mercado e no leque de opções devidamente legalizadas, neste capítulo, não se faz menção a ingredientes ativos inseticidas, mas se recomenda que devem ser usados os produtos devidamente registrados no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento para cada caso particular de praga e cultura.

O uso do controle biológico vem aumentando de forma consistente, como pode ser observado no crescente número de produtos biodefensivos registrados no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Agrofit, 2022; Salvadori & Tibola, 2020). Há evidências que certos inimigos naturais das pragas, como os predadores de superfície do solo, encontram sob a proteção da palhada do SPD melhores condições microclimáticas para sobrevivência. Adultos de parasitoides e de alguns predadores que dependem de fontes de pólen e néctar floral para se alimentar, também encontram mais facilmente estes recursos em sistemas mais diversificados e conservacionistas de cultivo. Entomopatógenos também podem ser beneficiados pelas condições microclimáticas proporcionadas pelo SPD. Em qualquer situação, porém, também é importante praticar o controle biológico conservativo, preservando o que está presente no local através de cuidados como, por exemplo, evitando aplicações de inseticidas desnecessárias, preferindo produtos seletivos ou usando-os seletivamente, especialmente nas primeiras aplicações a serem realizadas na cultura.

O uso de cultivares resistentes é considerado o método ideal para o controle de pragas e a busca e a disponibilização de genótipos com esta característica têm sido cada vez mais incrementadas. Nesse sentido, cultivares que expressam proteínas entomotóxicas de *Bacillus thuringiensis* (Bt), eficientes no controle de algumas espécies de lagartas e da larva-alfinete (*Diabrotica speciosa*, Coleoptera: Chrysomelidae), ou até mesmo cultivares tolerantes a pragas, como da tecnologia Block da soja, para o manejo de percevejos pentatomídeos (Oliveira et al., 2019), podem ser perfeitamente integradas com inseticidas, controle biológico e outros métodos de controle em diferentes cultivos, no SPD.

Também no sentido de dar maior precisão às ações de controle, decisões mais seguras são tomadas mediante amostragens e monitoramento em todo o sistema. Como já foi explanado, muitas pragas podem ser consideradas sistêmicas, pois tendem a residir na área e, devido ao ciclo biológico longo e ao comportamento polífago, causar danos em mais de uma safra. Este fato, faz com que as ações de manejo das pragas também sejam implementadas de forma sistêmica e não apenas como medidas emergenciais isoladas, no momento da semeadura ou durante o desenvolvimento da cultura.

Também é necessário que haja preocupação e vigilância permanentes na adoção de medidas de manejo e práticas culturais desfavoráveis à ocorrência de pragas. Por exemplo, o sistema de rotação e/ou de sucessão de culturas adotado pode ser determinante na ocorrência de pragas. Da mesma forma, quando se trata de um plantio após a dessecação ou a rolagem da cultura anterior, é fundamental examinar, no solo e nas plantas, que tipo de praga possa estar ali presente, para orientar que medidas que precisam ser tomadas visando o controle. Identificar a espécie das pragas presentes, onde vivem, seus hábitos alimentares, capacidade de locomoção, fases de desenvolvimento e a quantidade é fundamental para uma decisão correta e no momento certo. Muitas vezes, deixar uma “janela” entre a dessecação da cobertura e a semeadura da cultura pode ser suficiente para evitar danos, podendo, nesta situação até mesmo evitar a aplicação de inseticida em mistura com o herbicida.

4.2 Medidas para manejo de algumas pragas associadas ao SPD

De modo geral, a amostragem de pragas subterrâneas é feita por meio da abertura de trincheiras no solo. Pragas de superfície são amostradas examinando-se a palhada, torrões ou até mesmo a camada orgânica do solo. No caso de insetos pequenos ou que se protegem dentro de cápsulas no solo pode ser necessário peneirar o mesmo

ou pelo menos quebrar os torrões, o que pode ser feito com as próprias mãos. O exame de raízes, colo, caule e de plantas sintomáticas (mal desenvolvidas, amareladas, murchas etc.) sempre é útil como informação complementar ou até para indicar onde as trincheiras de solo devem ser concentradas, quando for o caso. Cuidado especial deve ser tomado quando plantas são arrancadas do solo para que não se percam as formas biológicas que estejam ali presentes e as quais, muitas vezes, se desprendem da planta ou ficam enterradas.

a) Corós

A grande diversidade de espécies de corós existente e as particularidades de ciclo, hábitos e sazonalidade não permitem que haja uma uniformidade nos procedimentos de manejo, não sendo possível aplicar diretamente o que existe nesse sentido de uma espécie de coró, de uma cultura ou de uma região, para outra. Um procedimento essencial e padrão para todos os casos é identificar corretamente as espécies presentes, uma vez que nem todo coró é praga (Salvadori & Pereira, 2006). O monitoramento de corós deve ser feito periodicamente, durante todo o ano, visando constatar o início e a evolução das infestações, o que permite a adoção de medidas preventivas de controle no momento mais adequado, uma vez que ações curativas não têm eficácia. De modo geral, a quantificação dos níveis de infestação é feita em amostragens de solo, através da abertura de trincheiras com auxílio de pá-de-corte, cuja dimensão varia de 50-100 cm de comprimento x 20-25 cm de largura x 20-30 cm de profundidade.

No sul do país, nas regiões onde predominam as espécies de corós *D. abderus* e *P. triticophaga*, recomenda-se o monitoramento durante todo o ano, independentemente da cultura, visando mapear as infestações, por meio de plantas sintomáticas, e abertura de trincheiras em pré-plantio. Na cultura do trigo e demais cereais de inverno (aveia, cevada, centeio e triticale) o nível de ação é 5 corós rizófagos/m², com vistas à aplicação de inseticidas via tratamento de sementes (Silva, 1997; Salvadori & Silva, 2020). Nas culturas de verão, como milho e soja, o retardamento da época de semeadura para além de outubro-novembro, quando os corós já pararam de se alimentar e se preparam para empupar, é uma tática controle cultural eficiente (Silva et al., 1996; Silva & Salvadori, 2020). Este método de controle cultural é mais praticável em soja em função da época de semeadura mais adequada para esta leguminosa. Em milho, essa tática também é possível, porém com limitações, uma vez que geralmente os plantios, em sua maioria, iniciam um pouco antes dos corós cessarem a alimentação. O nível de ação na cultura do milho, cuja densidade de cultivo é inferior aos cereais de inverno, é de 0,5 corós rizófagos/m² (Silva & Costa, 2002; Silva & Salvadori, 2020). Em milho, além do tratamento de sementes, inseticidas podem ser aplicados em pulverização no sulco de semeadura (Ávila & Gomes, 2003). No caso específico de *P. triticophaga*, cujo ciclo biológico é de dois anos, os danos ocorrem em anos alternados fato este que pode ser usado no manejo desta praga (Salvadori & Silva, 2020). Outro aspecto bem particular é que a fêmea de *D. abderus* prefere ovipositar em solos com presença de palha, uma vez que esta serve para proteger os ovos e de alimento aos corós de primeiro ínstar (Silva et al., 1996). Isto pode ser devidamente considerado no manejo, uma vez que sistemas de sucessão de culturas que disponibilizam menos palha na época de postura, são menos infestados.

Em regiões a partir do norte do Paraná e no cerrado brasileiro a diversidade de espécies de corós-praga que ocorrem em lavouras geralmente é maior, onde se destacam *P. cuyabana*, *P. capillata*, *L. fusca* e *L. suturalis*. No manejo destas espécies podem ser utilizados inseticidas em tratamentos de sementes ou aplicados no sulco de seme-

adura e a manipulação da época de semeadura, atrasando-a para que as plantas, em desenvolvimento, escapem do período de maior risco de danos pelos corós (Oliveira, 1997; Ávila & Santos, 2009; Fava et al., 2008; Ávila et al., 2014; Oliveira et al., 2020; Chermann et al., 2020; Martins & Frizzas, 2020). Os resultados do controle químico de corós podem ser afetados pela umidade do solo e pela profundidade na qual as larvas se encontram no momento da aplicação (Oliveira, 2000; Ávila & Gomes, 2009).

O uso em esquemas de rotação ou sucessão com espécies de plantas que, usadas como alimento, não permitem o desenvolvimento normal das larvas, também representa uma alternativa, conforme foi constatado para *P. cuyabana* e *P. capillata* (Oliveira, 1997; Ávila & Santos, 2009; Martins & Frizzas, 2020). Nesse sentido, espécies de crota-lária têm efeito negativo sobre a biologia destas espécies de corós, enquanto o algodão afeta *P. cuyabana* (Oliveira, 1997; Ávila & Santos, 2009).

Para o caso de espécies de corós cujos os adultos apresentam forte atração pela luz, o uso de armadilhas luminosas durante o período de emergência dos insetos do solo pode capturar um número expressivo de adultos durante a noite e, assim, contribuir para reduzir a sua infestação nos cultivos subsequentes.

Todas as espécies de corós estão sujeitas ao controle biológico natural exercido por parasitoides, predadores e patógenos. Epizootias causadas por microrganismos entomopatogênicos, como fungos, bactérias e nematoides, podem causar colapso na população de corós e assim apresentam potencial para uso na forma de inseticidas biológicos (Leite et al., 2020). No sul do país, a mortalidade de larvas de *D. abderus* por fungos e bactérias, em condições naturais, pode ser próxima a 90%, em determinadas situações (Salvadori & Oliveira, 2001).

Uma discussão recorrente têm sido o uso de controle mecânico de corós, por meio do preparo convencional do solo. Sem dúvida que este tipo de manejo do solo afeta negativamente os corós, porém, a incompatibilidade com o SPD bem como a falta de consistência dos resultados como método controle emergencial, não justificam a sua utilização.

b) Percevejos-castanhos

Características biológicas e comportamentais, especialmente o longo ciclo de vida, a polifagia e os hábitos subterrâneos, tornam o controle desta praga muito difícil. O uso dos meios de controle químico, cultural, mecânico e biológico, atualmente disponíveis, tem se mostrado pouco eficazes, como também o caso específico da rotação de culturas e o tratamento de sementes com inseticida (Ávila et al., 2009; Souza et al., 2009; Silva et al., 2013; Fernandes et al., 2020b). Inseticidas aplicados no sulco de plantio, em pulverização ou na forma granulada, podem apresentar um controle parcial, dependendo do produto empregado. Operações de preparo do solo, geralmente, atingem apenas os insetos que estão posicionados mais na superfície não justificando, portanto, revolver o solo em áreas de plantio direto (Oliveira et al., 2000; De Angelis, 2002; Souza et al., 2015). Gradagens podem reduzir a população apenas na superfície do solo, sem que isso se traduza em controle prolongado, uma vez que após a operação o inseto migra para as camadas mais profundas do solo (Malaguido & Oliveira, 2001). A melhoria do estado nutricional das plantas por meio de adubação, especialmente a nitrogenada, pode manter plantas visualmente mais vigorosas, para suportar o dano nas raízes, mas em algodão os resultados de controle se mostraram inconsistentes (Nascimento et al., 2014; Oliveira et al., 2000). A entressafra prolongada ou o pousio, ou seja, sem plantio de safrinha ou sem a presença por cerca de seis meses de plantas hospedeiras após a colheita da cultura atacada, pode ser uma possibilidade de controle (Fernandes et al.; 2020b). O cultivo de *Crotalaria spectabilis* antecedendo as culturas

tem mostrado um melhor desenvolvimento destas em locais com infestações de percevejos-castanhos, enquanto que o plantio de braquiária, no período de entressafra, proporciona boas condições para o desenvolvimento e a manutenção das populações dos percevejos (Vivan, L. M. - dados não publicados).

Nas culturas anuais, é recomendado observar a população do percevejo no solo, por ocasião do plantio. No entanto se o volume de chuvas for pequeno esses insetos podem estar mais profundos no perfil do solo e não serem detectados. É importante ter o histórico de ataque nas áreas durante os anos de ocorrência dessa praga. Se tiver a presença do inseto nos primeiros 10 a 15 cm do perfil pode-se realizar pulverização no sulco de plantio com produtos biológicos a base de *Metarhizium anisopliae* (Xavier & Ávila, 2006) os quais dependem de umidade para que proporcionem uma boa infecção dos insetos.

c) Tamanduá-da-soja

O manejo do tamanduá-da-soja deve ser feito, preferencialmente, com rotação de culturas (Hoffmann-Campo et al., 1999; 2012), plantando-se milho, algodão, sorgo, girassol ou qualquer cultura que não seja hospedeira da praga no lugar da soja, na área infestada. Em soja, porém, em área com histórico de infestação, que normalmente inicia nas bordaduras dos talhões, um pouco antes da colheita deve-se mapear os locais com presença de plantas com galhas típicas do inseto e, antes de uma nova semeadura, quantificar nestes mesmos locais a população de larvas hibernantes, abrindo-se trincheiras no solo com até 20 cm de profundidade (Tamai et al., 2005). Nas áreas com larvas hibernantes ou com histórico de infestação elevada é indicado tratar as sementes com inseticida e monitorar os fluxos de emergência de adultos do solo durante todo o ciclo da cultura (Tamai et al., 2006b). Em caso de ataque nos estágios vegetativos da cultura, é necessário complementar o tratamento de sementes com pulverizações de inseticida, mesmo que apenas os adultos sejam atingidos, pois as larvas ficam protegidas dentro das hastes e ramos. O objetivo é evitar a morte de plantas e a consequente redução no estande da cultura. Nesse caso, o nível de ação é de 1 adulto/m até V3 e de 2 adultos/m, em V6 (Hoffmann-Campo et al., 1999). O controle antes que se inicie a oviposição além de reduzir a presença de larvas e de seus danos na safra corrente, também contribui para uma menor infestação na safra seguinte. Para melhor eficiência de controle da praga são indicadas pulverizações noturnas, quando a maioria dos adultos se encontra na parte superior das plantas (Hoffmann-Campo et al., 1999). Quando se faz rotação de cultura com plantas não hospedeiras em áreas infestadas, deve-se ter cuidado especial na soja adjacente, pois nela poderá haver uma grande concentração de adultos migrantes. Nesse caso, é provável que várias pulverizações com inseticida sejam necessárias na bordadura da soja, em complemento ao tratamento de sementes. A destruição mecânica desta soja, para eliminar larvas que infestam as plantas, também pode ser considerada. Também é possível adotar estes mesmos procedimentos em uma faixa de soja semeada no entorno da cultura não hospedeira, que vai funcionar como “plantas armadilhas”, onde vão se concentrar os adultos que emergirem no interior da lavoura.

d) Percevejo barriga-verde

O manejo do percevejo barriga-verde deve levar em consideração que se tratam de “pragas sistêmicas”, com maior potencial de dano em milho e trigo, em comparação com a soja. Na cultura da soja, os danos do percevejo barriga-verde ocorrem principalmente na fase reprodutiva, situação em que também afetam a qualidade do

grão e das sementes (Cavalheiro, 2021). Sua adaptação ao sistema de plantio direto, na sucessão soja-milho safrinha, explorando a palhada como abrigo para sobrevivência e multiplicação (Bianco, 2005a; 2017) contribuiu decisivamente para o crescimento de sua importância como praga (Chocorosqui, 2001; Panizzi & Chocorosqui, 1999). Perdas na colheita da soja também contribuem para a sobrevivência do percevejo barriga-verde, pois as sementes deixadas no campo lhes servem de alimento. O controle de plantas daninhas também é uma medida que desfavorece os percevejos pois eles as utilizam como hospedeiras, especialmente trapoeraba, capim carrapicho, capim pé-de-galinha etc. (Bianco, 2005a; 2017).

As decisões de controle destes percevejos principalmente em sistemas de sucessão onde o milho é antecedido por trigo, soja ou milho, devem ser tomadas com base no histórico de ocorrência e no monitoramento antes da semeadura. Uma possibilidade de acompanhamento da infestação é através de inspeções diretas sob a palhada ou utilizando iscas feitas a base de sementes de soja umedecidas ou através de algumas plantas de milho semeadas com antecedência na área, como “plantas sentinelas” (Bianco, 2017). O uso das iscas permite classificar a infestação quanto ao risco (baixo, médio ou alto) e com isso direcionar a escolha do tipo do inseticida e do modo de aplicação, em cada situação (Bianco, 2005a).

O controle do percevejo barriga-verde pode ser realizado por meio de inseticidas aplicados nas sementes, especialmente de neonicotinoides, ou através de pulverizações logo após a semeadura (“plante e aplique”) ou em pós-emergência da cultura. Nesse último caso, em milho, o controle deve ser realizado na fase de plântula e até a fase de 5 a 6 folhas, pois plantas mais desenvolvidas são tolerantes ao ataque da praga (Bianco, 2017; Fernandes et al., 2020a; Cavalheiro, 2021). Em infestação muito altas, pode ser necessário combinar ambos os tipos de aplicação de inseticida, tanto em milho como em trigo.

O nível de ação para controle do percevejo barriga-verde depende da espécie e do estágio fenológico da cultura. Em trigo, é recomendado controle com 1 percevejo/m² para *D. melacanthus* (Duarte et al., 2010; Reunião..., 2020) e 4 e 2 percevejos/m², na fase vegetativa e reprodutiva do trigo, respectivamente, para *D. furcatus* (Reunião..., 2020). Em milho, o nível de ação é 0,8 percevejo/m² (Duarte et al., 2015) ou 1 percevejo para cada 10 plantas de milho (Bianco, 2017). Em milho, no controle com inseticidas via tratamento de sementes, cuidado especial deve existir para evitar sub-doses. Para tanto, recomenda-se que a dosagem seja feita para 60 mil sementes e não para 100 kg de sementes (Bianco, 2005a). No caso de pulverizações, em combinação com o tratamento de sementes ou isoladas, a aplicação deve ser feita logo após a emergência, pois se realizada 10-15 dias após pode se mostrar ineficiente dado que, mesmo controlando inseto, o dano já teria ocorrido (Bianco, 2005a).

e) Moluscos, grilos e milípedes

O controle de moluscos (lesmas e caracóis) e de grilos representa um grande desafio. Ambos podem ser controlados com iscas. Para grilos, as iscas podem ser preparadas *on farm* e, geralmente, exigem aplicação manual. No caso de lesmas e caracóis, existem iscas moluscicidas comerciais, mas o uso em grandes áreas pode apresentar restrições devido ao custo elevado e a dificuldades para aplicação.

O acúmulo de palha em alguns pontos da lavoura cria um ambiente propício para moluscos e, por isso, deve ser evitado. Por outro lado, pode ser uma estratégia para favorecer a concentração dos moluscos, no início da infestação, e facilitar a eliminação dos mesmos. Em alguns casos, muito pontuais e localizados, quando a infestação se

restringe a pequenas manchas, o solo pode ser revolvido para expor os moluscos à desidratação e aos predadores. No caso de caracóis, algumas tentativas de controle por esmagamento e rompimento da concha calcária têm sido feitas utilizando-se um rolo pesado, feito com pneus cheios de água, tracionado pelo trator sobre a área infestada, após a colheita ou antes da semeadura.

Grilos também podem ser controlados por certos ingredientes ativos pulverizados à noite ou ao final do dia. Estas aplicações, desde que repetidas, além de tóxicas, também podem ter efeito repelente sobre grilos, protegendo as plantas, permitindo que cresçam e escapem do período de maior risco de dano.

Piolhos-de-cobra (milípodos) são pragas eventuais que ocorrem em situações bem específicas e, geralmente, de forma localizada. Normalmente, sua presença na lavoura é percebida apenas através dos sintomas e danos que provocam, logo após a semeadura. Por serem pragas tipicamente residentes, de ciclo longo e com pouca mobilidade, o controle pode ser feito com inseticidas aplicados no solo, via tratamento de sementes ou no sulco de semeadura.

5. Considerações finais

O SPD contribuiu para dar mais sustentação técnica, econômica e ambiental à produção de grãos nas diversas regiões brasileiras onde tem sido implantado. Por se tratar de um conjunto de práticas que engloba tanto o manejo do solo como de plantas, impacta positiva ou negativamente na dinâmica populacional da fauna de invertebrados associada. Nesse sentido, promove alterações no número de indivíduos e de espécies pragas e de organismos benéficos, incluindo inimigos naturais das pragas e organismos saprófagos e decompositores de matéria orgânica os quais contribuem para a melhoria de atributos químicos, físicos e biológicos do solo.

Embora o efeito do plantio direto seja maior nas pragas que vivem no solo, subterraneamente ou na superfície, certas pragas da parte aérea das plantas também podem ser influenciadas, de forma direta (casos em que vivem ou passam um longo período, mesmo sem se alimentar, no solo) ou indiretamente, por efeito de outros componentes do sistema, como a presença da palha e a sucessão de culturas empregada. A experiência existente até o momento mostra que a ocorrência de espécies de pragas que já existiam em sistemas convencionais de preparo do solo, especialmente pragas que vivem e se alimentam da parte aérea das plantas, não foi alterada pelo SPD.

Os métodos de controle de pragas usados no SPD não diferem substancialmente dos empregados no sistema convencional de cultivo, exceto aqueles que envolvem o revolvimento do solo. Embora a palhada possa dificultar o monitoramento de algumas pragas, o SPD promove diversificação e equilíbrio do agroecossistema que favorecem o manejo de pragas, através do uso racional, planejado e integrado dos meios de controle disponíveis, visando otimizar o controle biológico natural.

Homenagem in memoriam

Os autores prestam tributo ao entomologista Dirceu Neri Gassen, um dos pioneiros no estudo das pragas associadas ao solo e entusiasta do sistema plantio direto, reconhecendo a sua imensurável contribuição ao avanço do conhecimento e à difusão de tecnologias nestas áreas. Gassen também se destacou quanto ao talento e à paixão pela fotografia. Algumas das imagens que deixou ilustram e qualificam este capítulo e, ao mesmo tempo, materializam nossa justa e merecida homenagem.

REFERÊNCIAS

AGROFIT. 2022 (<http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons>.)

ALBUQUERQUE, F. A.; SILVA, C. B. S.; BECCHI, L. K. Eficácia de Durivo no controle de piolho-de-cobra, *Julus hesperus* (Diplopoda) em soja. In: REUNIÃO SUL-BRASILEIRA SOBRE PRAGAS DE SOLO, 12., 2011, Piracicaba. **Programa e livro de resumos**. Piracicaba, 2011. p. 91.

ARNEMANN, J. A.; WALSH, T. K.; GORDON, K. H. J.; BRIER, H.; GUEDES, J. V. C. Complete mitochondrial genome of the soybean stem fly *Melanagromyza sojae* (Diptera: Agromyzidae). **Mitochondrial DNA Part A - DNA Mapping, Sequencing, and Analysis**, v. 27, n. 6, p. 4534-4535, 2016.

ÁVILA, C. J. Diagnóstico de pragas de solo no estado de Mato Grosso do Sul. In: REUNIÃO SUL - BRASILEIRA SOBRE PRAGAS DE SOLO, 9, 2005, Balneário Camboriú-SC. **Anais e Ata**. Itajaí-SC: Epagri/EEI, 2005. p. 30-34.

ÁVILA, C. J.; GOMEZ, S. A. **Efeito de inseticidas aplicados nas sementes e no sulco de semeadura, na presença do coró-da-soja, *Phyllophaga cuyabana***. Dourados, Embrapa Agropecuária Oeste, 2003. 28p. (Embrapa CPAO. Documentos, 55).

ÁVILA, C. J.; PANIZZI, R. A. Occurrence and damage of *Dichelops (Neodichelops) melacanthus* (Dallas) (Heteroptera: Pentatomidae) on corn. **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, v. 24, p. 193-194, 1995.

ÁVILA, C. J.; SANTOS, V. **Corós associados ao sistema plantio direto no Estado de Mato Grosso do Sul**. Dourados, MS: Embrapa Agropecuária Oeste, 2009. 32 p. (Documento 101).

ÁVILA, C. J.; OLIVEIRA, C. M.; MOREIRA, S. C. S.; BIANCO, R. TAMAI, M. A. A cigarrinha *Dalbulus maidis* e os enfezamentos do milho no Brasil. **Cultivar Grandes Culturas**, n.182, p.18-25, 2021.

ÁVILA, C. J.; VIVAN, L. M.; SANTOS, V. Controle do coró *Liogenys fusca* (Blanchard) (Coleoptera: Melolontidae) com inseticidas aplicados nas sementes e no sulco de semeadura da soja (*Glycine max*). **BioAssay**, v. 9, n. 2, p. 1-7, 2014.

ÁVILA, C. J.; XAVIER, L. M. S.; GÓMEZ, D. S. Ocorrência, Flutuação Populacional, Distribuição Vertical no Solo e Controle do Percevejo Castanho da Raiz, *Scaptocoris* spp. (Hemiptera: Cydnidae) na Cultura do Algodoeiro, em Mato Grosso do Sul. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**. Dourados, MS: Embrapa Agropecuária Oeste, 2009.

BIANCO, R. Estratégias de monitoramento e manejo de percevejos nas fases iniciais de desenvolvimento do milho safrinha. In: XIV CONGRESSO NACIONAL DO MILHO SAFRINHA, 2017, Cuiabá, MT. **Anais...** Cuiabá: Associação Brasileira de Milho e Sorgo, 2017. p. 220-239.

BIANCO, R. Diagnóstico da situação das pragas de solo no Estado do Paraná. In: REUNIÃO SUL-BRASILEIRA SOBRE PRAGAS DE SOLO, 12., 2011, Piracicaba. **Programa e livro de resumos**. Piracicaba. 2011. p. 32-37.

BIANCO, R. Manejo de Pragas do Milho em Plantio Direto. In: REUNIÃO ITINERANTE DE FITOSSANIDADE DO INST. BIOLÓGICO. Grãos, 11.; Encontro de Fitossanidade do Plantio Direto na Palha do Clube Amigos da Terra de Aguai, 1, 2005, Aguai-SP. **Anais...** Aguai: Inst. Biológico, 2005a. p. 8-17.

BIANCO, R. Ocorrência de pragas no plantio direto x convencional. In.: FANCELLI, A. **Atualização em plantio direto**. Campinas: Fundação Cargill, 1985. p. 183-193.

BIANCO, R. O percevejo barriga verde no milho e no trigo em plantio direto. **Revista Plantio Direto**, ano XV, n. 89, p. 46-51, 2005b.

CAVALHEIRO, B. M. **Danos dos percevejos *Dichelops melacanthus* na soja e *Euschistus heros* no milho, em dois estádios de desenvolvimento das culturas**. 2021. 70p. Dissertação (Mestrado em Entomologia e Conservação da Biodiversidade) – Universidade Federal da Grande Dourados - UFGD, Dourados.

CHERMAN, M. A.; SANTOS, V.; COUTINHO, G. F.; ÁVILA, C. J. Coró-do-milho. In: SALVADORI, J. R.; ÁVILA, C. J.; SILVA, M. T. B. (Ed.). **Pragas de solo no Brasil**. 2.ed. Passo Fundo: Aldeia Norte, 2020. Cap. 10, p. 251-267.

CHERMAN, M. A.; GUEDES, J. V. C.; MORÓN, M. A.; PRÁ, E. D.; PERINI, P. R.; JUNG, A. H. First record of species of *Liogenys* (Coleoptera, Melolonthidae) associated with winter grain crops in Rio Grande do Sul (Brazil). **Revista Brasileira de Entomologia**, v. 55, n. 4, p. 618-620, 2011.

CHIARADIA. Lesmas e caracóis. In: SALVADORI, J. R.; ÁVILA, C. J.; SILVA, M. T. B. (Ed.). **Pragas de solo no Brasil**. 2.ed. Passo Fundo: Aldeia Norte, 2020. Cap. 26, p. 609-628.

CHOCOROSQUI, V. R. **Bioecologia de *Dichelops melacanthus* (*Diceraeus*) (Dallas, 1851) (Heteroptera: Pentatomidae), danos e controle em soja, milho e trigo no Norte do Paraná**. 2001. 158p. Tese (Doutorado em Entomologia) – Universidade federal do Paraná, Curitiba.

CHOCOROSQUI, V. R.; PANIZZI, A. R. Impact of cultivation system on *Dichelops melacanthus* (Dallas) (Heteroptera: Pentatomidae) population and damage and its chemical control on wheat. **Neotropical Entomology**, v. 33, n. 4, p. 487-492, 2004.

COKL, A.; NARDI, C.; BENTO, J. M. S.; HIROSE, E.; PANIZZI, A. R. Transmission of stridulatory signals of the burrower bugs, *Scaptocoris castanea* and *Scaptocoris carvalhoi* (Heteroptera: Cydnidae) through the soil and soybean. **Physiological Entomology**, v. 31, n. 4, p. 371-381, 2006.

CORSEUIL, E.; CRUZ, F. Z.; MEYER, L. M. C. **Insetos nocivos à cultura da soja no Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: UFRGS, 1974. 36p.

CORSO, I. C. Efeito de inseticidas sobre populações de piolho-de-cobra (Classe: Diplopoda; Ordem: Julida). In: REUNIÃO SUL-BRASILEIRA DE INSETOS DE SOLO, 3., 1991, Chapecó. **Ata...** Chapecó: EMPASC - Centro de Pesquisa para Pequenas Propriedades, 1991. p. 13.

COSTA, R. B.; FERNANDES, P. M.; MORÓN, M. A.; OLIVEIRA, L. J.; SILVA, E. A.; BARROS, R. G. Bioecologia de corós no sistema de sucessão soja-milho safrinha. In: SARAIVA, O. F. (Org.). **Resultados de pesquisa da Embrapa Soja - 2003: entomologia**. Londrina: Embrapa Soja, 2004. p. 47-48. (Embrapa Soja. Documentos, 245).

CZEPAK, C.; NUNES, M. S.; CARVALHAIS, T.; ANJOS, M. V.; SILVERIO, R. F.; LIMA, P. B. S. O.; GODINHO, K. C. A.; LIMA JUNIOR, A.M.; COELHO, R. M. S.; GONTIJO, P. C. First record of the soybean stem fly *Melanagromyza sojae* (Diptera: Agromyzidae) in the Brazilian Savannah. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 48, n. 2, p. 200-203, 2018.

DOMICIANO, N. L.; FONTES, A. R. Amostragem, e combate químico via tratamento de sementes, do mílípode *Plusioporus setifer* infestando soja no agroecossistema de "plantio direto". In: REUNIÃO SUL-BRASILEIRA SOBRE PRAGAS DE SOLO, 8., 2001, Londrina. **Anais...** Londrina: Embrapa Soja, 2001. p. 262-266. (Embrapa Soja. Documentos, 172).

DE ANGELIS, S. **Controle do percevejo castanho [*Scaptocoris castanea* Perty, 1830 (Hemiptera: Cydnidae)] na cultura da soja (*Glycine max* (L.) Merrill)**. 2002. 74p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de São Paulo, Botucatu.

DUARTE, M. M.; ÁVILA, C. J.; ROHDEN V. S. **Nível de Dano do Percevejo Barriga-Verde *Dichelops melacanthus* na Cultura do Trigo *Triticum aestivum* L.** Embrapa Agropecuária Oeste, 2010. (Comunicado Técnico, 159). 4p.

DUARTE, M. M.; ÁVILA, C. J.; SANTOS, V. Danos e nível de dano econômico do percevejo barriga-verde na cultura do milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 14, n. 3, p. 291-299, 2015.

FAVA, F. D.; IMWINKELRIED, J. M.; TRUMPER, E. V. Nuevo gusano blanco en la soja. Recomendaciones preliminares para su manejo. In: **Jornada Técnica "Soja – Maíz 2008"**. Manfredi: INTA-EEA Manfredi, 2008. p. 37-39. (Capacitación Técnica, 3).

FERNANDES, P. H. R.; ÁVILA, C. J.; SILVA, I. F.; ZULIN, D. Damage by the green-belly stink bug to corn. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 55, e01131, 2020a.

FERNANDES, P. M.; OLIVEIRA, L. J.; ANDRADE, R. S.; RIZENTAL, M. Percevejos-castanhos. In: SALVADORI, J. R.; ÁVILA, C. J.; SILVA, M. T. B. (Ed.). **Pragas de solo no Brasil**. 2.ed. Passo Fundo: Aldeia Norte, 2020b. Cap. 23, p. 257-570.

GASSEN, D. N. Benefícios de escarabeídeos em lavouras sob plantio direto. In: **Siembra directa en el Cono Sur**. Diaz Rossello, R. (Ed.), PROCISUR, Montevideo. 2001, p. 450.

GASSEN, D. N. Corós associados ao sistema plantio direto. In: **Plantio direto no Brasil**. Ed. Aldeia Norte, Passo Fundo, RS. 1993b. p. 141-149.

GASSEN, D. N. Estratégias de manejo de pragas sob plantio direto. In: Congresso nacional de Siembra directa, 5. Manual de trabajos presentados. In: TRUCCO, V. (Ed.). AAPRESID, Córdoba, 1996a. p. 253-278.

GASSEN, D. N. Grilos em lavouras sob plantio direto: é hora de monitorar. **Revista Plantio Direto**. Passo Fundo, n. 57, p. 13-15, 2000.

GASSEN, D. **Manejo de pragas associadas à cultura do milho**. Ed. Aldeia Norte, Passo Fundo, RS. 1996b. 134 p.

GASSEN, D. N. Manejo de pragas no sistema plantio direto. In: **Plantio direto no Brasil**. Ed. Aldeia Norte, Passo Fundo, RS. 1993a. p. 129-140.

GASSEN, D. N.; BRANCO, J. P.; SANTOS, D. C. Observações sobre controle de *Phytalus sanctipauli* (Col., Melolonthidae), coró do trigo. In: EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Trigo. **Resultados de pesquisa do Centro Nacional de Pesquisa de Trigo apresentados na XIII RENAPET**. Passo Fundo, 1984. p. 120-127.

GASSEN, D. N.; SCHNEIDER, S.; ALMEIDA, E. Ocorrência de *Melanagromyza* sp. (Dip. Agromyzidae) danificando soja no sul do Brasil. In: REUNIÃO DE PESQUISA DA SOJA DA REGIÃO SUL, 13., 1985, Porto Alegre. **Soja: resultados de pesquisa 1984-85**. Passo Fundo: Embrapa-CNPQ, 1985. p. 108-109.

GOMES, E. C.; HAYASHIDA, R.; BUENO, A. F. *Dichelops melacanthus* and *Euschistus heros* injury on maize: Basis for re-evaluating stink bug thresholds for IPM decisions. **Crop Protection Journal**, 2020. homepage: www.elsevier.com/locate/cropr. 8p

- GOMEZ, S. A. Ocorrência e espacialização iniciais de *Sternechus subsignatus* Boheman em Mato Grosso do Sul. In: REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO CENTRAL DO BRASIL, 22., 2000, Cuiabá. **Resumos...** Londrina: Embrapa Soja, 2000, p. 55-56. (Embrapa Soja. Documentos, 144).
- GRAZIA, J.; SCHWERTNER, F.; SILVA, E. J. E. Arranjos taxonômicos e nomenclaturais em Scaptocorini (Hemiptera: Cydnidae, Cephaloectenidae). **Neotropical Entomology**, v. 33, p. 511-512, 2004.
- GUARIDO, G. Ocorrência de caramujos em Campo Mourão, PR. In: REUNIÃO SUL-BRASILEIRA SOBRE PRAGAS DE SOLO, 10., 2007, Dourados. **Anais e ata...** Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2007, p. 79-81. (Embrapa Agropecuária Oeste. Documentos, 88).
- GUEDES, J. V. C.; FERREIRA, D. N. M.; LOFEGO, A. C.; DEQUECH, S. T. B. Ácaros associados à soja no Rio Grande do Sul. **Neotropical Entomology**, v. 36, p. 288-293, 2007.
- GUEDES, J. V. C.; CURIOLLETTI, L. E.; BECHE, M.; ARNEMANN, J. A. Mosca-da-haste. **Cultivar Grandes Culturas**, v. 197, p. 28-30, 2015.
- HOFFMANN-CAMPO, C. B.; OLIVEIRA, L. J.; MOSCARDI, F.; CORRÊA-FERREIRA, B. S.; CORSO, I. Pragas que atacam plântulas, hastes e pecíolos soja. In: HOFFMANN-CAMPO, C. B.; CORRÊA-FERREIRA, B. S.; MOSCARDI, F. (Ed.). **Soja: manejo integrado de insetos e outros artrópodes-praga**. Londrina: Embrapa Soja, 2012. Cap. 3, p. 145-212.
- HOFFMANN-CAMPO, C. B.; PARRA, J. R. P.; MAZZARIN, R. M. Ciclo biológico, comportamento e distribuição estacional de *Sternechus subsignatus* Boheman, 1836 (Coleoptera: Curculionidae) em soja, no norte do Paraná. **Revista Brasileira de Biologia**, v. 51, p. 615-621, 1991.
- HOFFMANN-CAMPO, C. B.; SILVA, M. T. B.; OLIVEIRA, L. J. **Aspectos biológicos e manejo integrado de *Sternechus subsignatus* na cultura da soja**. Londrina: Embrapa Soja, 1999. 32p. (Embrapa Soja. Circular Técnica, 22).
- LEITE, L. G.; DELALIBERA JUNIOR, I.; ALMEIDA, J. E. M.; TONELLI, M.; BATISTA FILHO, A. Controle microbiano de pragas de solo. In: SALVADORI, J. R.; ÁVILA, C. J.; SILVA, M. T. B. (Ed.). **Pragas de solo no Brasil**. 2.ed. Passo Fundo: Aldeia Norte, 2020. Cap. 4, p. 105-130.
- LINK, D.; COSTA, E. C. Ocorrência e danos causados por larvas de *Delia platura* (Meigen, 1826) (Diptera: Anthomyiidae) em algumas culturas de importância agrícola. **Revista do Centro de Ciências Rurais**, v.11, n. 1, p. 57-62, 1981.
- LINK, D.; HATCHSBACH, M.; LINK, F. M. Mosca da haste da soja: ocorrência e danos. In: REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO SUL, 37., 2009, Porto Alegre. **Programa e resumos**. Porto Alegre: UFRGS, 2009. p. 135-137.
- LINK, D.; LINK, F. M. Eficiência de alguns inseticidas, em tratamento de sementes, no controle do piolho de cobra, *Julus* sp., na cultura da soja. In: REUNIÃO SUL-BRASILEIRA SOBRE PRAGAS DE SOLO, 8., 2001, Londrina. **Anais...** Londrina: Embrapa Soja, 2001. p. 266-270. (Embrapa Soja. Documentos, 172).
- LORINI, I.; SALVADORI, J. R.; BONATO, E. R. **Bioecologia e controle de *Sternechus subsignatus* Boheman, 1836 (Coleoptera: Curculionidae) para da cultura da soja**. Passo Fundo: Embrapa-CNPT, 1997. 38p. (Embrapa-CNPT. Documentos, 40).

LORINI, I.; SECHI, V. A.; SALVADORI, J. R.; GASSEN, D. N.; LORINI, M. Levantamento da ocorrência de *Sternechus subsignatus* no Rio Grande do Sul. In.: EMBRAPA. Centro nacional de Pesquisa de Trigo (Passo Fundo, RS). **Soja**: resultados de pesquisa 1990-1991. Passo Fundo: Embrapa-CNPQ, 1991. p. 84-96. Trabalho apresentado na XIX Reunião de Pesquisa de Soja da Região Sul, Pelotas, 1991.

LOURENÇÃO, A. L.; NAGAI, M. A. C. Surtos de *Bemisia tabaci* no Estado de São Paulo. **Bragantia**, v. 53, p. 53-59, 1994.

MALAGUIDO, A. B.; OLIVEIRA, L. J. Efeito do preparo de solo com grade aradora sobre a população do percevejo-castanho-da-raiz, *Scaptocoris castanea* (Het.: Cydnidae). In: REUNIÃO SUL-BRASILEIRA SOBRE PRAGAS DE SOLO, 8, 2001, Londrina. **Anais...** Londrina: Embrapa Soja, 2001. p. 227-231.

MORAES, G. J.; FLECHTMANN, C. H. W. **Manual de acarologia: acarologia básica e ácaros de plantas cultivadas no Brasil**. Editora Holos, Ribeirão Preto, 308p, 2008.

MORON, M. A. Melolontídeos e cetoniídeos edafícolas. In: SALVADORI, J. R.; ÁVILA, C. J.; SILVA, M. T. B. (Ed.). **Pragas de solo no Brasil**. 2.ed. Passo Fundo: Aldeia Norte, 2020. Cap. 5, p. 131-166.

MOSCARDI, F.; BUENO, A. F.; SOSA-GOMEZ, D. R.; ROGGIA, S.; HOFMANN-CAMPO, C. B.; POMARI, A. F.; CORSO, I. C.; YANO, S. A. C. Artrópodes que atacam as folhas da soja. In.: HOFMANN-CAMPO, C. B.; CORREA-FERREIRA, B. S.; MOSCARDI, F. (Ed.). **Soja: manejo integrado de insetos e outros artrópodes-praga**. Londrina: Embrapa Soja, 2012. Cap. 4, p. 231-334.

NAKANO, O.; MARINHO, J. A. A. "*Julus hesperus*" um inimigo potencial para cultura da soja. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo, v. 14, n. 83, p. 43-43, 2004.

NASCIMENTO, V. L.; MIRANDA, J. E.; MALAQUIAS, J. B.; CARVALHO, M. C. S.; LINS, L. C. P.; PANIAGO, J. Sulphur sources on the management of *Scaptocoris castanea* (Hemiptera: Cydnidae) on cotton. **Revista Colombiana de Entomologia**, v. 40, n. 1, p. 15-20, 2014.

OLIVEIRA, L. J.; MALAGUIDO, A. B. Flutuação e distribuição da população do percevejo castanho da raiz, Perty (Hemiptera: Cydnidae) no solo em regiões produtoras de soja. **Neotropical Entomology**, v. 33, n.3, p. 283-291, 2004.

OLIVEIRA, L. J.; MALAGUIDO, A. B.; NUNES JÚNIOR, J.; CORSO, I. C.; DE ANGELIS, S.; FARIAS, L. C.; HOFFMANN-CAMPO, C. B.; LANTMANN, A. **Percevejo-castanho-da-raiz em sistema de produção de soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2000. 44 p. (Embrapa Soja. Circular Técnica, 28).

OLIVEIRA, C. M.; FRIZZAS, M. R. Coró-da-soja do cerrado. In: SALVADORI, J. R.; ÁVILA, C. J.; SILVA, M. T. B. (Ed.). **Pragas de solo no Brasil**. Passo Fundo: Aldeia Norte, 2020. Cap. 11, p. 267-289.

OLIVEIRA, H. N.; MOREIRA, S. C. S.; ARIAS, C. A. A.; HOFFMANN-CAMPO, C. B.; GARCIA, R. A. Associação positiva. **Cultivar Grandes Culturas**, v. 20, n. 247, p. 10-12, 2019.

OLIVEIRA, L.J. **Ecologia comportamental e de interações com plantas hospedeiras em *Phyllophaga cuyabana* (Moser) (Coleoptera: Melolonthidae, Melolonthinae) e implicações para o seu manejo em cultura de soja**. 1997. UNICAMP, Campinas: UNICAMP,1997.148p. (Tese Doutorado).

OLIVEIRA, L.J. Manejo das principais pragas das raízes da soja. In.: CÂMARA, G. M. S. (Ed.) **Soja: tecnologia da produção II**. Piracicaba: ESALQ, 2000. p. 183-178.

OLIVEIRA, L. J.; SANTOS, B.; PARRA, J. R. P.; HOFFMANN-CAMPO, C. B. Coró-da-soja. In: SALVADORI, J. R.; ÁVILA, C. J.; SILVA, M. T. B. (Ed.). **Pragas de solo no Brasil**. Passo Fundo: Aldeia Norte, 2020. Cap. 7, p. 193-213.

PANIZZI, A. R.; AGOSTINETTO, A.; LUCINI, T.; SMANIOTTO, L. F.; PEREIRA, P. R. V. S. **Manejo integrado dos percevejos barriga-verde, *Dichelops* spp. em trigo**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2015.

PANIZZI, A. R.; CHOCOROSQUI, V. R. Pragas: eles vierem com tudo. **Cultivar Grandes Culturas**. Pelotas, v. 1, p. 8-10, 1999.

PEREIRA, P. R. V. S.; NAVIA, D.; SALVADORI, J. R.; LAU, D. Occurrence of *Aceria tosichella* in Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 5, p. 539-542, 2009.

REUNIÃO DA COMISSÃO-BRASILEIRA DE PESQUISA DE TRIGO, 13., 2020, Passo Fundo. **Informações técnicas para trigo e triticale - safra 2020**. XIII Reunião da Comissão Brasileira de Pesquisa de Trigo e Triticale. Passo Fundo: Biotrigo Genética, 2020. 155 p.

REZENDE, J. M. **Ácaros associados a plantas na região "core" do cerrado e sua influência na acarofauna em cultivos de soja (*Glycine max* (L.) Merrill) (Fabaceae)**. 2011, 156 p. Dissertação (Mestrado em Biologia Animal) - UNESP, São José do Rio Preto, 2011.

RODRIGUES, S. R.; BARBOSA, C. L.; PUKER, A.; ABOT, A. R.; IDE, S. Occurrence, biology and behavior of *Liogenys fuscus* Blanchard (Insecta, Coleoptera, Scarabaeidae) in Aquidauana, Mato Grosso do Sul, Brazil. **Revista Brasileira de Entomologia**, v. 52, n. 4, p. 637-640, 2008.

ROGGIA, S. **Caracterização dos fatores determinantes dos aumentos populacionais de ácaros tetraníquideos em soja**. 2010. 153p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.

ROGGIA, S.; GUEDES, J. V. C.; KUSS, R. C. R.; ARNEMENN, J. A.; NÁVIA, D. Ácaros associados à soja no Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, p. 295-301, 2008.

SALVADORI, J. R. *Phyllophaga triticiphaga*: uma nova espécie de coró. **Revista Plantio Direto**, n. 60, p. 27, 2000.

SALVADORI, J. R. Relação entre insetos-praga e manejo do solo. In: FERNANDES, J. M. C., FERNANDEZ, M. R., KOCHHANN, R. A., SELLES, F., ZENTNER, R. P. **Manual de manejo conservacionista do solo para os Estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná**. EMBRAPA-CNPT/CIDA-Agriculture Canada, Passo Fundo, 1991. p. 43-51.

SALVADORI, J. R.; LORINI, I. Potential insect problems in field crops grown under conservation tillage in Southern Brazil. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ON CONSERVATION TILLAGE FOR SUBTROPICAL AREAS. Passo Fundo, RS, 1990. **Proceedings...** CIDA/EMBRAPA-CNPT. Passo Fundo, RS, 1990. p. 212-217.

SALVADORI, J. R.; OLIVEIRA, L. J. **Manejo de corós em lavouras sob plantio direto**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2001. 88 p. (Embrapa Trigo. Série Documentos, 35).

SALVADORI, J. R.; PEREIRA, P. R. V. S. Danos da cochonilha-branca-da-raiz (Hemiptera: Pseudococcidae) em soja. In: REUNIÃO SUL-BRASILEIRA SOBRE PRAGAS DE SOLO, 9., 2005, Balneário Camboriú. **Anais e ata...** Itajaí: Epagri - Estação Experimental de Itajaí, 2005. p. 141-142. (Embrapa Soja. Documentos, 172).

- SALVADORI, J. R.; PEREIRA, P. R. V. S. **Manejo integrado de corós em trigo e culturas associadas**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2006. 9 p. html. (Embrapa Trigo. Comunicado Técnico Online, 203).
- SALVADORI, J. R.; SILVA, M. T. B. Coró-do-trigo. In: SALVADORI, J. R.; ÁVILA, C. J.; SILVA, M. T. B. (Ed.). **Pragas de solo no Brasil**. 2.ed. Passo Fundo: Aldeia Norte, 2020. Cap. 9, 233-250.
- SALVADORI, J. R.; SUZANA, C. S. Pragas da cultura da aveia. **Revista Plantio Direto**, n. 178, p. 15-21, 2020.
- SALVADORI, J. R.; TIBOLA, C. M. Controle Biológico de Pragas: dos livros para o campo. **Revista Plantio Direto**, n. 176, p. 8-13, 2020.
- SALVADORI, J. R.; ÁVILA, C. J.; SILVA, M. T. B. (Ed.). **Pragas de solo no Brasil**. 2.ed. Passo Fundo: Aldeia Norte, 2020. 628 p.
- SALVADORI, J. R.; GASSEN, D. N.; LORINI, I. Soil dwelling insect pests in annual crops in southern Brazil. In: INTERNATIONAL PLANT PROTECTION CONGRESS, 12., 1991, Rio de Janeiro. **Plenary lectures and symposia; programs and abstracts**. Rio de Janeiro: MARA; Embrapa; CNPq; FINEP; FBB; Fundo Andorinha Púrpura; ANDEF, 1991. 1 v., não paginado.
- SALVADORI, J. R.; OLIVEIRA, L. J.; TONET, G. L. Pragas de solo: evolução e manejo. **Cultivar**, n. 44, p. 18-22, 2002.
- SALVADORI, J. R.; PEREIRA, P. R. V. S.; CORRÊA-FERREIRA, B. S. **Pragas ocasionais em lavouras de soja no Rio Grande do Sul**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2007. 34p. (Embrapa Trigo. Comunicado Técnico Online, 26).
- SANTOS, B. **Bioecologia de *Phyllophaga cuyabana* (Moser 1918) (Coleoptera: Scarabaeidae), praga do sistema radicular da soja [*Glycine max* (L.) Merrill, 1917]**. Piracicaba: ESALQ/USP, 1992. 111 p. (Dissertação Mestrado).
- SILVA, A. L.; SILVA, A. J.; SOARES, W. R. O.; FERNANDES, P. M.; GARCIA, R. M. Ação de inseticidas sobre o percevejo-castanho-da-raiz *Scaptocoris castanea* Perty (Hemiptera: Cydnidae) e seu efeito no desenvolvimento e na produtividade da cultura do milho. **BioAssay**, v. 8, n. 6, p. 1-7, 2013.
- SILVA, F. B.; MULLER, C.; BELLO, V. H.; WATANABE, L. F. M.; DE MARCHI, B. R.; FUSCO, L. M.; RIBEIRO-JUNIOR, M. R.; MINOZZI, G. B.; VIVAN, L. M.; TAMAI, M. A.; FARIAS, J. R.; NOGUEIRA, A. M.; SARTORI, M. M. P.; SAKATE, R. K. Effects of cowpea mild mottle virus on soybean cultivars in Brazil. **Peer J**, 8: e9828 DOI 10.7717/peerj.9828, 2020.
- SILVA, M. T. B. Níveis de controle de *Diloboderus abderus* (Sturm) em trigo no plantio direto. **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, Londrina, v. 26, n. 3, p. 435-440, 1997.
- SILVA, M. T. B.; COSTA, E. C. Nível de controle de *Diloboderus abderus* em aveia preta, linho, milho e girassol. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 32, n. 1, p. 7-12, 2002.
- SILVA, M. T. B.; SALVADORI, J. R. Coró-das-pastagens. In: SALVADORI, J. R.; ÁVILA, C. J.; SILVA, M. T. B. (Ed.). **Pragas de solo no Brasil**. 2.ed. Passo Fundo: Aldeia Norte, 2020. Cap. 8, p. 215-232.

SILVA, M.T.B. da; TARRAGÓ, M. F. S.; LINK, D. Preferência de oviposição de *Diloboderus abderus* (Sturm) por restos de culturas em solo com plantio direto. **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, Londrina, v. 25, n. 1, p. 83-87, 1996.

SOSA-GOMEZ, D. R.; CORREA-FERREIRA, B. S.; HOFMANN-CAMPO, C. B.; CORSO, I. C.; OLIVEIRA, L. J.; PANIZZI, A. R.; MOSCARDI, F.; BUENO, A. F.; HIROSI, E. **Manual de identificação de insetos e outros invertebrados da cultura da soja**. Londrina: Embrapa-CNPSo, 2010. 90 p. (Embrapa-CNPSo. Documentos, 269).

SOUZA, E. A.; FROHLICH, W. F.; KIMURA, M. T.; MEDEIROS, M. O. Análise comparativa da população adulta de *Scaptocoris carvalhoi* Becker, 1967 (Hemiptera, Cydnidae) em pastagens de *Urochloa* spp. associadas a dois sistemas de preparo do solo. **Biodiversidade**, v. 14, n. 3, p. 131-145, 2015.

SOUZA, E. A.; MORAES, J. C.; AMARAL, J. L.; LIBERATO, R. D.; BONELLI, E. A.; LIMA, L. R. Efeito da aplicação de silicato de cálcio em *Brachiaria brizantha* cv. Marandu sobre a população de ninfas do percevejo castanho das raízes *Scaptocoris carvalhoi* Becker, 1967, características químicas do solo, planta e produção de matéria seca. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, n. 6, p. 1518-1526, 2009.

SOUZA, J. C.; SOUZA, M. A. **Besourinho-das-plântulas: nova praga importante e ocasional do milho em Plantio direto no sul de Minas**. Lavras: EPAMIG-CTSM, 2002. 3 p. (EPAMIG-CTSM, Circular Técnica, 142).

QUINTELA, E. D. Voo nefasto. **Cultivar Grandes Culturas**, ed. 16, n. 195, p. 28-30, 2015.

TAMAI, M. A. **Tamanduá-da-soja: o problema aumenta na Coaceral**. Informaiba, Barreiras, n.122, 2005.

TAMAI, M. A.; HOFFMANN-CAMPO, C. B.; MARTINS, M. C.; LOPES, P. V. L.; ANDRADE, N. S.; ALMEIDA, N. S.; SILVA FILHO, J. L. Efeito de operações de preparo de solo em pós-colheita sobre larvas hibernantes de *Sternechus subsignatus*. In: REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO CENTRAL DO BRASIL, 27, Cornélio Procópio, 2005. **Resumos...** Londrina: Embrapa Soja, 2005. p.123-124. (Embrapa Soja. Documentos, 257).

TAMAI, M. A.; MARTINS, M. C.; BREDA, C. E. Produtor precisa ficar atento à cigarrinha do milho. **Aiba Rural**, n.6, p. 42-43, 2016.

TAMAI, M. A.; MARTINS, M. C.; LOPES, P. V. L. **Perda de produtividade em cultivares de soja causada pela mosca-branca no cerrado brasileiro**. Bahaia: Fundação BA, 2006a. (Fundação BA. Comunicado Técnico, 21).

TAMAI, M. A.; MARTINS, M. C.; LOPES, P. V. L.; PORAZZI, L. A.; TEDESCO, E.; ZAPPE, L. Avaliação do inseticida Cruiser® 350FS (thiametoxan), aplicado no tratamento de sementes, para o controle de *Sternechus subsignatus*, no cerrado baiano. In: REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO CENTRAL DO BRASIL, 28, Uberaba, 2006. **Resumos...** Londrina: Embrapa Soja; Fundação Meridional; Fundação Triângulo, 2006b. p.63-65. (Embrapa Soja. Documentos, 272).

TAMAI, M. A.; MARTINS, M. C.; SANTOS, D. P.; SANTOS, A. F. M.; PAES, J. P. S.; OLIVEIRA, J. C.; SILVA, F. C.; CAETANO, A. J. C. Dupla perversa. **Cultivar Grandes Culturas**, n.258, p.33-35, 2020.

TONET, G. E. L.; GASSEN, D., N.; SALVADORI, J. R. Estresses ocasionados por pragas. In.: BONATO, E. R. (Ed.). **Estresses em soja**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2000. p. 201-253.

VALMORBIDA, I.; CHERMANN, M. A.; PERINI, C. R.; CAVALLIN, L. A.; GUEDES, J. V. C. Population analysis of white grubs (Coleoptera: Melolonthidae) throughout the Brazilian Pampa biome. **Revista Brasileira de Entomologia**, v. 62, n. 4, p. 275-282, 2018.

VASCONCELOS, F. S.; OLIVEIRA, N. C.; MOTERLE, L. M. Danos foliares do percevejo *Euschistus heros* em plântulas de milho. **Campo Digital: Revista Ciências Exatas e da Terra e Ciências Agrárias**, v. 9, n. 2, p. 66-72, 2014.

VIANA, P. A. **Effect of soil moisture, substrate color and smoke on the population dynamics and behavior of the lesser cornstalk borer, *Elasmopalpus lignosellus* Zeller 1848 (Lepidoptera: Pyralidae)**. 1981. 120 p. Dissertação (Mestrado) - Purdue University, West Lafayette.

VIANA, P. A.; MENDES, S. M. Lagarta-elasma. In: SALVADORI, J. R.; ÁVILA, C. J.; SILVA, M. T. B. da (Ed.). **Pragas de solo no Brasil**. 2. ed. Passo Fundo: Aldeia Norte, 2020. Cap. 20, p. 471-502.

VIVAN, L. M.; NARDI, C.; GRAZIA, J.; BENTO, J. M. Description of the Immatures of *Scaptocoris carvalhoi* Becker (Hemiptera: Cydnidae). **Neotropical Entomology**, v. 42, p. 288-292, 2013.

XAVIER, L. M. S.; ÁVILA, C. J. Patogenicidade de isolados de *Metarhizium anisopliae* (Metsch.) Sorokin e de *Beauveria bassiana* (Bals.) Vuillemin a *Scaptocoris carvalhoi* Becker (Hemiptera, Cydnidae). **Revista Brasileira de Entomologia**, v. 50, n. 4, p. 540-546, 2006.

Sistemas de produção de lavouras extensivas em Plantio Direto: cereais de inverno

Dr. João Leonardo Fernandes Pires e Dr. Gilberto Rocca da Cunha

O Sistema Plantio Direto (SPD) tem como um dos principais pressupostos, o não revolvimento prévio do solo, a redução do intervalo entre a colheita e a semeadura da cultura subsequente e a diversificação de espécies, de benefício econômico ou ambiental, utilizadas no arranjo de sucessão/rotação/consorciação de culturas. Entre essas espécies, visando a diversificação de culturas e a intensificação dos cultivos, merece destaque o potencial de uso de cereais de inverno, como aveias, centeio, cevada, trigo e triticale. Apesar de caracterizadas como cereais de clima temperado, essas culturas podem ser cultivadas em diversas regiões, desde o Sul até o centro do País (com algumas experiências em andamento no Nordeste). O uso dos cereais de inverno para a produção de grãos, forragem ou duplo propósito (forragem e grãos) permite diversidade e flexibilidade de funções de uso dessas espécies no Sistema Plantio Direto. O nível de conhecimento, materializado em tecnologias disponíveis para uso, possibilita a obtenção de rendimento elevados de grãos e de forragem (para pastejo ou uso na forma conservada) com competitividade e sustentabilidade. Entretanto, é fundamental que as tecnologias de produção (genética e práticas de manejo) sejam adequadamente escolhidas, com adaptações para cada região produtora/sistema de produção. Atualmente, estão disponíveis, de forma consolidada, indicações técnicas para suporte ao manejo das culturas da aveia, da cevada, do trigo e do triticale (Reunião..., 2014; Reunião..., 2019; Reunião..., 2020). Essas culturas possuem Comissões (nacionais ou regionais) formadas por instituições/empresas de pesquisa, ensino e assistência técnica que discutem (anualmente ou bienalmente) os resultados de pesquisa gerados

no País e validam tecnologias para uso nas lavouras. Além do manejo das lavouras de cada cultura individualmente, há estudos e conhecimento aplicado sobre a interação dos cereais de inverno com outras culturas/animais em sistemas integrados de produção (lavoura e pecuária, lavoura e floresta e lavoura, pecuária e floresta). Algumas culturas possuem maior potencial de utilização (sistemas de produção e/ou modelos de negócio) do que outras. O trigo, por exemplo, possui diversas possibilidades de uso, relacionadas aos sistemas de produção regionais ou às oportunidades de mercado. Na sequência estão listadas algumas possibilidades de uso do trigo nos sistemas de produção agrícola brasileiro.

Integração Lavoura-Pecuária:

- Trigo para silagem;
- Trigo para pastejo; e
- Trigo duplo propósito (forragem e colheita de grãos).

Produção de grãos:

- Trigo Melhorador;
- Trigo Pão;
- Trigo branqueador (especialmente Pão);
- Trigo para produção de biscoito;
- Trigo padrão exportação (África/Ásia); e
- Trigo para uso ração.

No caso da cevada, o cultivo, atualmente, está associado a regiões com aptidão e com estrutura de fomento e recebimento de cevada cervejeira. Isso, por um lado, pode qualificar a produção pela especialização de produtores, por outro, pode limitar a expansão de área cultivada. O rápido desenvolvimento inicial das plantas de cevada está proporcionando seu uso também para silagem de planta inteira. Os grãos de cevada podem ser utilizados como fonte de energia e proteína para a alimentação animal.

O triticale, espécie que, em tempos relativamente recentes, mereceu a expectativa de ser o “milho de inverno”, tem o seu cultivo realizado em área aquém do potencial de uso. Seja na composição de ração para suínos e aves, na produção de etanol amiláceo ou, até mesmo, em produtos específicos para consumo humanos (massas para biscoito e pizza, por exemplo), há espaço para aumento na produção e utilização de triticale.

As aveias apresentam potencial para amplo uso e ocupação de área cultivada. A aveia branca está associada, predominantemente, com o fornecimento de grãos para a alimentação animal e a indústria de alimentação humana. Recentemente, a área de aveia (*Avena sativa*) para uso forrageiro (pastejo, silagem e feno) e cobertura de solo está aumentando, inclusive substituindo áreas tradicionais com aveia-preta. A aveia preta é tradicional componente do SPD, com uso para produção de palha e cobertura de solo, servindo, ainda, como opção importante para a rotação de culturas voltada à redução de doenças de outros cereais de inverno, com destaque para as podridões radiculares.

O centeio, atualmente, tem área de cultivo bastante diminuta no Brasil. Tem potencial de uso na produção de grãos para fabricação de farinha usada na produção de pães e, pela produção de grande quantidade de palha, como cultura que qualifica o SPD.

Dentre os cereais de inverno, a maior área cultivada no País é de trigo, com mais de dois milhões de hectares, seguido de aveia branca com cerca de 400 mil ha e de cevada com aproximadamente 100 mil ha (Tabela 1). O rendimento médio de grãos no Brasil, tomando-se como base a safra 2020/2021, é maior na cultura da cevada, seguido de trigo e triticale. A combinação de área e rendimento de grãos proporciona a produção de cerca de seis milhões de toneladas de trigo, cerca de 800 mil toneladas

de aveia branca e 374 mil toneladas de cevada, como destaques. Apesar da produção, especialmente de trigo, os indicadores demonstram que nenhuma dessas culturas atinge, atualmente, a quantidade necessária para atender a demanda nacional. Tal situação é configurada por um conjunto de fatores e pode ser analisada para cada cultura. Entretanto, não estão relacionadas, na maioria das vezes, com a disponibilidade de área que é utilizada para agricultura e/ou falta de tecnologia de produção. Cabe salientar que, na maior parte da área onde os cereais de inverno são cultivados no Brasil o Sistema Plantio Direto ou, no mínimo, a semeadura direta, são adotados (Figura 1).

Tabela 1. Área, rendimento de grãos e produção brasileira dos principais cereais de inverno utilizados em Sistema Plantio Direto no Brasil, safra 2020/2021.

Cultura	Área (1.000 ha)	Rendimento de grãos (kg/ha)	Produção (1.000 t/ha)
Aveia	425,7	1.987	845,7
Centeio	4,7	2.213	10,4
Cevada	103,4	3.621	374,4
Trigo	2.341,5	2.663	6.234,6
Triticale	15,6	2.628	41,0

Fonte: adaptado de Conab (2021).

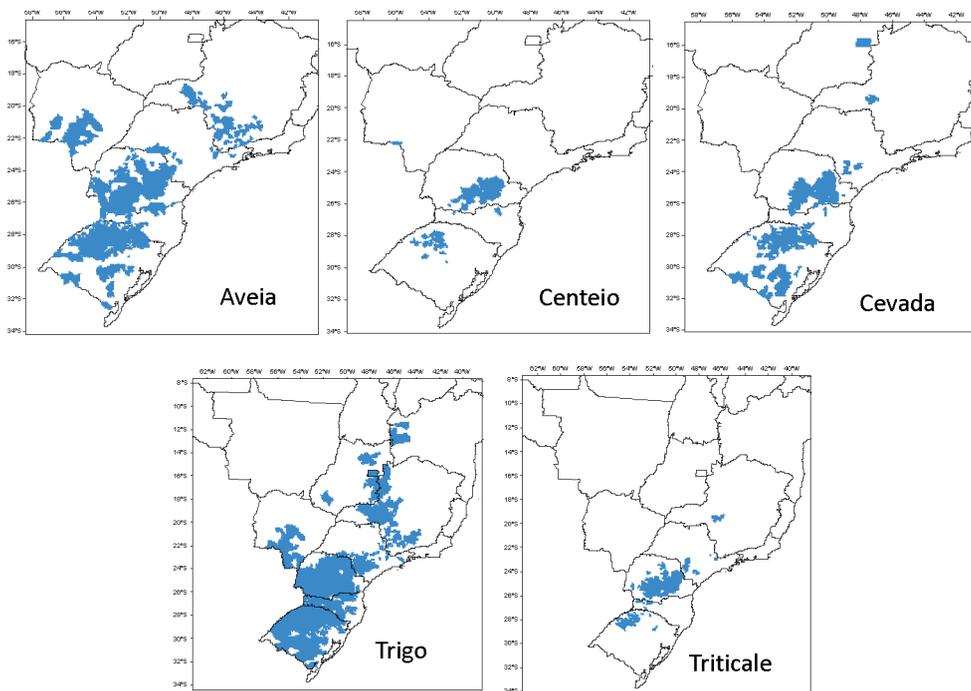


Figura 1. Regiões onde são cultivados cereais de inverno Brasil (pelo menos registro de cultivo em um ano nos últimos cinco anos). Fonte: adaptado de IBGE (2021).

Não há dúvida sobre a possibilidade da expansão do uso dessas culturas em todas as regiões aptas do País. Entretanto, algumas limitações ainda existem. Em algumas situações são de ordem técnica (como a necessidade de maior resistência a brusone e seca, na zona tropical, e à giberela na região temperada, por exemplo) e, em outras, de disponibilidade de insumos (como sementes de cultivares adaptadas em quantidade e qualidade para dar suporte ao aumento de área, especialmente na zona tropical) e ainda da conjuntura de mercado (exigências de qualidade tecnológica, preços praticados e políticas públicas, por exemplo).

Mesmo nas regiões tradicionais de cultivo (sul do Brasil) existe área disponível para expansão do cultivo de cereais de inverno. Avaliando-se dados da Conab (2021) para RS, SC e PR, isso fica evidente, pois, somente 16,2% da área cultivada com culturas de verão (feijão, milho, soja e sorgo na safra 2019/2020) foi utilizada no inverno (aveia, canola, centeio, cevada, trigo e triticale na safra 2020) em áreas agricultáveis. No Brasil-Central (Bioma Cerrado), segundo Pasinato et al. (2018), avaliando a cultura de trigo em sistema sequeiro, acima de 800 m de altitude, 2,7 milhões de hectares foram classificados como favoráveis para a melhor combinação de fatores para a cultura, ou seja, semeadura em 5 de fevereiro, Capacidade de Água Disponível (CAD) de 75 mm, ciclo de 105 dias, nível de risco de 20%, e impactos baixo e moderado. Somente nessa região, e para áreas já agricultáveis, o País tem capacidade de quase dobrar a área atualmente cultivada com trigo (sendo essas mesmas áreas, muitas vezes, compatíveis com o cultivo de outros cereais de inverno). Algumas experiências ocorrem atualmente no Nordeste com a cultura do trigo (Ceará e Bahia, entre outros), com potencial de área utilizável ainda não definido e carecendo de melhor configuração e validação de tecnologia de produção.

Os cereais de inverno têm potencial para beneficiar o SPD por serem alternativas para a atendida necessidade de diversificação de espécies. São componentes importante para a conservação do solo, auxiliam no controle de plantas daninhas, pragas e doenças nos sistemas de rotação/sucessão de cultivos e contribuem para a diluição de riscos e custos. Indiscutivelmente, melhoram a eficiência de uso de insumos, máquinas e mão de obra, com geração de renda, empregos e receita para municípios, estados e União.

Um exemplo da importância dos cereais de inverno em SPD são os efeitos sobre a principal cultura econômica produtora de grãos utilizada no País, a soja. Balbinot Junior et al. (2020), demonstram que a aveia-preta ou o trigo foram capazes de aumentar o rendimento de grãos da soja, na sucessão, em relação ao pousio, devido ao ganho agrônomo proporcionado pela combinação de raízes e palha de aveia-preta ou trigo.

Uma das principais contribuições dos cereais de inverno associadas ao SPD é a produção de elevada quantidade de palha. Uma palhada que se sobressai pelas características de durabilidade e proteção do solo, superiores a outras espécies (Ziech et al., 2015), especialmente Leguminosas e Crucíferas. Em compilação do potencial de produção de matéria seca (MS) de espécies forrageiras para cultivo no sul do Brasil, Panisson et al. (2020) indicam quantidades que variam de 6 a 10,8 t/ha de MS, dependendo da espécie utilizada, quando em cultivo solteiro e chegando a 15 t/ha quando consorciadas. Gazzoni e Floss (2007), avaliando o rendimento de matéria seca de várias espécies/cultivares (na maioria cereais de inverno) em Passo Fundo/RS, obtiveram média de 6.095 kg/ha com amplitude de variação de 3.504 kg/ha (nabo forrageiro) a 10.917 kg/ha (aveia preta cultivar IAPAR 61). Portanto, o potencial de contribuição de cada espécie/cultivar pode ser diferente e essas informações devem ser buscadas ou geradas localmente para melhor utilização das opções disponíveis.

Os cereais de inverno, salvo algumas especificidades, se inserem muito bem nos sistemas de sucessão/rotação de culturas utilizados nas diferentes regiões do Brasil (Tabela 2). Atualmente, estão disponíveis cultivares com ciclos compatíveis com as estações de crescimento do ambiente de produção, levando-se em consideração culturas antecedentes ou em sucessão. Dependendo da região, os recursos de ambiente impõem cuidados e/ou restrições ao cultivo. Cabe destacar a ocorrência de geadas no sul do País e deficiência hídrica e calor no Brasil Central. Esses eventos fazem com que seja necessário ajustar época de semeadura, escolha de cultivares ou, até mesmo, fazer o cultivo em sistemas irrigados para minimizar os efeitos adversos.

Tabela 2. Exemplos de inserção de cereais de inverno nos diferentes sistemas de produção utilizados e regiões brasileiras. Épocas de semeadura e ciclos variam de acordo com a região e estão disponíveis no aplicativo ZARC Plantio Certo (Embrapa, 2019). Outras culturas, cultivo intercalar ou consórcios também são utilizados, dependendo da região/sistema de produção.

Sul do Brasil (sequeiro)

Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Chuva o ano todo											
Soja ou milho ou sorgo ou feijão ou pastagem				Trigo ou aveias ou cevada ou triticale ou centeio ou canola ou nabo ou pastagem				Soja ou milho ou sorgo ou feijão ou pastagem			

Região Tropical/biomas Cerrado e Mata Atlântica (Sequeiro)

Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Chuva			Pouca ou nenhuma chuva				Chuva				
Soja ou milho		Trigo ou milho ou sorgo ou girassol ou pastagem			Pastagem/ cobertura do solo			Soja ou milho			

Região Tropical/ biomas Cerrado e Mata Atlântica (Irrigado)

Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Chuva				Irrigação					Chuva		
Soja ou milho				Trigo ou cevada ou batata ou cenoura ou cebola					Soja ou milho		

Na avaliação de quais as espécies cultivadas antecedem a soja nas diferentes regiões brasileiras, Pessoa et al. (2019) encontraram que as principais opções utilizadas, atualmente, pelos agricultores, com as variações regionais e as oportunidades de crescimento, são: na Região 1 (RS, SC até Centro-Sul do PR), predomina cobertura de trigo (44%), seguida pela aveia (26%) e milho (12%); na Região 2 (Norte do PR, Centro-Sul do MS e Sul de SP) predomina o milho (69%) seguida pelo trigo (13%) e pela aveia (7%); na Região 3 (Norte do MS, Norte de SP, parte do Oeste de MG, Sul de GO e MT) o milho (67%) se destaca seguida pelo milheto (13%) e pelo algodão (5%); e na Região 4 (parte do Oeste de MG, Norte de GO, DF, TO, Oeste da BA, parte do Oeste do Piauí, sul do Maranhão e parte do Leste do Pará) novamente o milho (36%) predomina seguida

pelo milheto (39%) e pela braquiária (7%). Dados que indicam variabilidade intrarregionais e oportunidade de expansão de cultivo para os cereais de inverno.

Nas diferentes regiões do Brasil, os cereais de inverno são parceiros de determinadas culturas e recebem ajustes na escolha de cultivares e época de semeadura para permitir a configuração de sistemas de rotação/sucessão de cultivos. Na Tabela 3 estão alguns exemplos dessas alternativas de uso de cereais de inverno com variações de inserção nos sistemas de produção.

Como sistemas de rotação de período curto para o trigo, com maior rendimento de grãos, menor intensidade de doenças do sistema radicular (Santos et al., 1996, 1998), melhor desempenho energético (Santos et al., 2000b, 2001, 2005, 2010), econômico e de menor risco (Ambrosi et al., 2001; Fontaneli et al., 2000; Santos et al., 2000a, 2002, 2003, 2004), salientaram-se as seguintes seqüências de culturas:

- 1) trigo/soja e ervilhaca/milho ou sorgo;
- 2) trigo/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca/milho;
- 3) trigo/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca + azevém/milho;
- 4) trigo/soja e aveia branca/soja;
- 5) trigo/soja, pastagem de aveia preta + ervilhaca/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca/milho; e
- 6) trigo/soja, aveia branca/soja e ervilhaca/milho ou sorgo.

Na maioria dos trabalhos desenvolvidos com estas seqüências de culturas, os sistemas de rotações com um e dois invernos sem trigo mostraram maior rendimento de grãos e menor intensidade de doenças do sistema radicular, em comparação com a monocultura trigo/soja. Além disso, os sistemas trigo/soja e ervilhaca/milho ou sorgo e trigo/soja, aveia branca/soja e ervilhaca/milho ou sorgo foram mais eficientes no aproveitamento de energia e no retorno econômico e de menor risco para serem utilizados pelos agricultores (Santos et al., 2019).

Um dos principais desafios é fazer uso do outono com culturas produtoras de grãos e/ou que possibilitem melhor cobertura do solo para evitar erosão. Com a busca de precocidade nas culturas de soja e milho (principais culturas utilizadas no verão) e, para algumas regiões, a antecipação de semeadura das culturas de verão, abre-se um período sem cultivos no campo entre a colheita da soja ou milho e a semeadura das culturas de inverno, que tem sua data de semeadura definida pelo regime de geadas em grande parte da região produtora do sul do País. Esse problema é mais grave, principalmente, no período após soja, pela baixa capacidade dessa cultura cobrir o solo e manter palhada sem decomposição. Como opções para minimizar esse problema, podem ser utilizados os próprios cereais de inverno ou outras culturas de ciclo curto, mas que, economicamente e agronomicamente, possam contribuir com o sistema de produção. Um exemplo é o uso de cultivares de trigo de ciclo tardio-precoces semeadas antecipadamente em relação à época de trigos precoces/médios. Pelo ciclo ser longo até o espigamento, é possível utilizar as áreas para pastejo e/ou cobertura do solo, com espigamento ocorrendo somente após a época de maior risco de geadas e, ainda, permitindo a colheita de grãos. Outra opção importante para intensificação de uso do inverno, com fechamento da “janela de pousio” entre a cultura de verão e a de inverno, é o uso de nabo forrageiro intercalar antes do trigo, quando o período entre a semeadura de nabo e trigo é cerca de 90 dias (Reunião, 2004) ou menos, dependendo da cultivar de nabo e região. Avaliando uma série de culturas após soja no Norte do RS, Floss (2008) obteve maior rendimento de grãos de trigo e maior quantidade de palha aportada ao SPD com o uso de nabo e trigo. Tanto a quantidade de grãos, quanto de palha são beneficiadas pela introdução do nabo, que atua na cobertura do solo, reciclagem de nutrientes, melhoria de aspectos físicos do solo, entre outros efeitos benéficos. Essa

Tabela 3. Exemplo de esquema de rotação/sucessão de culturas incluindo cereais de inverno para uma propriedade na região Sul (A) e para uma região de transição entre o clima subtropical e tropical (norte e oeste do Paraná, sudoeste de São Paulo e sul do Mato Grosso do Sul)(B). Soja P = soja ciclo precoce; Soja M = soja ciclo médio.

A) Região Sul do Brasil

Área	Ano					
	1		2		3	
	Verão	Inverno	Verão	Inverno	Verão	Inverno
1	Soja	Aveia preta	Soja	Nabo ou Ervilhaca + Aveia preta	Milho	Nabo/Trigo ou nabo/cevada ou nabo/aveia branca
2	Soja	Nabo ou Ervilhaca + Aveia preta	Milho	Nabo/Trigo ou nabo/cevada ou nabo/aveia branca	Soja	Aveia preta
3	Milho	Nabo/Trigo ou nabo/cevada ou nabo/aveia branca	Soja	Aveia preta	Soja	Nabo ou Ervilhaca + Aveia preta

Fonte: adaptado de Floss (2021).

B) Região de transição entre clima subtropical e tropical do Brasil

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1°	Milho		Nabo		Trigo/Cevada					Soja P		
2°	Soja P		Milho 2ª safra							Soja P		
3°	Soja P		Milho 2ª safra + braquiária				braquiária			Soja M		
4°	Soja M				Aveia preta + Nabo					Milho		

1) Soja P = soja ciclo precoce; Soja M = soja ciclo médio. Fonte: adaptado de Debiasi et al. (2020).

é uma opção interessante que, como várias outras ora em uso nas diferentes regiões do Brasil, deve ser utilizada e adaptada com critérios, levando-se em consideração o período de crescimento do nabo, a sanidade da semente utilizada (evitando fazer a introdução de *Sclerotinia sclerotiorum*) e o momento adequado para o manejo (dessecação ou rolagem) do nabo para semeadura do trigo. Efeitos indiretos são verificados, por exemplo, na economia de nitrogênio. Se o nabo forrageiro produzir mais de 3 t/ha de matéria seca, devido a ciclagem de N do solo pelo nabo, a dose de N a ser aplicada para o trigo pode ser a mesma indicada para trigo após soja (Reunião..., 2004).

Outra questão que merece destaque é a antecipação na época de semeadura da soja (respeitando as datas definidas pela Portaria nº 388, de 31 de agosto de 2021, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – Brasil, 2021), que vem ocorrendo em algumas regiões (especialmente no sul do Brasil) com a disponibilização de cultivares precoces de tipo indeterminado e justificada pela perda de potencial de rendimento de grãos da soja nas épocas “mais tardias”. Essa modificação impõe, em muitas situações, a impossibilidade de cultivo de cereais de inverno produtores de grãos pela incompatibilidade de colheita em tempo para permitir a antecipação da

semeadura da soja. Entretanto, em estudo para avaliar essa questão Almeida et al. (2016), Caraffa et al. (2016) e Pires et al. (2016) obtiveram perdas de potencial de soja cultivada após trigo somente na região homogênea de adaptação de cultivares de trigo 1 (RHACT 1), fria e úmida, de maior altitude (Figura 2). Nessa região, em função das temperaturas menores, ocorre alongamento do ciclo dos cereais de inverno e colheitas que se estendem até dezembro. Isso, de fato, penaliza o potencial de rendimento de grãos da soja. Entretanto, como o potencial de rendimento de grãos dos cereais de inverno é muito elevado, a escolha correta de cultivares de cereais de inverno e de cultivares de soja que tenham melhor desempenho em épocas mais tardias (Grupos de Maturidade Relativa 5.6 ou 6.2, conforme Almeida et al., 2016), pode permitir o melhor encaixe das culturas com maior rentabilidade do sistema em relação a opção de cultivar apenas soja durante todo o ano, mantendo o inverno sem cultivo comercial. Outras opções, como dessecação pré-colheita de trigo (Bellé et al., 2014; Calviño et al., 2002), corte-aleiramento (Guarienti et al., 2015) e cultivo intercalar trigo-soja (Faganello et al., 2013) foram avaliadas, mas todas possuem algum tipo de limitação que dificulta o uso para o propósito de antecipação da semeadura da soja, ou necessitam de adaptação de equipamentos ou processos para obtenção de resultados adequados.

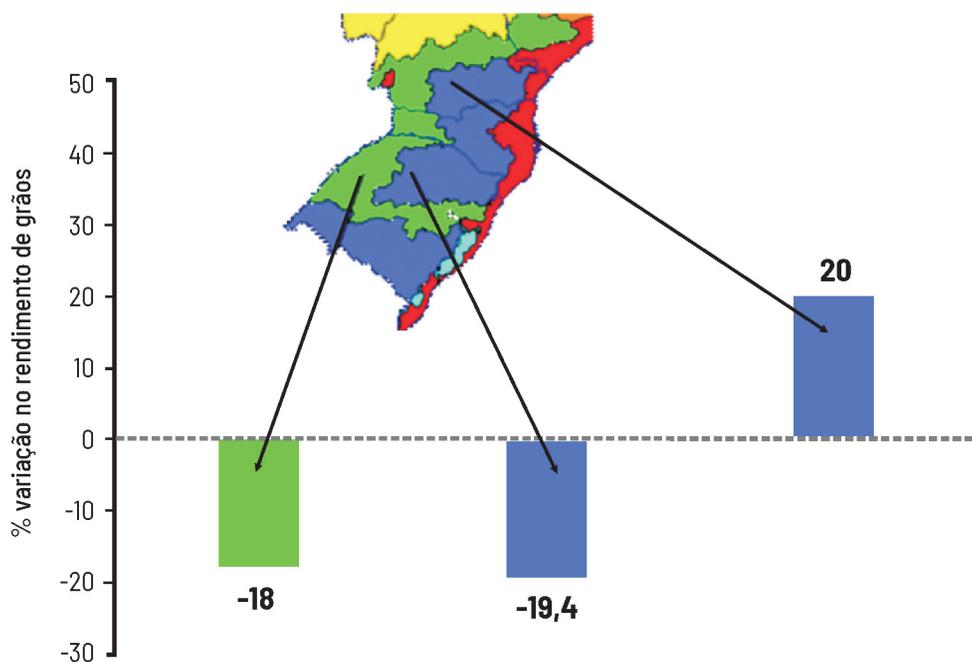


Figura 2. Variação no rendimento de grãos (%), na média de diferentes cultivares de soja, quando modificada a semeadura de após trigo para antecipada após aveia-preta. Fontes: Almeida et al. (2016), Caraffa et al. (2016) e Pires et al. (2016).

Outra técnica que possibilita o uso de cereais de inverno bem como de nabo forrageiro, ervilhaca e outras espécies, para intensificação de sistemas é a sobressemeadura. Manfron et al. (2019) destacam esse potencial para o SPD, tanto para uso em diversas espécies forrageiras e de duplo propósito (como o trigo) quanto trigo apenas

para produção de grãos. Essa prática, entre outros benefícios, pode auxiliar na redução ou eliminação do vazio de vegetação existente em grande parte do sul do País, no período entre a colheita da cultura de verão e a semeadura do cultivo de inverno. Essa lacuna de espécies, atualmente, é uma das vulnerabilidades do SPD que fica suscetível à erosão no caso de chuvas de elevada erosividade, além da proliferação de plantas daninhas e subutilização de áreas agricultáveis ora em uso.

Outra oportunidade, surgida em tempos mais recentes, é o uso de cereais de inverno na composição de “mix” de espécies para semeadura no outono/inverno. Essa tecnologia, disponível como produto comercial, compreende diferentes composições de espécies e proporções indicadas conforme usos (Raix..., 2021). A iniciativa é interessante, entretanto, tem que se levar em consideração questões como a possibilidade dessas espécies serem hospedeiras de doenças e a durabilidade da palha, no tocante à escolha das melhores opções. Também, aspectos quanto a composição, estabelecimento e manejo adequados devem ser observados.

A construção de lavouras competitivas e sustentáveis de cereais de inverno em SPD depende do domínio de um conjunto de fatores. Especialmente aqueles tidos como fundamentais para a obtenção dos máximos rendimentos de grãos e rentabilidade possíveis. Conhecer a cultura que se está trabalhando, do ponto de vista do crescimento, desenvolvimento e a relação desses aspectos com o ambiente e práticas de manejo de cultivos é fundamental. Para cereais de inverno, existem muitas informações sobre esse tema. Por exemplo, em Monteiro (2009) é possível encontrar, de forma sintética, as principais informações referentes aos aspectos de ambiente e interação com o crescimento da aveia, da cevada, do trigo e do triticale.

De forma geral, é importante entender o efeito da temperatura e do fotoperíodo no desenvolvimento das plantas, modulando os períodos e subperíodos de desenvolvimento e a construção do potencial de rendimento de cada cultura. Questões como a necessidade de vernalização no trigo, por exemplo, são características de algumas cultivares disponíveis atualmente para uso em duplo propósito (pastejo e colheita de grãos), que apresentam período longo até o espigamento e permitem semeadura antecipada (Castro et al., 2017). A observação dos estádios críticos para fatores de risco como geada e chuva excessiva (especialmente no sul do Brasil) e seca (no Brasil central) e o correto posicionamento de época de semeadura e cultivares permitem o planejamento da lavoura de forma a reduzir o risco e potencializar o rendimento de grãos. Também, eventos de grande escala como El Niño e La Niña impõem regimes hídrico e térmico que definem estações de crescimento mais ou menos apropriadas para cultivo de cereais de inverno. As previsões sobre a ocorrência desses eventos são acessíveis (NOAA, 2021) e devem ser consideradas no planejamento das lavouras, apesar do nível de incerteza que acompanha previsões de médio e longo prazo. Na Figura 3 verifica-se o impacto desses eventos no potencial de rendimento de trigo. A Figura ilustra os resultados de um ensaio de dose x resposta para N com a mesma combinação de cultivar/local/solo/manejo em ano de El Niño e de La Niña. Verifica-se que a máxima eficiência técnica é bastante diferente nesses dois anos, indicando que as restrições ambientais ao rendimento do trigo são maiores nos anos de El Niño. Nesse exemplo, verifica-se a importância de considerar as previsões do fenômeno El Niño – Oscilação Sul e ajustar o manejo e desembolso para o potencial de rendimento possível conforme a fase do evento (El Niño, La Niña ou Neutro). Outra particularidade, muito importante e, não raro, deixada de lado pelo uso de “pacotes” de insumos pré-definidos, é a capacidade de mudança de manejo no decorrer da safra, caso as condições de ambiente ou mesmo comerciais sofrerem alterações.

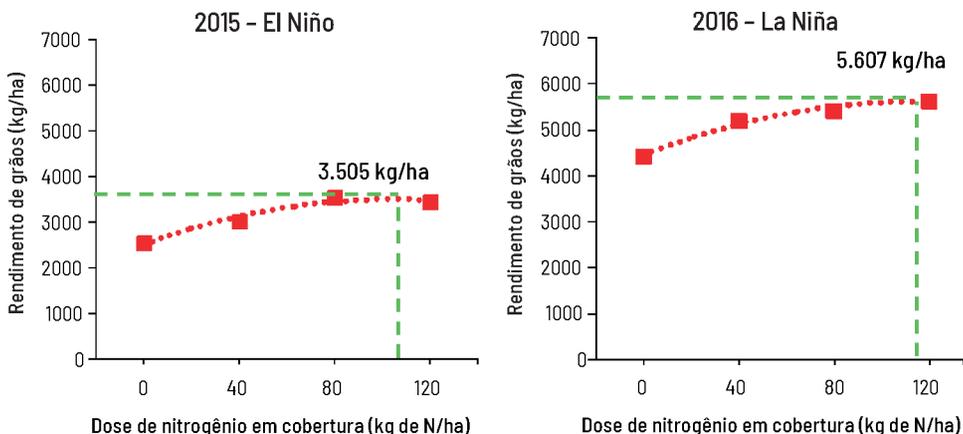


Figura 3. Rendimento de grãos de trigo em função da dose de nitrogênio em cobertura em ano de El Niño e La Niña, com indicação do rendimento de grãos na máxima eficiência técnica. Embrapa Trigo, Passo Fundo 2021. Obs. Local, genótipo e demais práticas de manejo foram as mesmas nos dois anos.

Para cereais de inverno é importante levar em consideração, na formação do potencial de rendimento de grãos, não somente a parte visível externamente nas plantas, mas as estruturas reprodutivas que estão sendo formadas, desde muito cedo, encobertas pelas folhas. Primórdios de afilhos, espigas/panículas, espiguetas e flores, por exemplo, são formadas desde estádios iniciais do ciclo de desenvolvimento das plantas e sofrem efeito das variáveis do ambiente e de manejo. Essas estruturas são componentes do rendimento de grãos e efeitos negativos em qualquer uma delas vai limitar o potencial de rendimento. Em trigo, são dois os componentes principais: o número de grãos/m² e o peso do grão (expresso por meio do peso de 1.000 grãos). O número de grãos/m² depende de um conjunto de outros componentes como número de plantas/área, número de espigas/planta, número de espiguetas/espiga e número de grãos/espiguetas-espiga. Estabelecer metas para esses componentes é muito difícil, apesar de matematicamente possível. Cultivares/culturas utilizam diferentes estratégias referentes a componentes do rendimento de grãos para chegar ao mesmo resultado, por exemplo, variando o afilhamento, o tamanho da espiga o peso de 1.000 grãos. Portanto, para fins de manejo, considera-se mais importante adotar o manejo específico indicado pelo obtentor da cultivar para a região alvo, pois esse tem o potencial de indicar o melhor manejo para a maximização dos componentes e do rendimento de grãos.

Para cada cultura, o manejo pode ser dividido em dois grandes grupos: práticas promotoras e protetoras do rendimento de grãos.

No grupo das promotoras podem ser citados o conjunto de práticas que constroem um solo de elevada qualidade (química, física e biológica), a escolha da cultivar que reúne as características de melhor interação genótipo x ambiente para a região de cultivo, a escolha do período de semeadura que potencialize o rendimento de grãos com o menor risco em relação às variáveis limitantes, o uso de sementes de qualidade (poder germinativo, vigor, livre de patógenos, entre outros), a correta implantação da

cultura com arranjo de plantas adequado para cada situação (população de plantas, espaçamento entre linhas, distribuição na linha e profundidade de semeadura), o uso de inoculação de sementes com produtos que potencializem o rendimento de grãos e o uso de adubação nitrogenada em cobertura no momento correto com a dose de melhor retorno técnico/econômico, entre outras. Por sua vez, no grupo de proteção, podem ser citadas práticas como o controle de plantas daninhas (pré e pós semeadura da cultura), o tratamento de sementes, o controle químico aplicado na parte aérea para controle de insetos-praga e doenças e o uso de redutores de crescimento para evitar perdas por acamamento, entre outros.

A escolha da cultivar representa uma estratégia de manejo e, também, de modelo de negócio a ser explorado. Caierão et al. (2010) apresentam alguns aspectos importantes na escolha de cultivares de trigo, cevada, triticale e centeio. De forma geral, indicam não existir “cultivar perfeita”, mas uma gama de possibilidades que permite utilizar a mais adequada para cada sistema de produção. Aspectos de arquitetura de planta, potencial de rendimento, resistência/tolerância a estresses bióticos e abióticos e aptidão em termos de qualidade tecnológica devem ser considerados. Cada vez mais estão disponíveis caracterizações e indicações específicas para cada cultivar de cereais de inverno (Foloni et al., 2016; Castro et al., 2017; Bassoi et al., 2019; Pires et al., 2021), que permitem o refinamento das práticas de manejo. Em se tratando de potencial de rendimento, o uso de cultivares atualmente disponíveis possibilita aumentar em muito o rendimento médio das lavouras em SPD. A Figura 4, elaborada com base nos resultados de ensaios e lavouras, indica que o potencial genético apropriado pelos produtores ainda é pequeno, indicando que há oportunidade para a melhoria do manejo e a ampliação do rendimento de grãos nas lavouras. Nesse sentido, fazer o básico “bem feito” é fundamental, além de mapear, entender e buscar minimizar a variabilidade das áreas de cultivo utilizadas, por meio de técnicas que visam ao uso e manejo eficientes dos recursos e insumos, incluindo conceitos da Agricultura de Precisão. A tecnologia atualmente utilizada nas estações experimentais (adubos, sementes, agroquímicos, máquinas, entre outros), por exemplo, para avaliação de cultivares, é a mesma disponível para o produtor rural. Portanto, a explicação para a diferença tão grande no rendimento obtido entre experimentos e lavouras está mais associada à qualidade dos processos de manejo do solo e da cultura e a variabilidade das áreas cultivadas do que no acesso a uma determinada tecnologia. Assim, deve-se dar importância a escolha da cultivar, mas não supor que ela vai resolver isoladamente todos os aspectos relacionados ao manejo adequado da lavoura.

A especificação de manejo para cada sistema de produção, por cultivar e por região tem merecido maior atenção nos últimos anos. Existem variações de resposta produtiva e possibilidades de redução de custos de produção com o manejo dessas especificidades. Por exemplo, no sul do País, na questão densidade de semeadura, em situações de adequado manejo de solo e rotação de culturas em SPD, tem-se verificado a estabilidade de rendimentos em uma faixa ampla de densidade, com a possibilidade de utilização de densidades mais baixas do que as tradicionalmente usadas e mantendo o potencial produtivo. Essa resposta, em parte, pode ser explicada pela melhoria na qualidade do solo em SPD bem conduzido dando maior suporte para que cada planta expresse seu máximo potencial produtivo, permitindo chegar a rendimentos máximos de grãos com menor população de plantas, bem como à plasticidade fenotípica inerente aos cereais de inverno para essa característica.

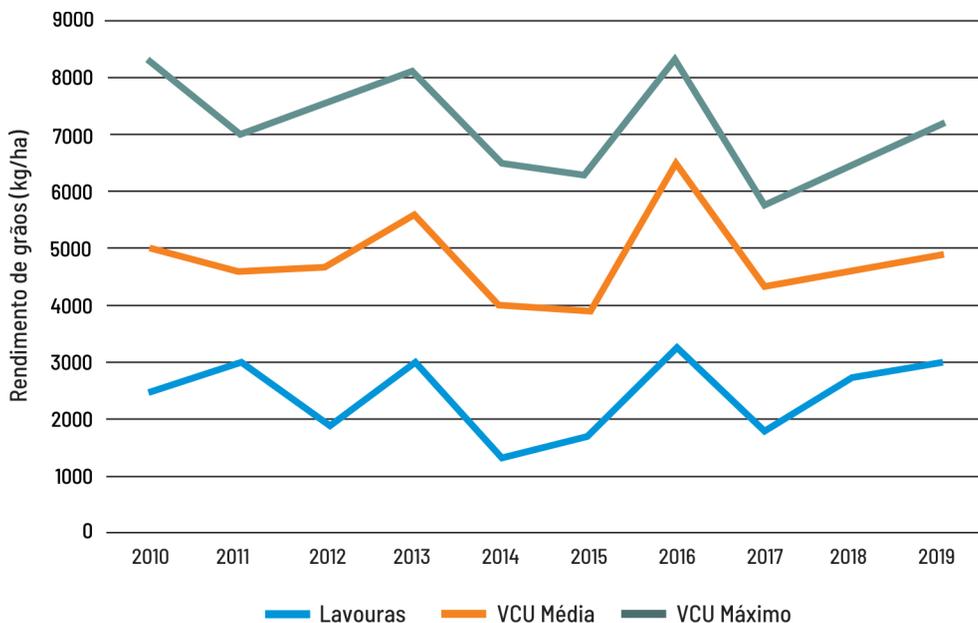


Figura 4. Rendimento de grãos de lavouras comerciais de trigo, no Rio Grande do Sul, e rendimentos de grãos (média e máximo) obtidos nos ensaios de Valor de Cultivo e Uso (VCU) da Embrapa Trigo, de 2010 a 2019. Fonte: adaptado de Pires et al. (2020).

A resposta ao nitrogênio é outro exemplo bastante estudado em cereais de inverno. Em geral, verifica-se resposta positiva ao aumento da dose até determinados limites, que precisam ser identificados para o uso correto da melhor dose para cada situação. O momento de aplicação também é fundamental. Para potencializar o crescimento e rendimento de grãos a planta necessita de maior disponibilidade de nitrogênio na época de maior crescimento (afilhamento pleno e alongamento, principalmente) para suportar o crescimento de espigas/espiguetas/flores e da estrutura da planta. O ideal é o fracionamento da dose, sendo parte utilizada na semeadura e o restante em cobertura (maior eficiência), recomendando-se o fracionamento, quando a dose é elevada para reduzir perdas por excesso de precipitação pluvial, principalmente no Sul do Brasil. No caso do trigo tropical em sistema de sequeiro, essa lógica pode ser diferente, aplicando-se maior dose na semeadura, pois não se tem garantias de chuvas durante o ciclo e as perdas por lixiviação são pequenas. Maiores informações sobre manejo de N podem ser obtidas em Wiethölter (2011), Fontoura et al. (2013), De Bona et al. (2016) e Sociedade... (2016).

Outro exemplo de prática de manejo específica é o uso de regulador (reductor) de crescimento. Há produto comercial disponível com capacidade de reduzir o porte da planta, diminuindo o risco de acamamento na lavoura (especialmente quando associado a práticas e situações que aumentem o risco de acamamento), porém o uso deve ser específico para obtenção do resultado esperado na proteção do rendimento de

grãos. Em avaliação de diferentes cultivares de trigo, Foloni et al. (2016) identificaram a necessidade de aplicação de redutor em trigo quando as condições são favoráveis ao acamamento, em BRS 208, BRS Galha-azul, BRS Tangará e BRS Sabiá, e efeito, potencialmente, negativo (redução no rendimento de grãos), em BRS Pardela e BRS Graúna. Portanto, a adoção dessa estratégia pode ser benéfica ou impor redução no rendimento de grãos dependendo da cultivar. Nesses exemplos para N e uso de redutor de crescimento, verifica-se a variação das possibilidades e necessidade de alteração do manejo para cada situação de cultivo/cultivar. Não se pode utilizar a mesma estratégia em toda a região produtora.

Uma série de produtos promotores do rendimento de grãos estão disponíveis, especialmente para uso em trigo (e para outros cereais de inverno), a base de hormônios, nutrientes, microrganismos, entre outros, que proporcionam opções de uso nas diferentes situações de cultivo. Entretanto, os resultados para rendimento de grãos são, muitas vezes, contraditórios, desde efeitos positivos, nulos ou negativos. Por exemplo, o uso de inoculantes a base de *Azospirillum brasilense* é indicado para trigo (Reunião..., 2020) com resultados positivos (Hungria, 2011; Ludwig, 2015) ou ausência de resultados (Silva e Pires, 2017). Acredita-se na necessidade de diagnóstico adequado para avaliação da deficiência específica e complementação com o produto adequado. Também, salienta-se a necessidade de validação (na lavoura especialmente) de cada produto no sistema de produção de interesse e por região (variação edafoclimática), para melhorar a confiança da adoção em maior ou menor escala.

No que se refere a práticas protetoras do rendimento de grãos, existem uma série de possibilidades envolvendo práticas culturais mecânicas e químicas. O primeiro passo é o diagnóstico correto de cada problema e para isso existem informações sobre as principais plantas daninhas, pragas e doenças associadas aos cereais de inverno (Pires et al., 2011). Em relação a produtos, há maior disponibilidade para as culturas de maior expressão como trigo e cevada. Sendo que, para as demais, as opções são mais limitadas. Para a seleção dos produtos com maior eficiência é importante consultar as informações técnicas advindas das diferentes Comissões de Pesquisa (Reunião..., 2014; Reunião..., 2018; Reunião..., 2020), que relacionam produtos que fazem parte de ensaios cooperativos envolvendo parceria entre diferentes instituições, que avaliam os produtos comerciais disponíveis. Para giberela e brusone, por exemplo, existem estudos específicos (Santana et al., 2020a; 2020b). Uma questão que merece destaque é a estratégia de controle. Atualmente, muitos utilizam a calendarização da aplicação de produtos para controle químico, baseados em dias ou estágio da cultura, com produtos pré-definidos e sem a identificação da praga ou doença ou mesmo a avaliação do nível de dano econômico. Entende-se que para maior rentabilidade dos cereais de inverno essa prática é inadequada. A escolha da cultivar, o monitoramento da lavoura e a aplicação somente quando necessário é o caminho adequado.

A tecnologia de produção de cereais de inverno está bem definida, para maior parte dos cultivos e regiões do Brasil. Existe também, nas principais regiões produtoras, muita experiência da assistência técnica (pública e privada) e dos produtores com o manejo dessas espécies. Algumas regiões de expansão dos cereais de inverno, na zona tropical especialmente, ainda carecem de adaptação/validação de tecnologias e capacitação de técnicos e produtores.

Na Tabela 4 é apresentado um resumo dos principais indicadores tecnológicos disponíveis para uso nos cereais de inverno utilizados em Sistema Plantio Direto no Brasil. Informações específicas podem ser obtidas em Reunião... (2014), Reunião... (2018) e Reunião... (2020), entre outros.

Por fim, ressalta-se que, nos últimos anos, várias tecnologias (contemplando produtos e processos) foram disponibilizadas para uso em cereais de inverno, com impactos diversos no rendimento de grãos e rentabilidade das lavouras. Entre eles, pode-se citar: projetos para rendimentos elevados; Trigo Pão com rendimento elevado; aplicação de N com uso de sensores; tolerância à germinação pré-colheita; inoculação com *Azospirillum brasilense*; aplicações de agroquímicos calendarizada (por estágio da planta ou dias); uso de hormônios, enraizadores e micronutrientes; uso de redutor de crescimento; aplicação tardia de N; dessecação pré-colheita; trigo de duplo propósito; cultivar com novo tipo de planta (folhas eretas, colmo resistente, porte baixo); cultivar com tolerância a herbicida; mix de espécies para cobertura/adubação verde; sobressemeadura de cereais de inverno; uso trigo/triticale para composição de rações; e sistema produção para trigo exportação (Ásia/África), entre outros.

Cada uma dessas opções merece ser analisada a luz do conhecimento científico gerado ou adaptado e validado pela pesquisa brasileira para o uso correto e com maior potencial de impacto positivo para cada cereal de inverno.

Agradecimento

Os autores são gratos e prestam, neste capítulo, especial reverência, in memoriam, ao Dr. Henrique Pereira dos Santos (15-VII-1944 – 7.XI.2021), o cientista que, ao longo de uma carreira de 47 anos (1974-2021), exercida na Embrapa Trigo, deixou um valioso legado sobre o tema dos Experimentos Agrícolas de Longa Duração em Sistema Plantio Direto no Brasil. Requiescat in pace, Dr. HPS!

Tabela 4. Principais indicadores de tecnologia de produção utilizados nos cereais de inverno em cultivo no Sistema Plantio Direto no Brasil.

Indicador de manejo**	Trigo	Cevada	Triticale	Centeio	Aveia preta	Aveia branca
Dessecantes pré-semeadura	Possui produtos indicados/ registrados	Possui produtos indicados/ registrados	Possui produtos indicados/ registrados	Possui produtos indicados/ registrados	Possui produtos indicados/ registrados	Possui produtos indicados/ registrados
Densidade de semeadura (sementes viáveis/m ²)	250 a 450 (grãos)	250 a 300 (grãos)	350 a 350 (grãos)	250 (grãos)	200 a 250 (grãos), 350 a 400 (forragem, adubação verde ou cobertura)	200 a 300 (grãos), 350 a 400 (forragem, adubação verde ou cobertura)
Espaçamento entre linhas (cm)	17 a 20	12 a 20	17 a 20	17 a 20	17 a 20	17 a 20
Profundidade de semeadura (cm)	2 a 5	3 a 5	2 a 5	3 a 5	2 a 4	2 a 4
Arranjo de plantas	Preferencialmente em linhas	Preferencialmente em linhas. Possibilidade linhas paralelas (17 cm x 34 cm)	Preferencialmente em linhas	Preferencialmente em linhas	Preferencialmente em linhas	Preferencialmente em linhas
Inoculantes para uso em sementes	Indicação de <i>Azospirillum brasilense</i>	Não	Não	Não	Não	Não
Cultivares	Grande número disponível de vários obtentores	Número razoável disponível de poucos obtentores	Número razoável disponível de poucos obtentores	Pequeno número disponível de poucos obtentores	Pequeno número disponível de poucos obtentores	Número razoável disponível de poucos obtentores

Continua...

Continuação Tabela 2.

Indicador de manejo**	Trigo	Cevada	Triticale	Centeio	Aveia preta	Aveia branca
Zoneamento Agrícola	Sim (sequeiro e irrigado) para produção de grãos e duplo propósito (pasto + grãos)	Sim (sequeiro e irrigado) para produção de grãos de grãos	Sim	Não	Sim (sequeiro e irrigado) para produção de grãos	Sim (sequeiro e irrigado) para produção de grãos
Adubação base e calagem	Possui indicações específicas	Possui indicações específicas	Possui indicações específicas	Possui indicações específicas	Possui indicações específicas	Possui indicações específicas
Adubação cobertura	Possui indicações específicas	Possui indicações específicas	Possui indicações específicas	Possui indicações específicas	Possui indicações específicas	Possui indicações específicas
Irrigação	Apresenta indicações de manejo para sistemas irrigados	Não apresenta	Não apresenta	Não apresenta	Não apresenta	Não apresenta
Produtos promotores do rendimento* indicados/registrados para a cultura	Possui produtos	Possui produtos	Possui produtos	Possui produtos	Possui produtos	Possui produtos
Redutor de	Possui	Possui	Não possui	Não possui	Não possui	Não possui

*Produtos biológicos ou sintéticos com indicação para a cultura e que prometem aumento/redução de perdas do rendimento de grãos. **Alguns indicadores apresentam ajustes específicos por Estado/Região/Sistema de produção que devem ser consultadas nas indicações/informações para cada cultura. Fonte: adaptado de Mundstock (1983), Baier et al. (1994), Reunião (2014), Sociedade (2016), Reunião (2018), Reunião (2020).

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, J. L. de; SPADER, V.; DE MORI, C.; PIRES, J. L. F.; STRIEDER, M. L.; FOSTIM, M. L.; STOETZER, A.; CAIERÃO, E.; FOLONI, J. S. S.; PEREIRA, P. R. V. da S.; MARSARO JÚNIOR, A. L.; FAÉ, G. S.; VIEIRA, V.; **Estratégias de sucessão trigo/cevada/aveia preta/soja para sistemas de produção de grãos no Centro-Sul do Paraná**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2016. 16p. (Embrapa Trigo, Circular Técnica, 13).
- AMBROSI, I.; SANTOS, H. P. dos; FONTANELI, R. S.; ZOLDAN, S. M. Lucratividade e risco de sistema de produção de grãos combinados com pastagens de inverno. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 10, p. 1213-1219, 2001.
- BAIER, A. C. **Centeio**. Passo Fundo: Embrapa-CNPT, 1994. 29p. (Embrapa-CNPT. Documentos, 15).
- BAIER, A. C.; NEDEL, J. L.; REIS, E. M.; WIETHÖLTER, S. **Triticale**: cultivo e aproveitamento. Passo Fundo: Embrapa-CNPT, 1994. 72p. (Embrapa-CNPT. Documentos, 19).
- BALBINOT JUNIOR, A. A.; SANTOS, J. C. F. DOS; DEBIASI, H.; COELHO, A. E.; SAPUCAY, M. J. L. da C., BRATTI, F.; LOCATELLI, J. L. Performance of soybean grown in succession to black oat and wheat. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 55, e01654, 2020.
- BASSOI, M. C.; FOLONI, J. S. S.; SILVA, S. R. **Cultivar de trigo BRS Atobá**: características e desempenho agrônomo. Londrina: Embrapa Soja, 2019. 16p. (Embrapa Soja, Comunicado Técnico 96).
- BELLÉ, C.; KULCZYNSKI, S. M.; BASSO, C. J.; KASPARY, T. E.; LAMEGO, F. P.; PINTO, M. A. B. Yield and quality of wheat seeds as a function of desiccation stages and herbicides. **Journal of Seed Science**, Londrina, v. 36, n. 1, p. 63-70, 2014.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Portaria nº 388, de 31 de agosto de 2021. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 01 set. 2021. Seção 1, p. 23.
- CAIERÃO, E.; NASCIMENTO JUNIOR, A. do; SCHEEREN, P. L. Escolha das cultivares de cereais de inverno. In: SANTOS, H. P. dos; FONTANELI, R. S.; SPERA, S. T. **Sistemas de produção para cereais de inverno sob plantio direto no sul do Brasil**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2010. p.75-116.
- CALVIÑO, P. A.; STUDDERT, G. A.; ABBATE, P. E.; ANDRADE, F. H.; REDOLATTI, M. Use of non-selective herbicides for wheat physiological and harvest maturity acceleration. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 77, n. 2, p. 191-199, 2002.
- CARAFFA, M.; RIFFEL, C. T.; STRIEDER, M. L.; PIRES, J. L. F.; DE MORI, C.; CAIERÃO, E.; PEREIRA, P. R. V. da S.; FAÉ, G. S. **Estratégias de sucessão trigo/aveia preta-soja para sistemas de produção de grãos no Noroeste do Rio Grande do Sul**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2016. 20p. (Embrapa Trigo, Circular Técnica, 15).
- CASTRO, R. L.; CAIERÃO, E.; DEL DUCA, L. de J. A.; FONTANELI, R. S.; SANTOS, H. P. dos; SÓ e SILVA, M.; SCHEEREN, P. L.; GUARIENTI, E. M.; MIRANDA, M. Z. de; EICHELBERGER, L.; KOPP, M. M.; NASCIMENTO JÚNIOR, A. do. **BRS Pastoreio**: trigo duplo propósito. Folder, Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2017.

CONAB. **Série histórica das safras**: trigo. Brasília: Companhia Nacional de Abastecimento, jun. 2021. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/serie-historica-das-safras?start=30>. Acesso em: 14 jun. 2021.

DEBIASI, H.; FRANCHINI, J. C.; BALBINOT JUNIOR, A. A.; CONTE, O. Diversificação de espécies vegetais em sistemas de produção. In: SEIXAS, C. D. S.; NEUMAIER, N.; BALBINOT JUNIOR, A. A.; KRZYZANOWSKI, F. C.; LEITE, R. M. V. B. de C. (Ed. Téc.). **Tecnologias de produção de soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2020. (Sistemas de Produção 17, Embrapa Soja). p.93-118.

DE BONA, F.; DE MORI, C.; WIETHÖLTER, S. **Manejo nutricional da cultura do trigo**. Piracicaba: IPNI, Informações Agronômicas 154, 2016. 16p.

EMBRAPA. Soluções tecnológicas. **Zarc** – App Plantio Certo. Campinas: CNPTIA, 2019. Software. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-solucoes-tecnologicas/-/produto-servico/6516/aplicativo-zarc--plantio-certo>. Acesso em: 29 ago. 2020.

FAGANELLO, A.; PIRES, J. L. F.; STRIEDER, M. L.; SANTOS, H. P. dos; DALMAGO, G. A.; VARGAS, L.; CORASSA, G. M. Consórcio intercalar trigo-soja. In: REUNIÃO DA COMISSÃO BRASILEIRA DE PESQUISA DE TRIGO E TRITICALE, 7., 2013, Londrina. **Resumos...** Londrina: Fundação Meridional, 2013. CD-ROM.

FLOSS, E. L. **Maximizando o rendimento da soja**: ecofisiologia, nutrição e manejo. Passo Fundo: Aldeia Sul, 2021. 416p.

FLOSS, L. G. **Análise agrônômica, econômica e energética de sistemas de produção agrícola para a região norte do Rio Grande do Sul**. Passo Fundo: UPF, 2008. 101p. Dissertação (Mestrado em Agronomia).

FOLONI, J. S. S.; BASSOI, M. C.; SILVA, S. R. Indicações fitotécnicas para cultivares de trigo da Embrapa no Paraná. Londrina: Embrapa Soja, 2016. 24 p. (Embrapa Soja. Circular técnica, 117).

FONTANELI, R. S.; AMBROSI, I.; SANTOS, H. P. dos; IGNACZAK, J. C.; ZOLDAN, S. M. Análise econômica de sistemas de produção de grãos com pastagens de inverno, em sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 11, p. 2129-2137, nov. 2000.

FONTOURA, S. M. V.; VIERO, F.; BAYER, C.; MORAES, R. P. de. **Adubação nitrogenada em cereais de inverno na região Centro-Sul do Paraná**. Guarapuava: Fundação Agrária de Pesquisa Agropecuária, 2013. 42p.

GAZZONI, A.; FLOSS, E. L. Produtividade de diferentes espécies de coberturas verdes/mortas do solo, Passo Fundo-RS, 2006. In: REUNIÃO DA COMISSÃO BRASILEIRA DE PESQUISA DE AVEIA, 27. **Resultados Experimentais**. Passo Fundo, UPF, 2007. p.147-148.

GUARIENTI, E. M.; PIRES, J. L. F.; SANTOS, H. P. dos; TIBOLA, C. S.; DALMAGO, G. A.; BRISTOT, M.; MELLO, L. G. Corte-aleiramento: estratégia visando à manutenção da qualidade tecnológica de trigo. In: SIMPÓSIO DE ALIMENTOS PARA A REGIÃO SUL, 9., 2015, Passo Fundo. **Anais...** Passo Fundo: Ed. Universidade de Passo Fundo, 2015. 1 CD-ROM.

HUNGRIA, M. **Inoculação com *Azospirillum brasilense***: inovação em rendimento a baixo custo. Embrapa, Documentos, n. 325, 2011. 36p.

IBGE. SIDRA. Banco de tabelas estatísticas. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/home/pimpfbr/brasil> Acesso em: 2 jul. 2021.

LUDWIG, R. L. **Inoculação com *Azospirillum brasilense* e adubação nitrogenada em cultivares de trigo**. UFSM: Santa Maria, Dissertação de Mestrado, 2015. 103p.

MANFRON, A. C. A.; FONTANELI, R. S.; SANTOS, H. P. dos.; ZENI, M.; SILVA, D. da.; PAZINATO, J. F. Sobressemeadura, uma alternativa entre safras para alimentação animal e palhada. **Revista Plantio Direto**, Maio/Junho, p. 19-24, 2019.

MONTEIRO, J. E. B. A. (org.) **Agrometeorologia dos cultivos: o fator meteorológico na produção agrícola**. Brasília: INMET, 2009. 530p.

MUNDSTOCK, C. M. **Cultivo dos cereais de estação fria: trigo, cevada, aveia, centeio, alpiste e triticale**. Porto Alegre: Ed. Autor, 1983. 265p.

NOAA. Climate Prediction Center. **El Niño/Southern oscillation (ENSO) diagnostic discussion**. Disponível em: <https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/enso_advisory/ensodisc.shtml> Acesso em: 14 jun. 2021.

PANISSON, F. T.; FONTANELI, R. S.; DALL'AGNOL, E.; REBESQUINI, R.; SILVEIRA, D.; SANTOS, E. P. dos.; FONTANELI, R. S.; BONDAN, C.; CEOLIN, M. E. T.; ESCOBAR, F. M. Potencial de produção de biomassa de forrageiras e adubos verdes anuais de inverno. **Revista Plantio Direto**, Maio/Junho, p. 14-20, 2020.

PASINATO, A.; CUNHA, G. R. da; FONTANA, D. C.; MONTEIRO, J. E. B. de A.; NAKAI, A. M.; OLIVEIRA, A. F. de. Potential area and limitations for the expansion of rainfed wheat in the Cerrado biome of Central Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.53, n.7, p.779-790, 2018.

PESSÔA, A. S. M.; FRANDIM, B.; ASSARICE, V.; REVELES, P. RALLY da Safra - Estado da arte do plantio direto - relatório final em 2019. Florianópolis, agosto, 2019. 48 p.

PIRES, J. L. F.; CAIERÃO, E.; CHAGAS, J.; FOLONI, J. S. Rendimentos elevados em trigo. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo, Mai/Jun, 2020. p.4-9.

PIRES, J. L. F.; SCHEEREN, P. L.; CASTRO, R. L. DE; CAIERÃO, E.; GUARIENTI, E. M.; LAU, D.; CUNHA, G. R. DA; SANTANA, F. M.; CARAFFA, M.; TOIGO, M. DE C.; SANTOS, H. P.; MIRANDA, M. Z. DE; FAÉ, G. S.; VIEIRA, V. M.; KLEIN, M.; RIFFEL, C. T.; PASINATO, A. **Indicações para o manejo da cultivar de trigo BRS Reponte (RS, SC e sul do PR)**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2021. 24p. (Embrapa Trigo, Comunicado Técnico 380).

PIRES, J. L. F.; STRIEDER, M. L.; MARSARO JÚNIOR, A. L.; PEREIRA, P. R. V. da S.; COSTAMILAN, L. M.; MACIEL, J. L. N.; DE MORI, C.; CAIERAO, E.; GUARIENTI, E. M.; CARRÃO-PANIZZI, M. C.; DALMAGO, G. A.; SANTOS, H. P. dos; FAÉ, G. S.; SILVA JUNIOR, J. P. da; SANTI, A.; CUNHA, G. R. da; VARGAS, L.; PASINATO, A. **Estratégias de sucessão trigo/aveia preta-soja para sistemas de produção de grãos no Planalto Médio do Rio Grande do Sul**. Passo Fundo : Embrapa Trigo, 2016. 24p. (Embrapa Trigo, Circular Técnica, 14).

PIRES, J. L. F.; VARGAS, L.; CUNHA, G. R. da. (Eds.) **Trigo no Brasil: bases para produção competitiva e sustentável**. Passo Fundo, RS: Embrapa Trigo, 2011. 488p.

RAÍX. **Raix sementes**. Disponível em: <<http://raixsementes.com.br/>> Acesso em: 14/06/2021.

REUNIÃO da Comissão Brasileira de Pesquisa de Aveia (XXXIV). **Indicações técnicas para a cultura da aveia**. Passo Fundo: Ed. Universidade de Passo Fundo, 132 p., 2014.

REUNIÃO da Comissão Brasileira de Pesquisa de Trigo e Triticale (XII). **Informações Técnicas para Trigo e Triticale - Safra 2019**. Passo Fundo/RS. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 240 p.

REUNIÃO da Comissão Brasileira de Pesquisa de Trigo e Triticale, 13., 2019, Passo Fundo. **Informações técnicas para trigo e triticale**: safra 2020. Passo Fundo: Biotrigo Genética, 2020. Disponível em: http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/214730/1/informacoestecnicasparatrigoetriticale_safra2020-1592946148.pdf. Acesso em: 23 jul. 2020.

REUNIÃO da Comissão Sul-Brasileira de Pesquisa de Trigo (XXXVI). **Indicações Técnicas da Comissão Sul-Brasileira de Pesquisa de Trigo**: trigo e triticale - 2004. Passo Fundo/RS. Passo Fundo, RS: Embrapa Trigo, 2004. 152 p.

REUNIÃO nacional de pesquisa de cevada (XXXII). **Indicações Técnicas para a Produção de Cevada Cervejeira nas Safras 2019 e 2020**. Passo Fundo/RS. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2019. 116p. (Embrapa Trigo, Sistemas de produção 10).

SANTANA, F. M.; LAU, D.; SBALCHEIRO, C. C.; SCHIPANSKI, C. A.; VENANNCIO, W. S.; DALLAGNOL, L. J.; GUTERRES, C. W.; KUHNEM JÚNIOR, P. R.; CHAGAS, D. F. **Eficiência de fungicidas para controle de giberela do trigo**: resultados dos Ensaios Cooperativos - Safra 2018. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2020a. 20p. (Embrapa Trigo, Circular Técnica 52).

SANTANA, F. M.; LAU, D.; SBALCHEIRO, C. C.; SUSSEL, A. A. B.; VENANCIO, W. S.; SCHIPANSKI, C. A.; CHAGAS, D. F. **Eficiência de fungicidas para controle de brusone de trigo**: resultados dos ensaios cooperativos, safra 2019. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2020b. 14p. (Embrapa Trigo, Circular Técnica 55).

SANTOS, H. P. dos; AMBROSI, I.; LHAMBY, J. C. B.; SCHNEIDER, G. A. Comparação econômica de sistemas de rotação de culturas para a região do Planalto Médio do RS. **Revista Brasileira de Agrociência**, v. 8, n. 1, p. 25-29, 2002.

SANTOS, H. P. dos; AMBROSI, I.; WOBETO, C. Risco de sistemas de rotação de culturas de inverno e verão, sob plantio direto. **Ciência Rural**, v. 30, n. 1, p. 37-42, 2000a.

SANTOS, H. P. dos; FONTANELI, R. S.; AMBROSI, I. Análise de risco de sistemas de produção de grãos envolvendo pastagens anuais de inverno e de verão, sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, v. 10, n. 1/2, p. 59-65, 2004.

SANTOS, H. P. dos; FONTANELI, R. S.; AMBROSI, I. Análise econômica de culturas de inverno e de verão em sistemas mistos, sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, v. 9, n. 1/2, p. 121-128, 2003.

SANTOS, H. P. dos; FONTANELI, R. S.; IGNACZAK, J. C.; ZOLDAN, S. M. Conversão e balanço energético de sistemas de produção de grãos com pastagens sob sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 4, p. 743-752, 2000b.

SANTOS, H. P. dos; FONTANELI, R. S.; SPERA, S. T.; DALMAGO, G. A.; PIRES, J. L. F.; SANTI, A. (Ed. Téc.). **Sistemas de produção para cereais de inverno**: três décadas de estudos. Embrapa: Brasília, 2019. 307p.

SANTOS, H. P. dos; FONTANELI, R. S.; SPERA, S. T.; MALDANER, G. L. Conversão e balanço energético de sistemas de produção com integração lavoura-pecuária (SPILP), sob plantio direto. In: PIRES, J. L. F.; PASINATO, A.; CAIERÃO, E.; TIBOLA, C. S. (Org.). **Trigo**: resultados de pesquisa - safra 2009. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2010. p. 71-87. (Embrapa Trigo. Documentos, 96).

SANTOS, H. P. dos; FONTANELI, R. S.; TOMM, G. O.; MANTO, L. Conversão e balanço energético de culturas de inverno e de verão em sistemas de produção mistos sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, v. 11, n. 1/2, p. 39-46, 2005.

SANTOS, H. P. dos; LHAMBY, J. C. B.; IGNACZAK, J. C.; SCHNEIDER, G. A. Conversão energética e balanço energético de sistemas de sucessão e de rotação de culturas. **Ciência Rural**, v. 1, n. 2, p. 191-198, 2001.

SANTOS, H. P. dos; LHAMBY, J. C. B.; PRESTES, A. M.; REIS, E. M. Características agronômicas e controle de doenças radiculares de trigo, em rotação com outras culturas de inverno. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 33, n. 3, p. 277-288, 1998.

SANTOS, H. P. dos; REIS, E. M.; LHAMBY, J. C. B.; WOBETO, C. Efeito da rotação de culturas sobre o trigo, em sistema plantio direto, em Guarapuava, PR. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 31, n. 4, p. 259- 267, abr. 1996.

SILVA, S. R.; PIRES, J. L. F. Resposta do trigo BRS Guamirim à aplicação de *Azospirillum*, nitrogênio e substâncias promotoras do crescimento. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 48, n.4, p.631-638, 2017.

SOCIEDADE Brasileira de Ciência do Solo. **Manual de calagem e adubação para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. [s. l.]: Comissão de Química e Fertilidade do Solo – RS/SC, 2016. 376 p.

ZIECH, A. R. D.; CONCEIÇÃO, P. C.; LUCHESE, A. V.; BALIN, N. M.; CANDIOTTO, G.; GARMUS, T. G. Proteção do solo por plantas de cobertura de ciclo hibernal na região Sul do Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.50, n.5, p.374-382, 2015.

WIETHÖLTER, S. Fertilidade do solo e a cultura do trigo no Brasil. In: PIRES, J. L. F.; VARGAS, L.; CUNHA, G. R. da. (Eds.) **Trigo no Brasil: bases para produção competitiva e sustentável**. Passo Fundo, RS: Embrapa Trigo, 2011. p. 135-184.

Arroz Irrigado em Plantio Direto

Dr. Enio Marchesan, Dr. Ibanor Anghinoni e Dr. Paulo Regis Ferreira da Silva

Introdução

Da produção total de 11.756 mil toneladas de arroz no Brasil na safra agrícola 2020/21 (Tabela 1), cerca de 92% é proveniente de áreas irrigadas, predominantemente sob alagamento. Nesta condição, a produtividade média de grãos (8,31 t/ha) é muito maior do que na condição de sequeiro (2,48 t/ha), de modo que os cinco estados maiores produtores de arroz irrigado representam 96% do total da produção de arroz irrigado e 88% da produção nacional de arroz. O Rio Grande do Sul (RS) é o estado com a maior produção (8.277 mil toneladas) e a maior produtividade (9,01 t/ha) de arroz do Brasil.

Tabela 1. Área, produção e produtividade de arroz no Brasil, nas condições de sequeiro e irrigado, e os cinco estados maiores produtores de arroz irrigado, safra 2020/21.

Brasil/ Estados	Área 1000 ha	Produção 1000 t	Produtividade t/ha
Arroz total/Brasil	1.682,1	11.756	6,99
Arroz sequeiro/Brasil	378,8	939,5	2,48
Arroz irrigado/Brasil	1.303,3	10.826	8,31
Rio Grande do Sul ¹	946,0	8.277	9,01
Santa Catarina	148,6	1.260	8,48
Tocantins	108,9	656	6,03
Goiás	18,2	118	6,50,
Roraima	12,5	83	6,68

Fonte: Adaptado de Conab (2021). ¹Conforme Iriga (2021).

1 Sistemas de Cultivo de Arroz Irrigado

É importante ressaltar que o arroz irrigado tem a particularidade de poder ser semeado em duas condições completamente diferentes: sem lâmina de água ou com a presença de lâmina de água no momento da semeadura, sendo conhecidos, respectivamente, como semeadura em solo seco ou utilizando sementes pré-germinadas em lâmina de água, denominado pré-germinado. Além da condição de semeadura, os sistemas de cultivo se diferenciam quanto à época e aos métodos de preparo e manejo do solo, de modo a originar várias combinações conforme descrição nas Recomendações Técnicas da Pesquisa para o Sul do Brasil (SOSBAI, 2018).

a) Sistema convencional - o preparo da área é realizado com equipamentos de acordo com a necessidade, podendo envolver operações mais profundas, com posterior preparo mais superficial do solo visando o adequado nivelamento da superfície, o controle de plantas daninhas e a confecção de taipas para irrigação. Envolve intensa mobilização do solo previamente à semeadura (Figura 1).

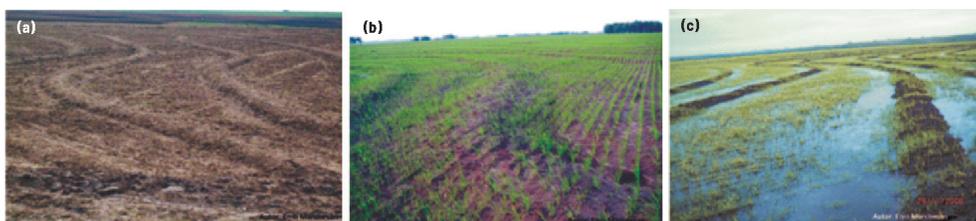


Figura 1. Sistema convencional de cultivo de arroz irrigado: preparo do solo (a), estabelecimento das plantas (b) e entrada de água (c). Fotos: Enio Marchesan (UFSM).

b) Sistema pré-germinado - caracteriza-se pela implantação da lavoura com sementes pré-germinadas de arroz, distribuídas a lanço, em solo previamente inundado com pequena (≤ 5 cm) lâmina de água. O preparo da área pode ser feito tanto em solo seco ou com presença de lâmina de água, sendo muito importante o seu perfeito nivelamento (Figura 2).



Figura 2. Preparo do solo inundado com grade (a), nivelamento com prancha alisadora (b) e plântulas em fase de estabelecimento (c). Fonte: a,b Grupo Gestor do Arroz Agroecológico (GAA); c) Gilberto Dotto (Irga).

c) Sistema cultivo mínimo - a semeadura do arroz é realizada em solo previamente preparado (Figura 3a) sendo que, no momento de semeadura, a cobertura vegetal de espécies que se estabeleceram precisa ser controlada com herbicidas ou

incorporação superficial com rolo-faca, grade pouco travada ou manejo animal controlado. O preparo da área pode ser feito desde o verão anterior até o início da primavera, o que permite a formação de cobertura vegetal. As operações de preparo da área são finalizadas com o entaipamento da área (Figura 3c). A semeadura é feita sobre a cobertura vegetal dessecada (Figura 3b), ocorrendo mobilização do solo apenas na linha de semeadura, o que auxilia no manejo de plantas daninhas. É um sistema onde se tem mais domínio sobre a época de semeadura, pois a área já foi previamente preparada de forma convencional, com variação dos equipamentos utilizados de acordo com a necessidade de renivelamento da superfície do solo, sendo particularmente importante em anos de maiores precipitações pluviais no momento da semeadura. Este sistema, de fato se constitui, segundo a SOSBAI (2018), no *preparo antecipado em Plantio direto*, no sentido de *semeadura direta*.



Figura 3. Preparo antecipado do solo (a), cobertura dessecada previamente ao plantio (semeadura) direto (b) e plantas estabelecidas em lavoura entaipada (c). Fotos: a) Enio Marchesan (UFSM); b,c) Valmir G. Menezes (Irga).

d) Sistema plantio direto - fundamenta-se em três princípios básicos: movimentação mínima do solo, permanente cobertura do solo e adoção de sucessão (plantas de cobertura para formar palhada – pastejadas ou não) e rotação de culturas, com o objetivo de conservação do solo. O cultivo de arroz irrigado neste sistema (SPD) no Sul do Brasil, contrariamente ao Cultivo mínimo (no sentido de preparo antecipado), a área que também deve ser dessecada para implantação do arroz em semeadura direta, não sofre mobilização do solo, a não ser a construção de taipas. *No entanto, esta necessária mobilização do solo não se enquadra perfeitamente no conceito clássico de Sistema plantio direto, no sentido de mínima mobilização (apenas no sulco de semeadura), uso de plantas em sucessão (pastejadas ou não) e rotação de culturas* que atende, de fato, os preceitos em termos de estruturação e funcionalidade do solo.



Figura 4. Arroz em plantio direto (a), trevo-persa como planta de cobertura de outono-inverno (b) e soja irrigada em rotação (c). Fotos: a) Luiz Fernando Siqueira (Irga); b) Jamir L. Silva da Silva (Embrapa Terras Baixas); c) Enio Marchesan (UFSM).

A caracterização dos sistemas de produção utilizados na cultura do arroz irrigado visa fornecer elementos para a análise comparativa entre eles, podendo-se estabelecer suas exigências, oportunidades e necessidades de pesquisa. No entanto, a evolução da lavoura impõe a aplicação de novos conceitos e atitudes sobre o manejo dos cultivos para que continuem sendo sustentáveis à luz dos conhecimentos gerados. Neste sentido, no tópico seguinte serão apresentadas conceituações que tornam mais claro o estado atual dos sistemas de cultivo de arroz no Sul do Brasil, com ênfase em sistemas e manejos mais conservacionistas de produção de arroz.

2 Plantio Direto em Arroz Irrigado no Sul do Brasil

3.1 Diferenças na condução de arroz irrigado em sistemas de Cultivo mínimo e Plantio direto

Os principais sistemas utilizados e seus respectivos percentuais de áreas no RS na safra 2020/21, foram: sistema pré-germinado (11,19%), sistema convencional (17,03%), sistema cultivo mínimo (61,56%) e sistema plantio direto (10,22%), segundo Irga (2021). Observa-se a predominância do sistema **cultivo mínimo**, com quase dois terços da área do RS, enquanto a participação do **plantio direto** é ainda pequena e que vem ocorrendo, principalmente a partir da última década. Já no estado de Santa Catarina (SC), predomina o sistema pré-germinado, com 78% da área cultivada na safra 2019/20 (Epagri, 2020), sendo o restante com semeadura em solo seco.

A denominação do **plantio direto do arroz irrigado** utilizada no Sul do país (SOSBAI, 2018) não se enquadra perfeitamente nas definições clássicas conforme a literatura brasileira (Muzzili, 2000; Anghinoni et al., 2019). A conceituação de **plantio direto** pela SOSBAI (2018), de fato, inclui dois sistemas: o **Sistema Plantio Direto (SPD)** clássico, que atende os preceitos em termos de estruturação e funcionalidade, e o **Plantio direto** propriamente dito, no sentido de *semeadura direta sem preparo imediato do solo* à semeadura e sem, necessariamente, atender os requisitos de manejo (sucessão e rotação) de culturas, não existindo dados estatísticos do uso desses dois sistemas nas lavouras.

Por outro lado, o que é denominado de **cultivo mínimo** seguido de semeadura direta (**Plantio direto**), também não carrega em si o conceito *Minimum Tillage*, que é essencialmente caracterizado pela menor mobilização do solo: gradagem leve, subsolagem ou escarificação superficiais. Desta forma, de um lado o sistema de **cultivo mínimo** não expressa inteiramente o manejo adotado e, de outro lado, o manejo do **Sistema Plantio Direto (SPD)** é difícil de executar em ambiente de cultivo de arroz irrigado.

A maior utilização de **cultivo mínimo** sem preparo imediato do solo à semeadura utilizado no Sul do Brasil decorre em determinadas situações, especialmente quando a colheita é realizada em períodos de poucas chuvas, associado ao manejo de supressão da irrigação em pré-colheita (estado de grão pastoso), em que é possível utilizar equipamentos que não mobilizam tão intensamente o solo e é efetuado apenas para recuperar o nivelamento da área. Neste caso, o efeito da desestruturação ocorre apenas na camada superficial do solo, pois a mobilização do solo se situa numa posição intermediária entre o preparo convencional e o sistema sem preparo do solo.

3.2 Problemas e entraves relacionados ao Plantio direto no cultivo de arroz irrigado

Duas situações principais se apresentam: a) se a lavoura é de uma nova safra de arroz irrigado após arroz ou b) se é o cultivo de arroz em rotação com soja, milho ou outra espécie de sequeiro, cultivada sem presença de lâmina de água.

a) Lavoura de arroz após safra de arroz

Quando a **colheita é feita no seco**, ou seja, em situação em que não haja formação de rastros nas operações de colheita e transporte, não há necessidade de movimentação do solo para implantação do próximo cultivo de arroz. No entanto, em áreas de arroz irrigado, um dos entraves é a **ocorrência de chuvas no período da colheita**, o que promove a formação de rastros. Neste caso, há necessidade de se recuperar o nivelamento da área, perdendo-se um dos princípios do Sistema plantio direto, que é a mobilização mínima do solo.

Outro entrave é a necessidade de executar a **supressão da irrigação** do arroz, ou seja, suspender a irrigação, mas sem a realização de drenagem, o que pode implicar em redução da qualidade de grãos, se a colheita não for realizada no momento adequado. Aspectos como tipo de solo, localização da área, condições meteorológicas, cultivar, estrutura disponível de colheita e equipe de trabalho afetam o resultado e a maior ou menor adoção desse manejo.

A presença de **taipas ou curvas de nível**, utilizadas para estabelecimento de uma lâmina de água em áreas não sistematizadas, é outro entrave quando o cultivo seguinte não for arroz, pois há necessidade de desmanchar as taipas e, com isso, mobiliza-se o solo.

A **quantidade de palha** no momento da sementeira, seja ela oriunda de plantas de cobertura ou mesmo da resteva de arroz da safra anterior em ambiente de áreas de terras baixas, é uma dificuldade porque ela mantém mais umidade no solo, afetando as operações ou mesmo atrasando a sementeira. Como as janelas de sementeira são pequenas nesse ambiente, corre-se o risco de semear fora da época de maior potencial de produtividade.

b) Lavoura de arroz após safra de soja

A adoção do plantio direto na cultura do arroz após o cultivo da soja ocorre de forma natural pois, normalmente, não há mobilização do solo após a colheita da soja e, com isto, ocorre a sementeira direta no próximo cultivo de arroz, normalmente também sobre plantas de cobertura no outono-inverno, com ou sem a integração lavoura-pecuária.

3.3. Estratégias, e possibilidades para adoção do plantio direto em áreas de arroz irrigado

a) Cultivo de arroz sobre arroz

O **plantio direto** pode ser viabilizado se a **colheita da safra anterior de arroz for realizada no seco** e não houver necessidade de mobilização do solo pois, neste caso, ocorre a sementeira direta do arroz sem necessidade de preparo da área ou de construção de taipas. Por outro lado, quando há necessidade de preparo antecipado da área, ocorre a sementeira direta em área preparada previamente. O método de **irrigação por pivô** viabiliza a adoção de plantio direto em arroz, pois não há necessidade de taipas e, com isto, também não há mobilização do solo.

b) Arroz em rotação com soja e outros cultivos de sequeiro

Uma das estratégias que pode ser utilizada em áreas de arroz irrigado, é o **cultivo da soja**, principalmente, e de outras culturas de sequeiro em rotação. Na safra 2020/21, a área cultivada com soja em rotação com arroz foi recorde (370.532 ha), com produtividade média de 3.14 t/ha, representando 39,17% da área de cultivo de arroz e está aumentando em função dos ganhos proporcionados ao sistema (Irga, 2021). Em lavouras de soja, milho ou sorgo em rotação com arroz irrigado, a colheita pode ser realizada com menor grau de umidade do solo, promovendo menor desestruturação da sua superfície. Além do aspecto solo, fica muito facilitada a implantação de plantas de cobertura em sucessão no outono-inverno e, com isso, amplia-se os princípios do sistema plantio direto.

Os **Sistemas integrados de produção agropecuária (SIPA)** (Figura 5), coloquialmente denominados de **Sistemas de integração lavoura-pecuária (SIP)-Floresta (SILP)** apresentam-se como uma estratégia de uso intensivo e diversificado da propriedade que, entre outros benefícios, os animais bem manejados regulam a quantidade de massa vegetal no momento da sementeira das culturas de primavera-verão. Sua utilização tem resultado em incremento na produtividade de arroz irrigado em relação ao seu monocultivo. Para aqueles que não têm essa possibilidade de integração, a quantidade de palha remanescente no momento da sementeira pode ser manejada através de pastejo controlado ou da época de dessecação. Esta é uma prática de manejo que está em fase de plena conscientização e com muita demanda de informação técnica e científica.



Figura 5. Vista do experimento de sistema integrado de produção arroz/azevém pastejado/soja em plantio direto. Fazenda Corticeiras no município de Cristal RS. Fonte: Carmona et al. (2018).

Os benefícios da inserção do animal e da rotação com soja no cultivo do arroz em manejo conservacionista do solo (plantio direto) podem ser obtidos em curto prazo, conforme evidenciado em experimento com diferentes sistemas de manejo (Figura 6).

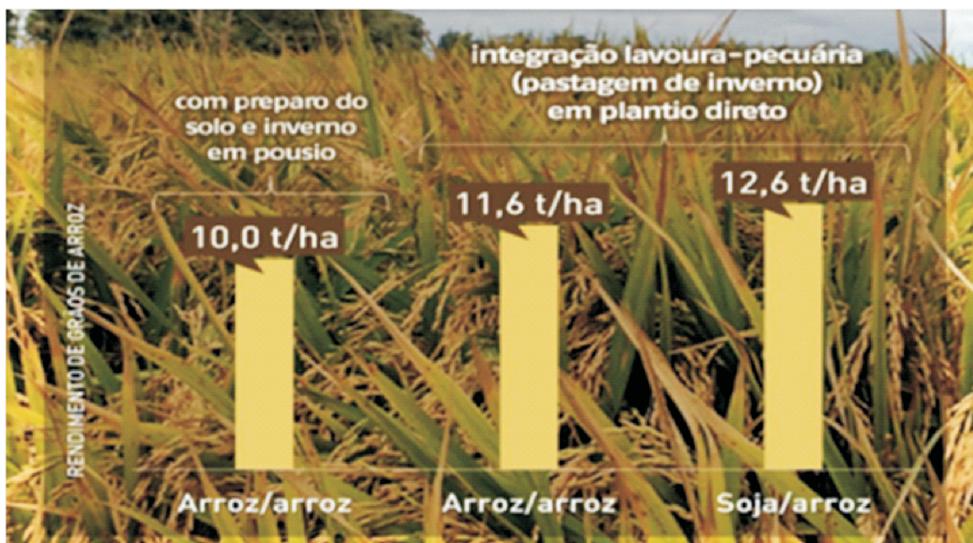


Figura 6. Produtividade de grãos de arroz irrigado em diferentes sistemas de produção: arroz/pousio/arroz em preparo convencional e arroz/azevém pastejado/arroz e arroz/azevém pastejado/soja em plantio direto. Fonte: Denardin, L. G.O. Momento você sabia, Aliança SIPA (2021).

3.4 Demandas de pesquisa e tecnologia para facilitar a adoção e aumentar a área de cultivo de arroz irrigado em plantio direto

A **quantidade de palha** deixada pelos cultivos de outono-inverno utilizados como plantas de cobertura ainda é um aspecto de manejo que precisa ser melhor entendido. Esta questão é particularmente importante em áreas sem integração com pecuária. Começa pela dificuldade de melhor dimensionamento do retorno econômico de implantar os cultivos apenas como planta de cobertura, em função dos custos e pela dificuldade de quantificar um retorno direto e imediato do investimento.

Outro aspecto de manejo refere-se à necessidade de **drenagem das áreas** para que as espécies de sequeiro (plantas de cobertura e/ou adubação verde, pastagem e cultivos comerciais) tenham desenvolvimento adequado e possam auxiliar na ciclagem de nutrientes e no controle e manejo de plantas daninhas. Em função da localização geográfica das áreas e da proximidade com a rede de recursos hídricos, em diversas situações, há necessidade de projetos específicos para cálculo, localização e implementação da rede de drenagem na área, implicando em custos. Por outro lado, a manutenção e a permanente recuperação do sistema de macro e microdrenagem da área exige equipe capacitada e motivada.

Há, ainda, a necessidade de viabilizar o uso de outras espécies de outono-inverno, além do azevém, que é a mais largamente utilizada. Além da aveia, o estudo de espécies **leguminosas de crescimento rápido, como o trevo-persa**, é um aspecto muito importante para que possa ser economicamente viável seu uso no curto espaço de tempo da entressafra dos cultivos de primavera-verão. A contribuição dessas espécies ocorre também pela possibilidade de adubação verde. Necessita-se estudos sobre a propagação de eventuais pragas, doenças e plantas daninhas, comuns em cultivos de

primavera-verão e de outono- inverno, que é uma preocupação em sistemas de rotação e sucessão de cultivos. Estudos interdisciplinares são fundamentais para poder se observar o sistema de produção como um todo e não em áreas de conhecimento isoladas.

O **manejo de plantas daninhas** no período do outono-inverno é outro desafio. Com a melhoria nos processos de drenagem das áreas, espécies de plantas daninhas de ambiente de terras altas estão cada vez mais presentes em ambiente de terras baixas. Há carência de herbicidas para executar o controle químico de espécies de folhas largas em áreas com leguminosas, utilizadas de forma isolada ou em misturas com outras espécies.

3 Manejo do Arroz Irrigado em Sistemas de Produção

O cultivo de arroz irrigado por inundação da área exige a realização do nivelamento da superfície da área para que a altura da lâmina de água seja o mais uniforme possível, tanto em área com taipas, que são estruturas construídas para viabilizar a manutenção de lâmina de água em áreas com declividade, como em áreas sistematizadas, que envolve o nivelamento dentro dos talhões. Durante as operações de colheita e transporte de grãos, é comum a formação de rastros, sendo necessário recuperar o nivelamento da superfície do solo para o cultivo seguinte. Este trabalho implica em refazer as taipas também, envolvendo a mobilização do solo. Uma alternativa a este manejo, dependendo principalmente do volume e da distribuição de chuvas no período, é a realização da colheita no seco, para que não haja a necessidade de mobilizar o solo para implantar o próximo cultivo.

Cultivos ditos de sequeiro, como a soja, principalmente, estão ocupando cada vez mais áreas em rotação com o arroz, com maiores exigências em termos de drenagem para minimizar estresses por deficiência hídrica e de oxigênio. A irrigação das culturas de sequeiro, por outro lado, exige planejamento diferente do utilizado em arroz e, com isto, há a necessidade de projetos técnicos elaborados considerando também o aspecto ambiental em função da localização das áreas de arroz estarem mais próximas de fontes de água.

A presença de cultivos como a soja, especialmente, traz consigo a facilidade de implantação de cultivos de outono-inverno, como plantas de cobertura ou para adubação verde, sendo uma ótima oportunidade de realizar a integração com pecuária, agora num sistema tecnológico em patamar de uso mais intensivo. Assim, a diversificação de cultivos está ocorrendo de forma rápida. O azevém é a espécie mais amplamente utilizada, mas à medida que ocorre maior controle da drenagem das áreas, observa-se também a expansão da área de aveia-preta e inicia-se estudos sobre mix de plantas de cobertura. Espécies leguminosas como trevos são utilizadas, sendo o trevo-persa a de uso mais recente.

Assim, o uso mais intensivo e diversificado da área precisa ser também sustentável, sendo cada vez mais técnico o manejo dessas espécies, pois envolve, dentre outros aspectos, maiores conhecimentos sobre o manejo de plantas daninhas, de herbicidas e seus residuais no solo, a fertilidade do solo, como manejo da adubação e da calagem, o manejo da palhada das plantas de cobertura e da resteva do arroz, além da utilização de cultivares das espécies de sequeiro mais adaptadas a esse ambiente.

Assim, é necessário entender os processos para manejar um sistema de produção e não apenas os cultivos isolados (Figura 7). Este é o grande desafio, não apenas tecnologicamente no sistema de produção, mas também na formação e na capacitação de recursos humanos no ambiente de produção em áreas de arroz irrigado.



Figura 7. Arranjo das áreas em sistemas de cultivo de arroz irrigado em rotação com soja e milho. Grupo de Pesquisa de Arroz Irrigado da UFSM (GPAI), Santa Maria RS. Foto: Enio Marchesan (UFSM).

4 Considerações Finais

A cadeia de produção de arroz irrigado busca alternativas para implantar a lavoura, se possível, sem ou com mobilização mínima do solo. Mas, em função da localização geográfica das áreas e da presença de lâmina de água na área durante quase todo o ciclo da planta de arroz, normalmente há formação de rastros durante as operações de colheita e transporte de grãos. Assim, a recuperação do nivelamento da área implica em mobilização do solo, bem como a confecção de taipas quando o próximo cultivo de primavera-verão for arroz irrigado por inundação. Esta necessidade de preparo da área dificulta, em muito, a implantação do Sistema plantio direto nesse ambiente, tal como caracterizado para terras altas.

O Plantio direto com preparo antecipado, realizando-se a semeadura direta do arroz, é o sistema mais adotado, sendo denominado de Cultivo mínimo pela SOSBAI (2018). Busca-se, cada vez mais, manejos em que não haja necessidade de mobilização do solo, como a colheita do arroz no seco e sem necessidade de recuperação de taipas; mas isto nem sempre é possível, em função da ocorrência de chuvas no período da colheita. Como se observa, a necessidade de entaipar a lavoura para irrigar a área por inundação limita o Sistema plantio direto em arroz.

O cultivo de arroz em sistema de irrigação por pivô, por outro lado, representa a possibilidade de viabilizar o Sistema plantio direto em arroz, pois não envolve necessidade de mobilização do solo, contempla a rotação/sucessão de culturas, tanto na primavera-verão como no outono-inverno. No entanto, a área utilizada com esse sistema é ainda pouco expressiva no ambiente de arroz irrigado.

REFERÊNCIAS

ANGHINONI I, MARTINS AP, CARMONA FC. Inter-relação manejo e atributos químicos do solo. In: BERTOL I, MARIA IC, SOUZA LS, organizadores. **Manejo e conservação do solo e da água**. 1 ed. Viçosa: SBCS; 2019. p. 251-279

CARMONA FC, DENARDIN LGO, MARTINS AP, ANGHINONI I, CARVALHO PCF. **Sistemas integrados de produção agropecuária em terras baixas**. Porto Alegre: Gráfica e Editora RJR, 2018. 118 p.

CONAB. Acesso em 18 de agosto de 2021. <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/IRGA>. Acesso realizado em 18 de agosto de 2021. <https://irga.rs.gov.br/safras>

DATER (Divisão de Assistência Técnica e Extensão Rural), Seção de Política Setorial e meteorologista Jossana Ceolin Cera, Coordenadorias Regionais e NATEs (Núcleos de Assistência Técnica e Extensão). **Boletim de Resultados das Lavouras de Arroz Irrigado e de Soja em Rotação em Terras Baixas no RS – Safra 2020/21**: Condições meteorológicas e seus impactos sobre as lavouras de arroz irrigado e soja em rotação em terras baixas. 14 p.

DENARDIN LGO. Impacto de curto prazo dos sistemas integrados de produção agropecuária (SIPA) na lavoura arrozeira de terras baixas do Rio Grande do Sul. Acesso em 21 de setembro de 2021. <https://aliancasipa.org/categoria-biblioteca/momento-voce-sabia/>

EPAGRI/CEPA. **Boletim Agropecuário**. Setembro/2021, Florianópolis, 2021, 47p. (Epagri. Documentos, 345), ISSN: 0100-8986 (impresso),ISSN: 2674-9521 (on-line).

MUZZILI O. A fertilidade do solo no sistema plantio direto. In: **Anais Simpósio sobre Fertilizantes de Solo e Nutrição de Plantas no Sistema Plantio Direto**; 2000; Ponta Grossa, Brasil. Ponta Grossa: AEGCG; 2000. p. 1-16.

SOSBAI. Arroz Irrigado. **Recomendações técnicas da pesquisa para o sul do Brasil**. 2018. Acesso em 18 de agosto de 2021. https://www.sosbai.com.br/uploads/documentos/recomendacoes-tecnicas-da-pesquisa-para-o-sul-do-brasil_906.pdf.

Sistema Plantio Direto de Hortaliças (SPDH): Experiências em Santa Catarina

Eng. Agr. Marcelo Zanella, MSc. Darlan Rodrigo Marchesi e
MSc. Leandro do Prado Wildner

1. Introdução

A exigência por alimentos saudáveis, livres de agroquímicos, de alto valor biológico e produzidos a partir de fundamentos sustentáveis é uma demanda de toda sociedade, sobretudo quando se trata de alimentos como as hortaliças, cujo consumo remete diretamente a promoção de saúde ao consumidor. Além disso, é crescente a demanda por sistemas agrícolas que promovam a construção de ambientes saudáveis e produtivos, como o que propõe o Sistema Plantio Direto de Hortaliças (SPDH).

Entretanto, o sistema produtivo predominante no cultivo de hortaliças é o sistema convencional. Neste sistema há elevada dependência do agricultor, uso intensivo do solo, de máquinas e de agroquímicos, além do reduzido aporte de carbono orgânico ao solo. Essa condição simplificada de cultivo empobrece o sistema, tornando as plantas vulneráveis aos estresses, comprometendo a produção, a qualidade dos alimentos e dos recursos naturais, além de elevar o custo de produção.

Neste contexto, inserido na realidade dos agricultores, o SPDH se apresenta como método de transição com base ecológica para produção de hortaliças saudáveis, promovendo, de forma surpreendente para alguns, o aumento da produtividade e a redução dos custos de produção. Isso se torna possível pois, são aliados fundamentos que possam, gradualmente, tornar mais equilibradas as relações presentes nos am-

bientes de cultivo e na paisagem desenhada pela agricultura familiar. Estes ambientes são formados por lavouras, pastagens, pomares, florestas, bosques e corredores ecológicos interligando córregos e rios e conspiram com o desejo em promover saúde para os alimentos e para a sociedade em geral (Figura 1).



Figura 1. Agricultura Familiar de Montanha com florestas, bosques e corredores ecológicos com lavouras de brássicas cultivadas em SPDH. Marcelo Zanella, Angelina, SC, 2020.

2. Como tudo começou

Há mais de vinte anos a Epagri iniciou o SPDH em Santa Catarina, agregando a pesquisa agropecuária e a extensão rural com os agricultores e instituições parceiras como o Centro de Ciências Agrárias, da Universidade Federal de Santa Catarina (CCA/UFSC, Florianópolis, SC) e o Centro de Ciências Agroveterinárias, da Universidade do Estado de Santa Catarina (CAV/UDESC, Lages, SC). O desenvolvimento do método se pautou na necessidade de construir um sistema de produção, que além de diminuir expressivamente as perdas de solo, água e nutrientes, também promovesse a gradativa eliminação do uso de agrotóxicos e adubos altamente solúveis, diminuindo o custo ambiental e de produção, mantendo ou até aumentando o rendimento das culturas e promovendo o conforto do trabalho humano e a saúde dos trabalhadores e consumidores. Estas instituições vêm desenvolvendo o SPDH a partir de Lavouras de Estudo (LE), pesquisa com participação da comunidade, cursos, viagens de estudos, encontros de socialização de resultados entre lavoureiros e comunidade, palestras e publicações como forma de divulgar os conhecimentos gerados.

Vale salientar que o SPDH é uma proposta de transição para toda a agricultura familiar que pratica o sistema convencional ou industrial, capaz de dinamizar as transformações nos sistemas de produção e consumo de alimentos, para que evoluam em direção da complexidade, promovendo a saúde de plantas e melhorando as relações de consumo entre produtores, mercado e consumidores.

O SPDH surgiu como uma resposta tecnológica ao cultivo de hortaliças nos modelos convencional e cultivo mínimo, e como avanço tecnológico ao plantio direto na palha; além disso o SPDH aprimorou o conceito de “transição” de um modelo de agricultura fragilizado e dependente para outro mais equilibrado e autônomo. Também ampliou os conceitos e melhorou as práticas de manejo sobre a rotação de adubos verdes e de culturas, o manejo da água, a necessidade de produzir, no mínimo, 10 toneladas de fitomassa (MS ha⁻¹ ano) com plantas de cobertura que compõem o plano de rotação (Figura 2) como preceito básico para a prática do sistema.



Figura 2. Área cultivada com aveia preta (*Avena strigosa*) para cobertura do solo (8 t de fitomassa MS/ha) preparada para o plantio de mudas de melancia. Álvaro Roberto Poletto, Caibi, SC, 2020.

Estes conceitos e práticas foram adotados e aprimorados nos experimentos conduzidos em várias regiões de Santa Catarina através de lavouras de estudos em áreas de cultivo de tomate, berinjela, pimentão, melancia, moranga híbrida, pepino, chuchu, couve-flor, repolho, brócolis, cebola, mandioquinha-salsa, mandioca, rúcula e alface. Este processo possibilitou agregar os conceitos da “transição agroecológica”, da convivência das plantas comerciais com plantas espontâneas, o plantio direto no verde, o aperfeiçoamento e ampliação do eixo técnico-científico na promoção de saúde e conforto de plantas, a rotação de culturas em um complexo arranjo de adubos verdes, culturas comerciais e animais manejados em Sistema de Pastoreio Racional Voisin (PVR).

3. O Método SPDH

Atualmente, a base evolutiva do SPDH está fundamentada em dois eixos interdependentes: o político-pedagógico e o técnico-científico. No eixo político-pedagógico, dentro da concepção metodológica assumida na construção do SPDH, o início dos trabalhos com indivíduos e coletivos de agricultores familiares, agentes de Assistência Técnica e Extensão Rural - ATER, estudantes, pesquisadores, professores é pactuado um compromisso mediante ao que foi denominado de “Contrato de Trabalho”. Este contrato, firmado entre agricultores e agentes de ATER, é documentado na forma de uma linha do tempo, momento que são definidas as Lavouras de Estudo (LE) que serão instaladas nas propriedades rurais.

Nesta linha do tempo também ficam registradas as atividades programadas para um ano, como as datas das discussões e cursos sobre os princípios e técnicas do SPDH, de implantação das LE, das visitas de agentes de ATER aos lavoureiros e a outros agricultores, de viagens de estudo, do encontro para socialização dos resultados e, por fim, para a renovação ou não do contrato para mais um ano de trabalho.

A importância do estabelecimento desse compromisso mútuo gerado a partir do contrato de trabalho, o qual pode, a qualquer tempo, ser alterado, para exclusão ou inclusão de atividades, a partir de negociações entre as partes envolvidas, vai muito além da orientação para a execução das ações e atividades planejadas. Ele exerce principalmente o papel de um instrumento político-pedagógico, que permite mediar conhecimentos técnico-científicos e populares e realizar avaliações constantes, bem como facilitar a visualização, pelos novos participantes, dos passos já trilhados no SPDH. Através do contrato se efetiva a continuidade e a evolução do processo.

As Lavouras de Estudos (Figura 3) são pequenas áreas, dentro das lavouras comerciais, que passarão a ser conduzidas sob os princípios do SPDH. Assim as LE constituem-se em verdadeiros locais de mediação dos conhecimentos popular e científico, onde lavoureiros e técnicos (agentes de ATER, pesquisadores, professores e estudantes) se capacitam ao interpretarem e praticarem os passos para a construção do novo sistema de produção e de relacionamento entre os envolvidos no processo. Para dar conta da demanda formalizada no contrato de trabalho, é de fundamental importância que o agente de ATER (extensionista) também seja um pesquisador, fazendo alguns experimentos junto às LE e acompanhando outros, nas Estações Experimentais. Desta forma, a pesquisa tradicional realizada nas Estações Experimentais desempenha um papel de ferramenta complementar a outra forma de pesquisa fortemente imbricada na realidade dos cultivos das propriedades acompanhadas, na qual lavoureiros e técnicos estudam e interagem.

A propriedade rural se transforma em local de produção, adaptação, aplicação de tecnologias e construção do conhecimento em SPDH. Por outro lado, a estrutura das Estações Experimentais da EPAGRI representada por equipamentos, laboratórios, pessoal de campo e área experimental, bem como a estrutura das universidades também devem estar acessíveis aos extensionistas e profissionais da agricultura. Desta forma, quando conectados à realidade dos sistemas de produção de alimentos da agricultura familiar, as instituições de ensino e pesquisa poderão atender as demandas de pesquisa para a adoção do SPDH, em temas como, por exemplo, controle biológico, desenvolvimento de máquinas e equipamentos, produção de sementes de adubos verdes, rotação de culturas e de criações no sistema de pastoreio racional Voisin (PRV), nutrição de plantas, fisiologia da produção, entre tantos outros.

No eixo técnico-científico, umbilicalmente conectado ao eixo político-pedagógico, o princípio central é a promoção da saúde de planta, tendo como base:

- Promoção do conforto da planta, orientada pela minimização de estresses nutricionais, de salinidade, de disponibilidade de água, de temperatura (Figura 4), de luminosidade, de pH, de velocidade de difusão do ar, entre outros. O uso de arranjos espaciais associados à arquitetura do sistema radicular, ao tamanho da planta e à quantidade de frutos, conforme as necessidades de cada cultura, auxilia na obtenção das melhores condições para obter o conforto de planta. São exemplos a poda da moranga, melancia e chuchu, a verticalização do sistema de condução no tomate e o uso de indutores de resistência em plantas.



Figura 3. Propriedade com Lavoura de Estudos em áreas de produção de couve-flor e tomate. Marcelo Zanella, Angelina, SC, 2020.



Figura 4. Cobertura do solo proporcionada pelo manejo de adubos verdes/plantas de cobertura promovendo conforto para o desenvolvimento de couve-flor. Marcelo Zanella, Angelina, SC, 2019.

- Nutrição de planta com base nas taxas diárias de absorção de nutrientes, adequando-a às condições ambientais, às reservas nutricionais do solo e aos sinais aparentes apresentados pela planta;
- Rotação de culturas e de adubos verdes (cultivados e espontâneos) (Figura 5) de forma que os cultivos comerciais sejam sempre intercalados com adubos verdes de inverno e de verão, evoluindo para a rotação com animais manejados no sistema de Pastoreio Racional Voisin, caracterizando-se, também, como um sistema de integração lavoura-pecuária;



Figura 5. Rotação de culturas e de adubos verdes (cultivados e espontâneos) mantendo o solo coberto durante o ano todo. Marcelo Zanella, Angelina, SC, 2018.

- Adição de fitomassa (MS) superior a 10 toneladas por hectare e por ano por meio de arranjos planejados de rotação de culturas com as hortaliças e adubos verdes/plantas de coberturas. Esta prática possibilita a reposição da matéria orgânica no sistema (Figura 6), além de ativar diversos processos químicos, físicos e biológicos, fundamentais para a promoção do conforto e da saúde de plantas;
- Revolvimento do solo restrito às linhas de plantio ou berços de semeadura (Figura 7) evitando exposição do solo, inibindo a ocorrência de erosão na área de produção, diminuindo os estresses, a germinação de plantas espontâneas e, conseqüentemente, o uso de herbicidas;
- Amostragem estratificada do solo para análise química, identificando e corrigindo as concentrações dos macros e micronutrientes no perfil do solo, além do acompanhamento evolutivo de seus atributos físicos e biológicos através do emprego da metodologia do perfil cultural do solo;
- Manejo de adubos verdes/plantas espontâneas de forma que possam melhorar o sistema, sendo plantas mais adaptadas às condições locais, mas com o cuidado de não prejudicar a produção da cultura econômica, evoluindo para o plantio direto no verde (estratégia eficiente para eliminar o uso dos herbi-

cidas) com diversificação de plantas durante o ciclo das culturas comerciais, favorecendo e aumentando a biodiversidade, a atividade biológica, a ciclagem de nutrientes, reduzindo os problemas fitossanitários e mantendo e/ou recuperando a fertilidade do solo. (Figura 8, 9,10, 11 e 12);



Figura 6. Perfil de solo em área manejada sob os princípios do SPDH, após dez anos de implantação. Marcelo Zanella, Anitápolis, SC, 2019.



Figura 7. Área com plantas de cobertura de inverno após o manejo mecânico (acamamento) pronto para receber mudas de hortaliças. Josinei Antônio Tissi, Monte Castelo, SC, 2015.



Figura 8. Plantio direto de tomate com vegetação espontânea nas entrelinhas para cobertura do solo, também chamado plantio direto no verde. Marcelo Zanella, Anitápolis, SC, 2017.



Figura 9. Plantio direto de berinjela com vegetação espontânea nas entrelinhas manejada com roçadeira, também chamado plantio direto no verde. Marcelo Zanella, Águas Mornas, SC, 2018.



Figura 10. Plantio direto de pimentão como vegetação espontânea para cobertura do solo, também chamado plantio direto no verde. Marcelo Zanella, Anitápolis, SC, 2017.



Figura 11. Plantio direto de chuchu em palhada de plantas de cobertura de inverno e vegetação espontânea, também chamado plantio direto no verde. Marcelo Zanella, Anitápolis, SC, 2020.



Figura 12. Plantio direto de couve-flor com vegetação espontânea manejada com roçadeira, também chamado plantio direto no verde. Marcelo Zanella, Águas Mornas, SC, 2019.

4. Resultados e contribuições

O desenvolvimento de conhecimentos e tecnologias nas diversas culturas conduzidas em SPDH tem contribuído para melhorar a qualidade dos alimentos e a confiança da cadeia produtiva e dos consumidores. Este reconhecimento tem possibilitado a ampliação gradativa das áreas de cultivo. Além disso, as diversas vantagens proporcionadas pelo sistema, como redução de custos, resiliência no enfrentamento das mudanças climáticas e a alta produtividade tem possibilitado ampliação constante e adesão de novas propriedades. Só em 2019, a Epagri orientou as famílias rurais catarinenses no planejamento e na execução de 150 hectares de novas áreas. Em 2020 aproximadamente 4 mil hectares, em mais de 1,3 mil propriedades rurais catarinenses, foram cultivados sob os princípios do SPDH, o que representa em torno de 10% da área plantada com hortaliças no Estado.

Os impactos econômicos gerados pelo SPDH estão baseados na redução de custo de implantação e condução dos cultivos, na melhoria da produtividade e na oferta de produtos com alta qualidade biológica. As lavouras em SPDH são conduzidas de forma a maximizar o uso dos recursos disponíveis na propriedade (terra, água e mão-de-obra). Este aumento de eficiência produtiva tem gerado redução dos custos de produção devido à minimização do uso de agroquímicos e mão-de-obra (ZANELLA; TORESAN, 2021).

Os resultados alcançados até o momento demonstram a eficiência do sistema com redução média de 50% no custo de produção das hortaliças. A melhoria no manejo a campo e a condição de saúde das plantas permite reduzir em 35% as perdas pela qualidade na colheita. Além disso, as taxas de infiltração de água no solo chegam a ser três vezes maiores que no sistema convencional; desta forma, a redução média no uso de água para irrigação pode chegar até 80%.

Na cadeia produtiva do tomate e pimentão, grandes vilões no uso de agrotóxicos, o sistema tem permitido reduzir em 60% o uso de fungicidas, em 100% o uso de herbicidas e em 60% o uso de adubos químicos solúveis, mantendo a produtividade quando comparada ao sistema convencional. No cultivo de cebola, além de reduzir em 60% o uso de adubo químico e em mais de 40% o uso de fungicidas, o SPDH tem permitido estender mais 60 dias o período de armazenagem sem perder qualidade dos bulbos.

Outra hortaliça cujos resultados em SPDH surpreendem os agricultores é o chuchu. Os olericultores têm conseguido eliminar totalmente o uso de herbicidas e fungicidas, em 80% o uso de inseticidas e em 70% os adubos químicos. Nas propriedades em que há aplicação integral dos princípios do SPDH, registrou-se aumento de 100% na produtividade quando comparada ao método convencional.

Nos cultivos couve, repolho e brócolis, a redução de uso de fungicidas, bactericidas e nematocidas alcança 90%. Em comparação ao cultivo convencional, a redução no uso de adubos é de 60% e de herbicidas e inseticidas é de 70%.

Além de alimentos mais seguros e com preço justo, a redução no uso de insumos proporciona renda ao produtor, preservação ambiental e qualidade de vida as famílias no campo, atraindo jovens produtores para permanecer ou retornar à produção de alimentos.

Quanto ao aspecto social, o SPDH tem trazido avanços relacionados à adoção de metodologias participativas, à construção coletiva e à apropriação do conhecimento por parte tanto de técnicos como agricultores e na organização das famílias. Também tem provocado mobilização, conscientização e articulação dos agricultores familiares para reflexão sobre um sistema de produção que leva a diminuição, até a eliminação, de agroquímicos, o que possibilita atingir o objetivo de promover uma agricultura limpa. Além disso, o SPDH proporciona um ambiente de trabalho saudável, que valoriza a qualidade não só dos agricultores como também dos consumidores (ZANELLA; TORESAN, 2021).

Na avaliação ambiental, o SPDH tem proporcionado enormes ganhos com redução e, em alguns casos, até eliminação do uso de agroquímicos. A mínima mobilização e a proteção permanente do solo com plantas de cobertura e/ou plantas espontâneas tem promovido, eficientemente, o controle da erosão, melhorando a estrutura do solo e aumentando a infiltração, armazenamento e qualidade da água. A elevação dos níveis de matéria orgânica e o aumento da biodiversidade tem proporcionado condições para que as plantas se desenvolvam de forma saudável e produzam alimentos de alta qualidade biológica e nutricional (ZANELLA; TORESAN, 2021).

5. Avanços e perspectivas do SPDH

A busca para que a olericultura catarinense seja conduzida adotando os princípios do SPDH é contínua e prioritária, demonstrando, como empresa pública, o comprometimento da Epagri na busca de qualidade de vida das famílias rurais e de alimento seguro para os consumidores. Como estratégia, a empresa vem adaptando o sistema para quase todas as hortaliças, de forma a oferecer alternativa de transição para todas as culturas. O tomate, a cebola, o chuchu, a couve-flor e brócolis, o repolho e a melancia são as hortaliças em SPDH que têm sido mais acompanhadas pela assistência técnica e extensão rural, em função da área de cultivo. No entanto faz-se necessário registrar que o SPDH tem avançado em conhecimento para produção de mandioquinha-salsa, alface, rúcula, moranguinho, beringela, pimentão, moranga,

entre outras; além disso, os princípios do SPDH estão sendo estudados e usados inclusive para outras culturas tradicionais, mesmo não sendo hortaliças, tais como aipim, maracujá e, até grãos (soja, já em início de estudo).

Atualmente o SPDH está sendo adotado em todo o território catarinense, muito embora esteja mais concentrado nas regiões da Grande Florianópolis, Vale do Itajaí e Sul Catarinense. Devido ao seu grande impacto, o SPDH também já está sendo utilizado no Paraná, Rio Grande do Sul, Espírito Santo, Bahia, Rio de Janeiro, São Paulo e Brasília. No entanto, já existem demandas em todo o território brasileiro para a implantação deste sistema em áreas de produção de hortaliças em geral. A Embrapa Solos (Rio de Janeiro), segundo Madeira et al. (2019), lançou o sistema de produção TOMATEC – Tomate Ecologicamente Cultivado, cujo objetivo é a redução significativa dos resíduos de agroquímicos através do uso de boas práticas de produção, dentre elas os princípios do SPDH, o tutoramento vertical, a fertirrigação, o manejo integrado de pragas e o ensacamento de cachos de tomate. Já o Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná – IDR Paraná, definiu o SPDH como o sistema básico para produção de hortaliças no estado e está investindo significativamente tanto na geração de conhecimentos (pesquisa) quanto na capacitação de seus técnicos para a difusão do sistema em todo o território paranaense. E, também é importante registrar que a Embrapa Hortaliças (DF) também tem desenvolvido várias tecnologias para uso em SPDH nas condições dos Cerrados e de regiões produtoras tradicionais de hortaliças tais como a região Serrana do Rio de Janeiro (Madeira et al., 2019).

Para apoiar a difusão dos princípios e a adoção do SPDH, a Epagri publicou os Boletins Didáticos BD 57 (Epagri, 2004), BD-104 (Fayad et al., 2015), BD-131 (Fayad et al., 2016), BD-132 (Fayad et al., 2016), BD-146 (Fayad et al., 2018) e BD-147 (Fayad et al., 2018) que estão à disposição dos interessados para download gratuito através do link <https://www.epagri.sc.gov.br/index.php/solucoes/publicacoes/boletim-didatico/>. Além dos BD, o livro “Sistema de Plantio Direto de Hortaliças: método de transição para um novo modo de produção” (Fayad et al., 2019), a maior publicação técnica sobre o sistema, também pode ser baixado gratuitamente através do link <https://www.epagri.sc.gov.br/index.php/solucoes/publicacoes/livros/>.

REFERÊNCIAS

EPAGRI. **Sistema de Plantio Direto de Hortaliças**: o cultivo do tomateiro no Vale do Rio do Peixe, SC, em 101 respostas dos agricultores. Florianópolis, SC: Epagri, 2004. 53p. (Epagri. Boletim Didático, 57).

FAYAD, J.A.; COMIN, J.J.; BERTOL, I. (Coords.) **Sistema de Plantio Direto de Hortaliças (SPDH)**: cultivo moranga híbrida Tetsukabuto. Florianópolis, SC: Epagri, 2015. 54p. (Epagri. Boletim Didático, 104).

FAYAD, J.A.; COMIN, J.J.; BERTOL, I. (Coords.) **Sistema de Plantio Direto de Hortaliças (SPDH)**: o cultivo do tomate. Florianópolis, SC: Epagri, 2016. 87p. (Epagri. Boletim Didático, 131).

FAYAD, J.A.; COMIN, J.J.; BERTOL, I. (Coords.) **Sistema de Plantio Direto de Hortaliças (SPDH)**: o cultivo das brássicas – couve-flor, brócolis e repolho. Florianópolis, SC: Epagri, 2016. 86p. (Epagri. Boletim Didático, 132).

FAYAD, J.A.; COMIN, J.J.; KURTZ, C.; MAFRA, A. (Orgs.) **Sistema de Plantio Direto de Hortaliças (SPDH)**: o cultivo da cebola. Florianópolis, SC: Epagri, 2018. 78p. (Epagri. Boletim Didático, 146).

FAYAD, J.A.; COMIN, J.J.; KURTZ, C.; MAFRA, A.; MADEIRA, N.R. (Orgs.) **Sistema de Plantio Direto de Hortaliças: o cultivo da mandioquinha-salsa**. Florianópolis, SC: Epagri, 2018. 60p. (Epagri. Boletim Didático, 147).

FAYAD, J.A.; ARL, V; COMIN, J.J.; MAFRA, A.L.; MARCHESI, D.R.(Orgs.) **Sistema de plantio direto de hortaliças: método de transição para um novo modo de produção**. 2ed. Florianópolis, SC: Epagri, 2019. 428p.

MADEIRA, N.R.; LIMA, C.E.P.; CASTRO E MELO, R.A.; FONTENELLE, M.R.; SILVA, J. da; MICHEREFF FILHO, M.; GUEDES, I.M.R. **O Cultivo do tomateiro em Sistema de Plantio Direto de Hortaliças (SPDH)**. Brasília, DF: Embrapa Hortaliças, 2019. 29. (Embrapa. Circular Técnica, 168).

ZANELLA, M.; TORESAN, L. Sistema de Plantio Direto de Hortaliças – SPDH. In: EPAGRI. **Relatório de avaliação dos impactos das tecnologias/ações geradas pela Epagri – 2020**. Florianópolis, SC: Epagri, 2021. 9p. (Relatório interno Epagri para confecção do Balanço Social Epagri 2021).

Sistema Produtivo do Café em Plantio Direto/Cultivo mínimo/Conservacionista

Dr. Kleso Silva Franco Júnior, Dr. Ademir Calegari e Dr. Márcio de Souza Dias

Introdução

A Cafeicultura Brasileira foi impulsionada nas últimas décadas pelas adoções de tecnologias que permitiram incrementos expressivos de produtividade. A agricultura de forma geral foi beneficiada por estas tecnologias, destacando-se o sistema plantio direto, que especialmente em condições de solos tropicais, oferece profundos benefícios em relação à parte ambiental, como proteção, conservação de água e solo além de melhorias que propiciam aumento de produtividade. Entretanto, também a agricultura brasileira vem sentindo os efeitos das mudanças climáticas, e problemas relacionados a redução da disponibilidade de recursos hídricos. Estes efeitos podem ser mitigados com a adoção de práticas de manejo sustentáveis como é o caso do Sistema Plantio Direto (SPD).

No Brasil, as principais regiões produtoras de café estão localizadas em regiões montanhosas, por isso a adoção de práticas de conservação de solo e água são fundamentais, destacando-se entre estas práticas, o sistema plantio direto, visando a redução do revolvimento do solo e a melhor proteção e cobertura do solo, apesar da existência de controvérsias, dúvidas sobre esta técnica. Muitas vezes os questionamentos e insucessos na adoção e uso deste sistema estão relacionado a falta de adequado diagnóstico, planejamento e recomendações técnicas. Vários trabalhos de pesquisas, bem como a experiência de diversos produtores de referência, utilizando técnicas agrônômicas bem fundamentadas, apresentam dados satisfatórios e positivos com a utilização do sistema, como melhores taxas de armazenamento de água no solo, melhoria das condições químicas, físicas e biológicas do solo, além do resultado final que é a maior produtividade, destacando-se como uma pratica extremamente sustentável.

Cafeicultura Brasileira

O Brasil produziu, na safra 2020/21, aproximadamente 48,8 milhões de sacas de café no seu parque cafeeiro, o que corresponde a mais de 2,2 mil hectares, sendo 68% desta produção de café Arábica e 32% de Canephora. Destaca-se ainda que o país é o maior exportador mundial (CONAB, 2021). Esta produção está localizada nos estados de Minas Gerais, que produz aproximadamente 50% da safra nacional, seguido pelo Espírito Santo 27%, São Paulo 8%, Bahia 8%, Rondônia 4% e outros estados 3%.

A distribuição da cafeicultura no País é bem diversificada em condições de produção, o que permite a obtenção de preciosidades em relação a qualidade. Porém, vale destacar que muitas destas lavouras encontram-se em topografias acidentadas, o que pode ser um fator que contribui para a degradação do solo, se não houver adequadas práticas de manejo e conservação, sem contar que a cafeicultura empresarial e o uso cada vez mais intenso de mecanização, também pode acarretar sérios problemas de compactação dos solos. Desta forma, a intensificação da mecanização na cafeicultura é uma realidade, onde segundo a CNA (2019), 25% dos cafeicultores brasileiros já utilizam a operação mecânica para realizar a colheita, e a perspectiva é de aumento, nesta mesma lógica, Moreira et al. (2009), apresentam dados onde 66,8% do parque cafeeiro do Sul e Sudeste de Minas Gerais, região que representa praticamente metade da produção estadual, está apta a ser mecanizada, pois encontra-se em áreas com menos de 15% de declividade, condições estas que com a intensificação é fundamental atentar para adequadas práticas de manejo do solo do cafeeiro.

As pesquisas em relação a cafeicultura, permitiram avanços incontestáveis em relação à produtividade, principalmente no que se refere ao melhoramento genético, e algumas tecnologias ligadas a uma cafeicultura sustentável/regenerativa e de adaptações a adversidades climáticas, neste sentido que o sistema de “plantio direto”/mínimo/conservacionista na cafeicultura vem ao encontro.

Bregagnoli e Ribeiro Neto (2017), realizaram um diagnóstico em propriedades cafeeiras no Sul e Cerrado de Minas Gerais, e obtiveram dados que demonstraram que os cafeicultores adotam as práticas de roçada no controle de mato/invasoras nas entrelinhas, permitindo que o solo não fique totalmente descoberto e, consequentemente, evite sobremaneira o escoamento superficial de águas das chuvas, não permitindo o desencadeamento do processo erosivo.

Aliado às práticas de manejo, buscando o aumento de produtividade, com uma produção mais sustentável e a incessante procura por melhor qualidade, os cafeicultores também estão preocupados com as adversidades climáticas (condições de irregularidades na distribuição de chuva, temperaturas elevadas), o que segundo o IPCC- painel intergovernamental de mudanças climáticas (2013), devem ser cada vez mais frequentes, aliadas ao aumento da produção de gases de efeito estufa (GEE) e aquecimento global. Estas incertezas nos levam a uma profunda reflexão sobre a urgente necessidade de aprimoramento de práticas de conservação de solo e água, visando uma produção sustentável de alimentos.

A proteção do solo com cobertura vegetal é uma estratégia de manejo que requer um adequado diagnóstico, permitindo a definição das espécies de plantas de cobertura de solo entre as ruas do cafeeiro, de acordo com o microclima e época, visando promover pela própria dinâmica do sistema solo-água-plantas, uma maior inter-relação entre fluxo de água, oxigenação, temperatura, fauna e flora do solo e ciclagem de nutrientes, sendo difícil atribuir as melhorias a um fator isoladamente. Portanto, o uso de diferentes espécies de plantas de cobertura, além de diminuir riscos de erosão, aumenta a agregação das partículas do solo, incrementa a biologia do solo (BALO-

TA et al., 2014), promove efeitos benéficos na fertilidade do solo através do aumento na ciclagem de nutrientes, além de aumento do potencial de sequestro dos teores de carbono orgânico do solo (COS) (BOLLIGER et al., 2006; FLORENTIN et al., 2010; CALEGARI et al., 2008, levando naturalmente a um aumento do potencial produtivo das diferentes culturas, entre elas o caféiro.

Os resíduos orgânicos provenientes das plantas de cobertura, que irão proteger a superfície do solo quando manejados, em um primeiro momento irão fazer parte da biomassa microbiana, passando em seguida para a fração lábil da matéria orgânica do solo, e finalmente para a formação de complexos polimerizados, estabilidade física e/ou química nos estágios mais avançados do carbono. Além de ser um componente da fase sólida, o húmus, como colóide orgânico, apresenta efeitos muito valiosos na melhoria dos atributos físico-químicos e biológicos do solo (CALEGARI, 2014; CALEGARI et al., 2020).

Contextualização da cafeicultura tradicional e a moderna com práticas de conservação de solo

As principais regiões tradicionalmente produtoras de café no País encontram-se localizadas em regiões de montanha, e uma das preocupações com este tipo de relevo está relacionada a erosão hídrica. Estudo realizado por Ramos (1976), avaliando a proteção do solo com resíduos culturais, nos leva a refletir sobre a importância de protegermos nossos solos em relação aos efeitos ocasionados pelo escoamento, infiltração e perda de solo (Tabela 1).

Tabela 1. Efeito de diferentes níveis de resíduos culturais no escoamento superficial, infiltração e perda de solo, em declividade de 5%.

Resíduos (t/ha ⁻¹)	Efeitos da água sob o solo		
	Escoamento (%)	Infiltração (%)	Perda de solo (t/ha ⁻¹)
0	45,3	54,7	13,69
0,550	24,3	74,7	1,56
1,102	0,5	99,5	0,33
2,205	0,1	99,9	0,0
4,410	0,0	100,0	0,0

Fonte: Adaptado de Ramos (1976) citado por Ruedell (1998).

A cafeicultura nacional teve saltos de produtividades nas últimas décadas, (8 sacas ha⁻¹ em 1997, para 27 sacas ha⁻¹ em 2019 e 33 sacas ha⁻¹ em 2020) aliadas ao uso de novas tecnologias, materiais genéticos mais produtivos e adaptados, novas densidades de plantio, entre estas tecnologias, o manejo do solo é uma das que contribuíram com estes avanços de produtividades, seja o manejo em relação as práticas de melhoria dos atributos químicos de fertilidade, assim como os físicos e biológicos. Deve ser destacado as práticas que visam minimizar os impactos provocados pela produção, o aumento da disponibilidade hídrica no solo, assim como a infiltração de água para armazenamento no solo e lençol freático, além da construção da fertilidade química do solo, manutenção ou elevação dos teores de matéria orgânica no solo (MOS) e a

biodiversidade dos organismos, sobretudo os microrganismos do solo, os quais são a tendência da nova agricultura regenerativa.

O sistema plantio direto é um sistema de manejo bastante usual em culturas anuais, onde vem sendo praticado desde 1972 na América Latina, iniciada com o Pioneiro Sr. Herbert Bartz, em Rolândia- PR, e que consiste no plantio sem o revolvimento do solo, ou seja sobre a palhada. Já no cafeeiro, consiste em realizar um mínimo preparo do solo com antecedência e cultivar nas entre-linhas (entre as “ruas”) as diversas espécies de plantas de cobertura (preferentemente um “mix” com diversas espécies), proporcionando uma condição de mulching que irá proteger o solo, melhorando a estrutura do solo, aumentando a infiltração de água no perfil, incremento nas atividades dos organismos no solo (macro, meso e micro) aumentando e diversificando a microbiota, assim como ciclar diversos nutrientes, fixar nitrogênio (N), além de baixar população de nematoides e assim promovendo um maior equilíbrio dos atributos do solo, contribuindo para um melhor desenvolvimento e aumento do potencial produtivo do cafeeiro.

A melhoria da qualidade do solo, baseado na adoção de adequadas práticas/manejos visando o plantio ou condução das suas lavouras com o mínimo revolvimento possível do solo, vem sendo denominado como uma cafeicultura moderna, com práticas de conservação de solo, alguns comumente chamando de plantio de café em sistema direto, cultivo mínimo ou cafeicultura conservacionista ou cafeicultura regenerativa. O qual se caracteriza pelo adequado preparo do solo antes da implantação da lavoura, seguido das corretas correções com calcário e gesso e, aplicações de nutrientes em área total e na cova ou sulco de plantio, e a semeadura de espécies de plantas de coberturas nas entre linhas do cafeeiro, ou mesmo de várias espécies, também conhecidas como “Mix” de plantas de cobertura. Assim, quando é efetuado o plantio das mudas de café, se evita operações de revolvimento do solo, o que irá proporcionar um bom estabelecimento das plantas de cobertura nas entrelinhas. Em alguns casos os cafeicultores estão fazendo adaptações em lavouras já implantadas e até mesmo em produção, promovendo a semeadura dessas plantas de cobertura, tanto no verão quanto no inverno, porém uma boa estratégia desta adoção pode ser na época de realização de podas (esqueletamento, decote, recepa, etc.).

Um fator muito importante a ser considerado é a adequada escolha na definição das diferentes espécies/cultivares de plantas de cobertura nas entrelinhas do cafeeiro, considerando as condições da área do cafeeiro, assim como o que se espera e/ou se pretende alcançar com as plantas de cobertura. Quer seja diminuição de população de nematoides, diminuição do potencial de doenças radiculares, aumento de inimigos naturais, supressão/controle de ervas invasoras de difícil e etc. Assim, é possível desenvolver um sistema que promova elevada produção de biomassa, ciclagem de nutrientes, promover um microclima mais ameno no solo e ainda proporcione uma maior infiltração e armazenamento de água, dentre as mais diversas plantas. Uma das mais usuais é a braquiária, a qual pode depositar quando ceifada até 5 ton ha⁻¹ de matéria seca, podendo conter até 70 kg de N e 8 kg de K₂O (RAGASSI et al., 2013). O seu cultivo pode proporcionar a extração de fósforo (P) do solo, o qual será acumulado nas folhas e quando manejados irá disponibilizar este elemento para o cafeeiro na ocasião da decomposição da palhada. Também outras diversas espécies irão promover esses benefícios.

Em lavouras cafeeiras com solo exposto a pleno sol, aliadas a altas temperaturas incidindo diretamente sobre o solo, pode resultar em perdas por evaporação de até 15 mil litros de água ha⁻¹ dia, acarretando em redução do crescimento das plantas. (RAGASSI et al., 2013). Solos com coberturas vegetais, condicionam em temperatu-

ras do solo geralmente inferiores a 33°C, enquanto sem cobertura podem atingir até 45°C. Destaca-se que a região das radículas do cafeeiro que atingem temperaturas superiores a 33°C, o metabolismo é severamente reduzido, paralisando suas atividades e podendo inclusive afetar seriamente o sistema radicular levando até à morte dessas plantas.

O sistema de manejo de solo mais sustentável, visando a conservação do solo, permite melhorias na qualidade dos atributos químicos, físicos e biológicos, o que condiciona uma otimização na dinâmica solo-água-plantas, além de promover um equilíbrio da biodiversidade levando a uma maior supressão de plantas de difícil controle, redução de população de nematoides e fungos patogênicos do solo, Algumas espécies de plantas de cobertura são hospedeiras de fungos micorrízicos, e promovem a intensificação do crescimento e desenvolvimento populacional de micorrizas com inúmeros benefícios ao solo/raízes e aumento do potencial produtivo do cafeeiro.

Porém, nem toda tecnologia traz somente benefícios, e nem deve ser implantada e conduzida sem o devido acompanhamento técnico e orientações. Neste contexto listamos alguns aspectos comparativos entre este sistema de manejo/conservação do solo e a cafeicultura no sistema convencional (Tabela 2).

Tabela 2. Comparativos entre a cafeicultura convencional e a conservacionista.

Convencional	Conservacionista
Alto risco de erosão	Maior controle da erosão
Menor infiltração de água no perfil do solo	Melhor estrutura e rugosidade do solo e maior infiltração de água no perfil do solo
Menor armazenamento de água no solo	Maior armazenamento de água no solo
Temperaturas do solo mais altas, prejudicando o desenvolvimento das radículas do cafeeiro	Temperaturas do solo mais amenas, mais favorável ao desenvolvimento das radículas do cafeeiro
Baixa produção de biomassa na entrelinha do cafeeiro	Alta produção de biomassa na entrelinha do cafeeiro
Baixa biodiversidade	Alta biodiversidade
Baixa ciclagem de nutrientes	Alta ciclagem de nutrientes
Baixa risco de retenção de geada	Maior risco de retenção de geada
Baixa aeração dos solos	Melhoria na aeração dos solos
Baixa agregação das partículas do solo	Melhoria da agregação das partículas do solo
Menor porosidade do solo	Maior porosidade do solo
Mais suscetível a veranicos	Melhor adaptação a veranicos
Maior ocorrência de invasoras e competição com o cafeeiro	Maior proteção do solo e menor incidência de plantas invasoras no cafeeiro, inclusive proporcionando supressão de algumas espécies de daninhas

Na cafeicultura convencional, onde se realiza a operação de varrição do café. Para a realização desta prática, faz-se necessário que seja realizada a arruação do café, que consiste em retirar folhas, restos vegetais, matéria orgânica e inclusive resíduos de fertilizantes, que por ventura estejam na projeção da copa do cafeeiro, local tradicionalmente chamada de saia do cafeeiro, para que quando os frutos do cafeeiro venham a cair, os mesmos possam ser varridos e então recolhidos, seja de forma manual ou mecânica. A retirada destes materiais que estavam na projeção da copa do cafeeiro e remoção para o meio da entrelinha, ficando nesta região até o termino da colheita, onde recomenda-se, fazer a movimentação de volta deste material para o local original. Entretanto, na maioria das lavouras o cafeicultor não tem feito este trabalho, deixando este material no meio da entrelinha, sendo desperdiçado, o qual apresenta bons níveis de matéria orgânica, resíduos de fertilizantes e corretivos, o que, conseqüentemente, acaba por contribuir com a redução da disponibilidade de nutrientes na região com maior abundância de raízes do cafeeiro. Esta prática, com o uso de plantas de cobertura nas entrelinhas pode proporcionar o aproveitamento de grande parte dos nutrientes ali depositados, promovendo assim a ciclagem de nutrientes.

Dificuldades na adoção do sistema de plantio direto na cafeicultura

Apesar da adoção deste novo modelo de cafeicultura estar sendo crescente, ela também encontra dificuldades, assim como toda e qualquer nova tecnologia, destacando-se aqui uma das grandes dificuldades do sistema plantio direto (SPD) na cafeicultura sendo relacionado à operação da colheita, da varrição. Para se adotar esta prática, é necessário que o cafeicultor planeje sua atividade, a fim de ter talhões com maturação de diferentes ciclos, para não acumular a maturação de toda as glebas no mesmo período e dificultar sua colheita. Este planejamento permite que o cafeicultor possa colher os frutos nos mais adequados níveis de maturação, reduzindo a quantidade de frutos em condições de “passa”/seco na planta, que resultam em queda e necessidade de proceder a colheita destes por varrição. Aliado a este planejamento de cultivares e escalonamento da colheita, o uso de reguladores de maturação pode ser mais um aliado e assim contribuir para uma colheita mais calendarizada.

Outro destaque na dificuldade da adoção do sistema, muitas vezes, é a falta de resultados de pesquisas realmente condizentes, quando se avaliam os trabalhos de pesquisa em relação a esta prática, sendo comum observar que não houve um critério em relação ao manejo empregado. Este sistema não é feito para ter plantas de cobertura em competição com as plantas comerciais, e sim elas apropriadamente escolhidas e distribuídas em determinadas condições e localização. No caso específico do café, as plantas devem ser mantidas a no máximo 50 cm da projeção da copa do cafeeiro, ou seja do ramo plagiotrópico, e estas espécies de coberturas não devem vir a florescer e completar o ciclo, onde as mesmas devem ser preferentemente manejadas no início do seu florescimento, evitando assim que a ressemeadura ocorra na projeção da saia do cafeeiro e se tornem plantas competidoras por água, luz e nutrientes.

Esta condução inadequada foi descrita por Ronchi (2002), onde o cultivo consorciado de brachiaria próximo à planta de café, causou competição e comprometeu o desenvolvimento do cafeeiro, reduzindo o número de folhas, altura e diâmetro da plantas, ficando evidente que este manejo requer um criterioso acompanhamento técnico para que possa trazer os benefícios por ele esperado.

Vale destacar ainda, que por mais comum que seja, ainda temos muitos cafeicultores que desconhecem este sistema de manejo, fato este relatado por Oliveira et al. (2021), os quais apontaram que 14,55% dos cafeicultores relatam falta de conhecimento e necessidade de difusão de experiências exitosas destas práticas de manejo sustentável.

Em pequenas propriedades, é comum a utilização das entre-linhas do cafeeiro como opção de consórcio para produção de culturas de fins de subsistência ou até mesmo comerciais como por exemplo mandioca, feijão e milho. Assim sendo, a adoção deste sistema se torna mais difícil, apesar de que mesmo realizando esta produção consorciada, estes cafeicultores na sua grande maioria se preocupam em minimizar o revolvimento do solo e evitar sua degradação, e também seja possível consorciar estas culturas de subsistência com plantas de cobertura.

Em relação a recomendações de nutrientes/adubação para lavouras manejadas em SPD, é necessário atentar para a biomassa das plantas de coberturas, pois, quando manejadas (roçadas ou dessecadas), irão propiciar o aumento na população da microbiota do solo, sincronizado com disponibilidade de N no sistema. Caso seja baixa a oferta de N, poderá vir a reduzir a oferta ao cafeeiro, inclusive causar um amarelecimento inicial (imobilização temporária do N). Assim, a escolha do Mix de plantas deve ser em conformidade com um adequado diagnóstico para aquelas condições específicas da região e da área ou talhão ocupada pelo cafeeiro e, é fundamental que sejam escolhidas plantas de diferentes famílias, como leguminosas, crucíferas, poligonáceas etc, para que se tenha um equilíbrio nos nutrientes ciclados e fixados, sistemas radiculares diversos, com efeitos diferenciados, proporcionando um maior equilíbrio e melhor desempenho do cafeeiro.

Com o avanço do cultivo do cafeeiro, as regiões aptas para instalações de novas lavouras vem se tornando cada vez mais escassas, aliada também ao avanço de outras culturas. Assim, os cafeicultores estão implantando lavouras em áreas com limitações, inclusive em condições que podem estar sujeitas a geadas em anos deste fenômeno com intensidade severa, como foi evidenciado em julho/2021. Assim sendo, o SPD do cafeeiro deve ser ainda mais técnico, pois os solos sem cobertura vegetal têm a capacidade de perder menos calor do que os solos com cobertura, devido a sua capacidade de condução térmica, ou seja, evitando que o solo resfrie com maior intensidade, amenizando os efeitos da geada. Neste sentido, o manejo nestas condições deve ser priorizado no verão e realizado a roçada no início do outono evitando assim o agravamento caso venha a ocorrer o fenômeno.

Casos de sucesso em SPD na cafeicultura

O sistema plantio direto em café, está cada dia mais presente nas propriedades cafezeiras, e os relatos de sucessos estão sendo a cada dia mais evidentes. Porém, como na prática muitas coisas são diferentes da teoria, e comumente o “eu estou gostando, está dando certo” é adotado e promove preocupações, devemos nos respaldar em resultados científicos comprovados, para uma maior segurança técnica. Neste contexto é que surge a necessidade de experimentos, pesquisas científicas, validações técnicas regionalizadas para suprir informações regionalizadas.

Neste sentido, diversas pesquisas apresentam dados positivos, como plantios de café que utilizaram consórcio com plantas de cobertura, em especial a crotalária e guandú, com cultivos aos 2 lados da linha de plantio, distantes a 50 cm da planta, proporcionaram um melhor desenvolvimento da lavoura nos primeiros 22 meses pós

plântio (FRANCO JUNIOR; FLORENTINO, 2019), resultando em crescimento superior das mudas de café consorciadas com *Crotalaria spectabilis* L e *Cajanus cajan* L na ordem de 39 e 37% em relação ao cultivado sem consórcio e 47 e 44% respectivamente a média de número de internódios nos ramos plagiotrópicos.

Em cultivos consorciados com diferentes espécies de crotalária com objetivo de proporcionar o melhor estabelecimento da lavoura e desenvolvimento, resultados demonstraram que o manejo proporcionou um crescimento do cafeeiro de 12 a 26% superior ao cultivado não consorciado e 5 a 27% a mais internódios por ramos plagiotrópicos. (FRANCO JUNIOR et al., 2019).

O consórcio do cafeeiro com blends/Mix de plantas de cobertura resultaram em um maior armazenamento de água no solo, melhoria nos atributos relacionados a fertilidade do solo, supressão de plantas daninhas (CARVALHO et al., 2020).

Aragão (2018) avaliando indicadores da qualidade microbiológica dos solos cultivados com café e sua relação com a produtividade, verificou que os teores de MOS tem relação positiva com a produtividade aliados aos parâmetros microbiológicos, sendo o uso de plantas de cobertura uma opção para elevar os níveis de MOS para alcançar estes benefícios.

Temos a possibilidade de utilizar apenas uma espécie de cobertura (DERPSCH; CALEGARI, 1985), ou também optar por várias espécies (Mix). Os resultados de pesquisas e práticas de diversos anos junto aos produtores e cafeicultores têm demonstrado que uma alternativa bastante eficiente é o consórcio delas, os chamados mix. Normalmente com o uso de um Mix de plantas de cobertura e seu manejo, além de promover um maior equilíbrio nos atributos do solo, estima-se um ganho de produtividade ao redor de 20% no cafeeiro (CALEGARI; SANTINI, 2021). Essas plantas existem há séculos, porém eram usadas principalmente em cultivo individual. Segundo Calegari (2016), existem diversas variedades promissoras para o Mix que são escolhidas conforme o diagnóstico do solo.

Neste consórcio, pode-se incluir de duas a quatro ou até 6 ou 10 plantas de diferentes espécies e/ou famílias. Elas são semeadas simultaneamente e irão proporcionar uma maior biodiversidade e, através dos efeitos diferenciados de cada espécie no solo, contribuem para um maior equilíbrio ambiental com resultados favoráveis ao solo e ao cafeeiro.

Geralmente o consórcio pode ser feito de gramíneas + leguminosas ou gramíneas + crucíferas, polygonaceas, compositae, ou ainda, misturar três ou mais espécies, que além de melhorar os atributos físicos do solo (agregação, estruturação), produzem resíduos com relação C/N intermediária, favorecendo a mineralização paulatina do nitrogênio. Ao longo dos anos através da adição de resíduos e pela ação da diversidade da microbiota também há um maior equilíbrio e consequentemente maior acúmulo de carbono no perfil do solo. “No caso de cultivos singulares, a decomposição individual das leguminosas resultará em maiores riscos de perdas de N (lixiviação, volatilização), se comparado às gramíneas. Quando os resíduos de gramíneas são mesclados com resíduos de leguminosas, normalmente não há problemas com imobilização do nitrogênio e a mineralização paulatina favorecerá a disponibilidade e absorção pelas plantas. Além de promover um incremento da microbiota. Ou seja, a importância fundamental de adicionar nitrogênio no sistema para aumentar a população dos microrganismos em geral e, também enzimas produzidas pelos microrganismos e plantas que junto a os resíduos, aminoácidos, fungos micorrízicos irão contribuir para o incremento do húmus do solo (ácidos fúlvicos, ácidos húmicos e humina) = SEQUESTRO DE CARBONO ORGÂNICO NO SOLO (CALEGARI et al., 2008; CALEGARI, 2014; WÜTKE et al., 2014).

Para a adequada escolha ou definição de um determinado Mix de plantas antes do plantio do cafeeiro, ou intermediário às linhas/ruas do cafeeiro adulto em produção, o produtor deverá fazer um rigoroso diagnóstico. Primeiramente, devem ser verificadas as condições edafoclimáticas da região, bem como deve ser checado e monitorado a presença de nematoides, ocorrências de doenças radiculares, compactação do solo, ocorrência de plantas daninhas, etc. (CALEGARI; DONIZETI, CARLOS, 2014), bem como, o período disponível para a implantação e desenvolvimento dessas espécies, assim como a definição do manejo de forma a não prejudicar ou atrapalhar o desenvolvimento da cultura do cafeeiro. Como pode ser observado na foto 1, uma lavoura cafeeira em formação com cultivo de mix de plantas de cobertura na sua entrelinha.



Foto 1. Lavoura cafeeira em formação com cultivo de mix de plantas de cobertura.

Estudos realizados por Calegari (2018b) e Fernandes et al. (2019) utilizando o Mix de plantas entre as ruas do cafeeiro: Trigo mourisco + *Crotalaria breviflora* + *Crotalaria ochroleuca* + *Mucuna anã* + Guandu anão + Milheto ADR- 300 + Feijão caupi, resultaram na elevada produção de biomassa, onde na ausência de plantas de cobertura, a produção de biomassa na entrelinha do café não ultrapassou $1,33 \text{ ton/ha}^{-1}$ de matéria seca, com a introdução de plantas de cobertura nas entrelinhas, a produção de biomassa aumentou consideravelmente, de $2,45$ até $4,36 \text{ ton/ha}^{-1}$.

Os resultados quanto à produtividade do cafeeiro demonstraram que na área testemunha com adubação química normal recomendada foram alcançadas $44,2$ sacas de café beneficiado por ha^{-1} , enquanto no tratamento onde houve a adubação química normal + o Mix de plantas acima, se alcançou $51,6$ sacas de café beneficiado por ha^{-1} (FERNANDES et al., 2019).

As diferentes combinações de plantas ou Mix contribuem para o aumento da biodiversidade. É proporcionado maior número de inimigos naturais de pragas, doenças (nematóides), que irão diminuir os riscos e ocorrências indesejáveis no cafeeiro. “Também as misturas de diversas espécies, tais como: milheto + crotalarias, aveia + centeio + trigo mourisco e outras diversas, têm proporcionado ótimos resultados em termos de diminuição de fonte de inóculos de doenças radiculares e baixando populações de nematóides (lesões, galhas e cisto). Quando utilizadas juntamente com produtos/ativos biológicos, é promovida maior ativação biológica e, normalmente ocorre um sinergismo, ou seja, as diferentes plantas têm habilidade diferenciada quanto à ciclagem de nutrientes, sistemas radiculares atingem profundidades diferenciadas do solo liberando os exsudatos radiculares (ácidos orgânicos), diferentes efeitos dos microorganismos que além de aumentar suas populações na rizosfera da planta também produzem enzimas que terão efeitos favoráveis no solo promovendo efeitos diversos nas diferentes camadas do perfil do solo e no crescimento e potencial produtivo das plantas(CALEGARI et al., 2020).

De acordo com os dados das pesquisas citadas, são apresentadas algumas sugestões de plantas de cobertura e Mix para as diversas regiões cafeeiras (Tabela 3, 4 e 5)

Tabela 3. Conforme as condições específicas diferentes combinações de plantas de cobertura poderão ser implantadas.

Plantas de Cobertura	Quantidade de sementes
Aveia (preta <u>ou</u> branca) + nabo forrageiro + ervilhaca <u>ou</u> ervilha forrageira + centeio	(25 kg/ha ⁻¹) + 1 kg/ha ⁻¹) + (15-20 kg/ha ⁻¹) + (10-15 kg/ ha ⁻¹)
Aveia (preta <u>ou</u> branca) + nabo forrageiro + ervilhaca <u>ou</u> ervilha forrageira + centeio + tremoço branco	(30 kg/ ha ⁻¹) + (1 kg/ ha ⁻¹) + (15 kg/ ha ⁻¹) + (15 kg/ ha ⁻¹) + (15 kg/ ha ⁻¹)
Aveia (preta <u>ou</u> branca) + ervilhaca <u>ou</u> ervilha forrageira + trigo mourisco	(40 kg/ ha ⁻¹) + (15 kg/ ha ⁻¹) + (15 kg / ha ⁻¹)
Crotalaria spectabilis + <i>Crotalaria ochroleuca</i> + Milheto + capim coracana	(6-8 kg/ ha ⁻¹) + (6-8 kg/ ha ⁻¹) + (6-8 kg/ ha ⁻¹) + (3-4 kg/ha ⁻¹)
<i>Crotalaria spectabilis</i> ou <i>Crotalaria breviflora</i> + Trigo Mourisco + nabo	(6-8 kg/ ha ⁻¹) + (15-20 kg/ ha ⁻¹) + (1 kg/ ha ⁻¹)
<i>Crotalaria spectabilis</i> + caupi + Trigo Mourisco+ Capim coracana (<i>Eleusine coracana</i>)	(6 kg/ ha ⁻¹) + (10-12 kg/ ha ⁻¹) + (12-15 kg/ha ⁻¹) + (3-4 kg/ha ⁻¹)
<i>Crotalaria spectabilis</i> + caupi + Trigo Mourisco+ Capim coracana (<i>Eleusine coracana</i>) + girassol + nabo	(6 kg/ ha ⁻¹) + (10-12 kg/ ha ⁻¹) + (12-15 kg/ha ⁻¹) + (3-4 kg/ha ⁻¹) + (3 kg/ha ⁻¹) + (1 kg/ha ⁻¹)

Fonte: Adaptado de Calegari (2016; 2018a.)

Tabela 4. Indicação de consórcio de plantas.

Consórcio primavera/verão	Milheto ADR-300 (5-8 kg/ha ⁻¹) + Trigo mourisco (15-20 kg/ ha ⁻¹) + Crotalarias (<i>spectabilis</i> , <i>breviflora</i> e <i>ochroleuca</i>) (6-8 kg/ ha ⁻¹ cada)
	Milheto ADR-300 (5-8 kg/ ha ⁻¹) + Trigo mourisco (15-20 kg/ ha ⁻¹) + Crotalarias (<i>spectabilis</i> , <i>breviflora</i> e <i>ochroleuca</i>) (6-8 kg/ ha ⁻¹ cada) + Guandu anão ou Mucuna anã (10-15 kg/ ha ⁻¹)
Consórcio outono/inverno indicado para áreas de altitude	Nabo forrageiro (1 kg/ ha ⁻¹) + Aveia preta (20- 25 kg/ ha ⁻¹) + Ervilhaca comum (15-20 kg/ ha ⁻¹)
	Aveia preta (20-25 kg/ ha ⁻¹) + Tremoço branco (20 kg/ ha ⁻¹) + Centeio (15-20 kg/ ha ⁻¹)
	Aveia preta (20-25 kg/ ha ⁻¹) + Ervilha forrageira (25 kg/ ha ⁻¹) Aveia preta (20-25 kg/ ha ⁻¹) + Centeio (15 kg/ ha ⁻¹) +Tremoço branco (30 kg/ ha ⁻¹)
	Aveia preta (20-25 kg/ ha ⁻¹) + Ervilhaca (peluda e/ou comum) (20-25 kg/ha ⁻¹)
	Aveia preta (15-20 kg/ha ⁻¹) + Ervilha forrageira (25-30kg/ ha ⁻¹) + Nabo (1 kg/ ha ⁻¹)
	Aveia preta (20-25 kg/ ha ⁻¹) + Ervilha forrageira (15 kg/ ha ⁻¹) + Nabo forrageiro (1 kg/ ha ⁻¹) + Ervilhaca comum (20-25 kg/ ha ⁻¹)
	Aveia preta (15 kg/ ha ⁻¹) + Tremoço branco (25- 30 kg/ ha ⁻¹) + Nabo forrageiro (5 kg/ ha ⁻¹) + Ervilhaca comum (20- 25 kg/ ha ⁻¹) + Trigo mourisco (10-15 kg/ ha ⁻¹)

Fonte: Calegari et al. (1993).

Tabela 5. Indicação de semeadura de plantas de coberturas nas entrelinhas do café:

Cultivar	Período	Café super adensado (até 2 anos) 1,0 a 1,8 m entre ruas	Café adensado (até 2 anos) 1,9 a 2,8 m entre ruas	Plantio intercalar ao café com 3 a 4 m entre ruas
Mucuna anã	Primavera/ Verão	1 linha intercalar ao café (6-9 sementes por metro linear); 50 kg/ha ⁻¹	2 Linhas - 50 cm entre linhas; (6-9 sementes por metro linear); (55-70 kg/ha ⁻¹)	2-4 linhas - distanciadas em 50 cm entre linhas 6-8 sementes/metro linear (60-80 kg/ha ⁻¹)
<i>Crotalaria breviflora</i>		2 linhas - 25 cm entre linhas; (20-25 sementes por metro linear); 6-8 kg/ha ⁻¹	3 linhas - 50 cm entre linhas; (20-25 sementes/metro linear); 8-10 kg/ha ⁻¹	2-4 linhas - 25 cm entre linhas; (20-25 sementes/metro linear); 6-12 kg/ha ⁻¹
<i>Crotalaria spectabilis</i>		2 linhas - 25 cm entre linhas; (20-25 sementes/metro linear) 6-8 kg/ha ⁻¹	3 linhas - 25 cm entre linhas; (20-25 sementes/metro linear); 8-10 kg/ha ⁻¹	2-4 linhas - 25 cm entre linhas; (20-25 sementes/metro linear); 6-12 kg/ha ⁻¹
Trigo mourisco/ Trigo sarraceno		2 linhas - 25 cm entre linhas; (20-25 sementes/metro linear); 10-15 kg/ha ⁻¹	3 linhas - 25 cm entre linhas; (20-25 sementes/metro linear); 14-18 kg/ha ⁻¹	2-4 linhas - 25 cm entre linhas; (20-25 sementes/metro linear) 12-22 kg/ha ⁻¹
Guandu anão		1 linha - (18-22 sementes/metro linear); 12-14 kg/ha ⁻¹	2 linhas - 50 cm entre linhas; (18-22 sementes/metro linear); 12-16 kg/ha ⁻¹	2 linhas (poderá ser 1 leira com 60-70 cm da linha de café) 50 cm entre linhas. (18-22 sementes /metro linear); 16-20 kg/ha ⁻¹
Guandu gigante		1 linha - (18-22 sementes/metro linear); 14-17 kg/ha ⁻¹	2 linhas - 50 cm entre linhas; (18-22 sementes/metro linear) 18-22 kg/ha ⁻¹	2 linhas (poderá ser 1 leira com 60-70 cm da linha de café) 50 cm entre linhas. 18-22 sementes/metro linear); 18-24 kg/ha ⁻¹

continua...

Tabela 5: continuação

Cultivar	Período	Café super adensado (até 2 anos) 1,0 a 1,8 m entre ruas	Café adensado (até 2 anos) 1,9 a 2,8 m entre ruas	Plantio intercalar ao cafeeiro com 3 a 4 m entre ruas
Milheto	Primavera/ Verão	1 linha - linha central; (25-30 sementes/metro linear); 5-6 kg/ha ⁻¹	2 linhas - 50 cm entre linhas; (25-30 sementes/metro linear) 10-12 kg/ha ⁻¹	2 linhas (poderá ser 1 leira com 60-70 cm da linha de café) 50 cm entre linhas. 25-30 sementes/metro linear)
Ervilhaca (comum ou peluda)		2 linhas - 20-30 cm entre linhas; (20-25 sementes/metro linear); 12-15 kg/ha ⁻¹	3 linhas - 20-30 cm entre linhas; (20-25 sementes/metro linear); 18-20 kg/ha ⁻¹	4 linhas - 20 cm entre linhas; (20-25 sementes/metro linear); 25-30 kg/ha ⁻¹
Tremoço branco	Outono/ Inverno	2 linhas - 30 cm entre linhas; (15-20 sementes/metro linear); 25-30 kg/ha ⁻¹	3 linhas - 30cm entre linhas; (15-20 sementes/metro linear); 35-40 kg/ha ⁻¹	2-4 linhas - 30 cm entre linhas; (15-20 sementes/metro linear); 30-60 kg/ha ⁻¹
Nabo forrageiro		2 linhas - 20-30 cm entre linhas; (20-30 sementes/metro linear); 4- 6-kg/ha ⁻¹	3 linhas - 20-30 cm entre linhas; (25-30 sementes/metro linear); 6-8 kg/ha ⁻¹	3-4 linhas - 20-30 cm entre linhas; (25-30 sementes/metro linear); 6-8 kg/ha ⁻¹
Ervilha forrageira	Inverno	2 linhas - 20-30 cm entre linhas; (20-25 sementes/metro linear) 15- 20 kg/ha ⁻¹	3 linhas - 20-30 cm entre linhas (20-25 sementes/metro linear); 20-25 kg/ha ⁻¹	4 linhas - 20-30 cm entre linhas (20-25 sementes/metro linear); 30-40 kg/ha ⁻¹

Fonte: Calegari arquivo pessoal.

Modelos de Sistemas conservacionistas/SPD adotados na cafeicultura

Sistema de plantio direto

O sistema plantio direto consiste em preparar antecipadamente a área, realizando as correções e fertilizações necessárias, aberturas de covas ou sulcos, realização de plantio de plantas de cobertura nas entrelinhas e posteriormente a estas operações é que se realiza o plantio das mudas do café. O ideal é que estas espécies de cobertura já tenham se desenvolvido, assim promovendo a cobertura do solo, ou mesmo já até mesmo manejada e sua biomassa fazendo esta proteção ao solo.

Podem ser utilizadas espécies de coberturas perenes como as braquiárias ou anuais como as crotalárias, trigo mourisco e outras.



Foto 2. Lavoura cafeeira recém plantada em área consorciada com milho.



Foto 3. Lavoura com 6 meses em sistema de plantio direto, planta de cobertura brachiaria.



Foto 4. Café consorciado com mix de plantas de cobertura.



Foto 5. Café consorciado com mix de plantas de cobertura.



Foto 6. Café consorciado em ruas com mix de plantas de cobertura e ruas com brachiária.



Foto 7. Consórcio de café e guandú, visando a melhoria do microclima para o estabelecimento das mudas, função de quebra vento e até mesmo uma proteção no período de inverno.



Foto 8. Café consorciado com mix de plantas de cobertura.



Foto 9. Consórcio de ervilhaca peluda com cafeeiro.



Foto 10. Consórcio tremoço branco com cafeeiro.



Foto 11. Guandu consórciado com cafeeiro.

Um detalhe importante a ser observado nas fotos é a distância das plantas de coberturas mantidas manejadas em relação as plantas de café, a fim de evitar que ocorra a mato competição.

Sistema plantio direto após instalação da lavoura cafeeira

Este sistema consiste em implantar espécies de plantas de coberturas na entrelinha de lavouras cafeeiras já instaladas.



Foto 12. Guandu consorciado com café em produção.



Foto 13. Crotalaria consorciado com café em produção.



Foto 14. Consórcio de Mix (nabo, milho, trigo mourisco e brachiaria) em lavoura de café em produção.



Foto 15. Consórcio com Mix de plantas de cobertura em lavoura de café em produção.

Sistema de manejo de solo com plantas de coberturas temporárias

Esta é uma opção de manejo do solo para uma estação do ano, ou para sucessão de cultivos com espécies diferentes. Também pode ser adotado em regiões com riscos de geadas. Consiste em realizar o plantio da espécie de cobertura geralmente na primavera ou verão e realizar o manejo de roçada ou dessecação no final do verão ou início do outono. Cabe destacar que tal condição pode também ser realizada para cultivos em outono/inverno, principalmente visando uma proteção do solo neste período que coincide com a menor disponibilidade hídrica, porém geralmente adotado para lavouras que estão em podas, pois tal manejo pode dificultar a colheita principalmente se a lavoura for manejada manualmente.

Sistema de manejo de solo com plantas de cobertura em períodos de poda da lavoura cafeeira

Este tipo de manejo consiste na sementeira das plantas de cobertura na ocasião em que realiza-se as operações de poda na lavoura cafeeira, seja ela recepa, decote ou esqueletamento. Este sistema permite uma facilidade de implantação das espécies de coberturas, além dos benefícios da produção de biomassa, produção de raízes que podem contribuir com a exploração de camadas mais profundas do solo, principalmente com espécies que tenham sistemas radiculares pivotantes, além de colaborar com a supressão de plantas daninhas, as quais tem uma grande predisposição a desenvolver com rapidez aliado a exposição do solo a luminosidade proporcionado pela realização da poda. Também neste caso, podem ser usadas plantas de cobertura com fator de reprodução baixo (FR) para os nematoides que atacam o cafeeiro (*Meloydogine incognita*, *M. exigua*, *M. paranaensis*, e outras espécies), juntamente com ativos biológicos, compostagem, pois as raízes dessas plantas próximas das raízes do cafeeiro irão atrair os nematoides. Após uma poda drástica ou esqueletamento, estima-se que em torno de 65-80% das raízes superficiais do cafeeiro morrem e, assim, grande parte das fêmeas de nematoides, que geralmente estão nas camadas superficiais até 10 cm de profundidade, irá penetrar nas raízes vivas que serão as raízes das coberturas, para oviposição, encontrando assim efeito supressivo das populações, como é o caso da monocrotalina nas crotalárias, diminuindo as populações de nematoides da área do cafeeiro.



Foto 16. Lavoura Cafeeira podada consorciada com brachiaria.



Foto 17. Sistema radicular do cafeeiro em SPD.

Estratégias, possibilidades e soluções para a adoção do SPD nesse cultivo

Dentre os inúmeros benefícios que o manejo conservacionista/plantio direto promove para a cafeicultura, a intensificação por pesquisas com fundamentos agrônômicos consistentes, um bom diagnóstico para recomendações de implantação desta prática, aliados ao uso de ativos biológicos, a difusão destas tecnologias aos cafeicultores e principalmente a inovação com máquinas que possam permitir ainda mais facilidades do seu uso, podem ser estratégias fundamentais para que a cafeicultura continue caminhando a passos largos rumo a modernidade e a sustentabilidade.

Possíveis necessidades de pesquisa e tecnologia para facilitar e melhorar o cultivo do café em SPD

É necessário que ocorra a continuidade de pesquisas científicas fundamentadas em práticas agronômicas, buscando a diminuição da mata competição, permitindo cada vez mais consolidar os resultados positivos desta prática, além da busca por uma cafeicultura cada vez mais moderna e com racionalidade ao uso de recursos, redução de produtos químicos, contribuições para o meio ambiente, como em especial a melhoria da biodiversidade dos sistemas agrícolas, sequestro de carbono e melhoria da infiltração e armazenamento de água no solo.

Os resultados gerados por estas pesquisas devem ser difundidos, chegando ao cafeicultor, principalmente da melhor forma didática, da qual as unidades demonstrativas e dias de campo são excelentes ferramentas, facilitando a sua adoção e contribuição na melhoria do sistema e do meio ambiente como um todo.

Considerações Finais

O Brasil é o maior produtor de café mundial, e sua cafeicultura exerce fundamental importância econômica e social. Observa-se que os incrementos de produtividade na atividade são expressivos aos longos dos anos, com destaque na adoção de tecnologias mais avançadas. Destaca-se entre estas tecnologias o sistema conservacionista de plantio direto na cafeicultura, o qual promove inúmeros benefícios no sistema solo-planta-água, além da melhoria dos atributos químicos, físicos e biológicos do solo.

Apesar de todos os benefícios, a tecnologia sem orientações técnicas, diagnóstico e planejamento não cumpre com o seu papel. Ou seja, é fundamental que a pesquisa continue produzindo dados científicos, que proporcionem a difusão destes resultados, principalmente por unidades demonstrativas e dias de campo, para que se possam ter solos cada vez mais saudáveis, produtivos e férteis e que nestes sejam possível produzir cada vez mais cafés com qualidade superior e cada vez mais desenvolvendo sistemas sustentáveis de produção.

Destaca-se ainda, que apesar do conceito de sistema plantio direto ser baseado nas culturas de grãos, tal sistema já é realidade na horticultura e o modelo descrito para cafeicultura atende aos princípios do sistema, como o não revolvimento do solo, cobertura do solo e a rotação de culturas principalmente com os mix de plantas de cobertura.

REFERÊNCIAS

- ARAGÃO, O.O.S. Indicadores microbiológicos de qualidade do solo estão relacionados com maiores produtividades do cafeeiro no cerrado mineiro. 2018. 75f. **Dissertação** (Mestrado em Ciência do Solo). Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2018. Disponível em: <http://www.sbicafe.ufv.br/bitstream/handle/123456789/11241/Dissertacao_Oosnar%20bede%20da%20Silva%20Aragao.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em 16 Nov. 2021.
- BALOTA, E.L.; CALEGARI, A.; NAKATANI, A.S.; COYNE, M. S. (2014). Benefits of winter cover crops and no-tillage for microbial parameters in a Brazilian Oxisol: A long-term study. **Agriculture, Ecosystems and Environment**. 197: 31-40.
- BOLLIGER, A.; MAGID, J.; AMADO, T.J.C.; SKÓRA NETO, F.; SANTOS RIBEIRO, M.F.; CALEGARI, A.; RALISCH, R.; NEERGAARD, A. (2006). Taking Stock of the Brazilian “Zero Till Revolution”: A Review of Landmark Research and Farmers’ Practice. Review article. **Advances in agronomy**. DOI: 10.1016/S0065-2113(06)91002-5. Vol. 91, Pages 47-110.
- BREGAGNOLI, M.; RIBEIRO, J. F. NETO; **Café nas montanhas**: caracterização da cafeicultura na área de atuação da Cooperativa Regional de Cafeicultores em Guaxupé : IFSULDEMINAS, Pouso Alegre 2017. 172 p.
- CALEGARI, A.; MONDARDO, A.; BULISANI, E.A.; WILDNER, L.P.; COSTA, M.B.B.; ALCÂNTARA, P.B.; MIYASAKA, S.; AMADO, T.J.C. (1993). **Adução verde no Sul do Brasil**. Rio de Janeiro, RJ., AS-PTA, 346p. 2a. edição. 346 p.
- CALEGARI, A.; SANTINI, P. (2021). Mix de plantas de cobertura. **Revista Attalea Agronegocios**. Edição no. 173, Set./ 2021. Editora Attalea.Franca, SP. p. 18-23.
- CALEGARI, A.; HARGROVE, W. L.; RHEINHEIMER, D. S.; RALISCH, R.; TESSIER, D.; TOURDONNET, S.; GUIMARÃES, M. F. (2008). Impact of Long-Term No-Tillage and Cropping System Management on Soil Organic Carbon in an Oxisol: A Model for Sustainability. **Agronomy Journal** 100:1013-1019 (2008).
- CALEGARI, A. Perspectivas e estratégias para a sustentabilidade e o aumento da biodiversidade dos sistemas agrícolas com o uso de adubos verdes. In: Lima Filho, O. F. de; Ambrosano, E. J.; Rossi, F.; Carlos, J.A.D. (Ed.). **Adução verde e plantas de cobertura no Brasil**: fundamentos e prática. Brasília, DF: Embrapa, 2014. v. 1, Cap. 1, p. 21-36.
- CALEGARI, A.; DONIZETI CARLOS, J.A. Recomendações de plantio e informações gerais sobre o uso de espécies para adubação verde no Brasil. In: Lima Filho, O.F.; Ambrosano, E. J.; Rossi, F.; Carlos, J.A.D. (Ed.). **Adução verde e plantas de cobertura no Brasil**: fundamentos e prática. Brasília, DF: Embrapa, 2014. v. 2, Cap. 27, p. 453-478.
- CALEGARI, A. **Plantas de cobertura**. Manual Técnico. Fev. 2016. PENERGETIC. Uberaba, MG 24p. (3a. edição).
- CALEGARI, A. Cover crops. In “Penergetic the natural Biotechnology. With the impulse of Nature. For intelligent Agriculture”. (2018a). Publisher: Penergetic International AG. Romiszelgstrasse. CH- 8590 Romanshorn. www.penergetic.com Graphic Design, Silvia Wasner. Switzerland. P. 07- 33.

CALEGARI, A. Advantages in coffee planting when using cover crops and penergetic products. In "Penergetic the natural Biotechnology. With the impulse of Nature. For intelligent Agriculture". (2018b). Publisher: Penegetic International AG. Romiszelgstrasse. CH- 8590 Romanshorn. www.penergetic.com Graphic Design, Silvia Wasner. Switzerland. P. 07- 33.

CALEGARI, A.; ARAUJO, A.G.; TIECHER, T.; BARTZ, M.L.C.; LANILLO, R.F.; RINHEIMER, D.S.; CAPANDEGUY, F.; ZAMORA, J.H.; BENITES, J.R.J.; MORIYA, K.; DABALÁ, L.; CUBILLA, L.E.; CUBILLA, M.M., CARBALLAL, M.; TRUJILLO, R.; PEIRETTI, R.; DERPSCH, R.; MIGUEL, S.; FRIEDRICH, T. (2020). No-Till Farming Systems for Sustainable Agriculture in South America. In "Yash P. Dang, Ram C. Dalal, Neal W. Menzies. Editors. No-till Farming Systems for Sustainable Agriculture - Challenges and Opportunities". P. 533-564. ISBN 978-3-030-46408-0 ISBN 978-3-030-46409-7 (eBook) <https://doi.org/10.1007/978-3-030-46409-7>. Australia. © Springer Nature Switzerland AG 2020.

CARVALHO, T.O.; FRANCO JUNIOR, K.S.; BRIGANTE, G.P. Effect of use of blends of coverage plants consorciated with the arabic coffee. **IOSR Journal of Agriculture and Veterinary Science** (IOSR-JAVS) Volume 13, Issue 12 Ser. I (December 2020), PP 59-63 DOI: 10.9790/2380-1312015963

CNA: Confederação da Agricultura e Pecuária no Brasil. (2019). Disponível em <http://www.sapc.embrapa.br/arquivos/consorcio/publicacoes_tecnicas/Pesquisa_Safra_Cafeeira_2019_CNA.pdf>. Acesso em 16 Nov. 2021.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de café, safra 2020/21** – quarto levantamento, Brasília, Dezembro 2021. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/>

DERPSCH, R.; CALEGARI, A. (1985). **Guia de plantas para adubação verde de inverno**. Londrina, IAPAR, 96p. (IAPAR, Documentos, 9).

FERNANDES, A.L.T.; TEIXEIRA, A.N.; SANTINATO, R.; SILVA, R.O.; CALEGARI, A. Utilização de condicionadores de solo associados a plantas de cobertura para produção de café no cerrado de Minas Gerais. **Anais... XXI Simpósio Brasileiro de Pesquisa em Cafeicultura Irrigada 20 de março de 2019, Araguari – MG, Brasil**

FLORENTIN, M.A.; PEÑALVA, M.; CALEGARI, A.; DERPSCH, R. (2010). **Green manure/Cover crops and crop rotation in conservation agriculture on small farmers**. Vol.12 -2010. ISBN 978-92-5-106839-7 ISSN 1020-4555. FAO, ROME. 97p.

FRANCO JÚNIOR, K; FLORENTINO, L.A. Shading effect on coffee tree in formation stage. **Coffee Science**, Lavras, v. 14, n. 2, p. 157 - 162, apr./jun. 2019. Disponível em: <<http://www.coffeescience.ufla.br/index.php/Coffeescience/article/view/1561/PDF1561>>. Acesso em 16 de Nov. 2021.

FRANCO JÚNIOR, K.S.; TERRA, A.B.C; FLORENTINO, L.A.; CARVALHO, J.S.; GUIMARÃES, B.C.; SILVA, N.O. Effect of intercropping in shading with crotalaria on the initial development of coffee tree. **Coffee Science**, Lavras, v. 14, n. 4, p. 544 - 549, oct./dec. 2019

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2013) **Climate Change: The Physical Science Basis**. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, United Kingdom and New York: Cambridge University Press. 1.535 p.

OLIVEIRA, J.C. B.; FRANCO JUNIOR, K.S.F.; BRIGANTE, G.P. Diagnóstico sobre o uso de plantas de cobertura e manejo de plantas daninhas. Extensão Rural Práticas e Pesquisas Para o Fortalecimento da Agricultura Familiar - Volume 1, CAP 16, p 215-227, 2021.Guarujá SP, **Cientifica Digital**. DOI: 10.37885/201202375.

RAMOS, M. **Sistema de preparo mínimo do solo**: técnicas e perspectivas no Paraná. Ponta Grossa, PR, 1976, Embrapa - Comunicado Técnico, 23p.

RAGASSI, C.F.; PEDROSA, A. W.; FAVARIN, J. L. Aspectos positivos e riscos no consórcio cafeeiro e braquiária. **Visão Agrícola**, nº12 JAN | JUL 2013, p 29-32. Disponível em:<<https://www.esalq.usp.br/visaoagricola/sites/default/files/va12-instalacao-da-lavou-ra05.pdf>>. Acesso em 16 de Nov. 2021.

RONCHI, C.P. Interferência e controle de plantas daninhas na cultura de café (*Coffea arabica* L.) 2002. 115 f. **Dissertação** (Mestrado em Fitotecnia) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2002.

RUDELL, J. **A soja numa agricultura sustentável**. In: Silva, M.T.B. (Coord.) A soja em rotação de culturas no plantio direto. Cruz Alta. RS: Fundacep-Fecotrigo. cap.1, p.1-34. 1998.

WÜTKE, E.B.; CALEGARI, A.; WILDNER, L.P. Espécies de adubos verdes e plantas de cobertura e recomendações para uso. In: LIMA FILHO, O.F.; AMBROSANO, E.J.; ROSSI, F.; CARLOS, J.A.D. **Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil**: fundamentos e prática. Brasília, DF: Embrapa, 2014. v. 1 p. 59-168.

Sistemas Integrados de Produção Agropecuária em Plantio Direto

Dr. Renato Serena Fontaneli,
Dr. Roberto Serena Fontaneli e Me. Francine Talia Panisson

Introdução

O Brasil é um dos maiores países em área territorial, população, produção de alimentos, fibras e biocombustíveis, e com potencial de expansão de área para atender demandas crescentes da humanidade. Entretanto, há cada vez maior acompanhamento da sociedade quanto aos processos produtivos e a sua sustentabilidade, sendo questionada a abertura de novas áreas para uso agropecuário. Sendo assim, a intensificação de áreas antropizadas, ou seja, alteradas pelo homem, é uma alternativa aceita. Sistemas integrados de produção agropecuária (SIPA) estão reconquistando sua importância como alternativa à insustentabilidade dos sistemas intensivos (CARVALHO et al., 2010), a exemplo da monocultura de soja e arroz no Rio Grande do Sul (RS). O desenvolvimento tecnológico visa à otimização de recursos buscando um novo paradigma de sustentabilidade na agricultura, cuja consolidação está embasada no SIPA, popularizados como sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF), conduzidos sob sistema plantio direto (SPD). A sua viabilidade passa, obrigatoriamente, pelos pilares de processo produtivo, tais como: tecnicamente eficientes; ambientalmente adequados; economicamente viáveis; e socialmente aceitos. A retomada pela Embrapa da abordagem de sistemas ILPF, na década de 1990, motivou também novos grupos de pesquisa multidisciplinares e interinstitucionais na prospecção e adaptação de informações e conhecimento para adoção desse sistema diversificados em áreas com condições edafoclimáticas favoráveis, incluindo solos corrigidos, precipitação pluvial adequada, temperatura e luz não limitantes; e água disponível em quantidade e de boa qualidade (BUNGENSTAB, 2012). Embora seja processo mais complexo, o conhecimento disponível em sistemas integrados de produção permite,

com a sua crescente adoção, redução de pressão para abertura de novas áreas para agropecuária; diminuição da emissão de dióxido de carbono (CO₂); sequestro de carbono; cumprimento da legislação ambiental, incluindo a regularização de reservas legais (regeneração ou compensação) e das áreas de preservação permanente; melhoria dos serviços ambientais; adoção de boas práticas agropecuárias (BPA); certificação da produção; e ampliação positiva do balanço energético.

Como fortalezas dos ILPF, além da viabilidade econômica, com destaques para a otimização dos recursos mobilizados na propriedade rural, como terra, máquinas e equipamentos; sinergia entre a produção animal e vegetal; a utilização de coprodutos/resíduos agrícolas; ciclagem e reciclagem de nutrientes; fixação biológica de nitrogênio; diversificação de receitas, mediante a produção de grãos, carne, leite, biocombustível, fibras e madeira; e redução do custo total do sistema agropecuário, em decorrência do melhor uso de infraestrutura de produção e da menor demanda por insumos agrícolas, com redução dos custos decorrentes da utilização dos resíduos agrícolas na alimentação animal e da oferta de pastagens de melhor qualidade. Sem dúvida, a principal motivação para a sua adoção está no aumento da receita líquida (lucro) do sistema devido ao aumento das receitas e à redução do custo total; na maior estabilidade temporal da receita líquida diante das externalidades; e na dinamização de vários setores da economia, principalmente a regional. Segundo a Embrapa (ILPF, 2015), existiam no Brasil cerca de 15 milhões de hectares de sistemas ILPF integrados de produção, nas diferentes modalidades, ou seja, agropastoril ou integração lavoura-pecuária (ILP), agroflorestal ou integração lavoura floresta (ILF), silvipastoril ou integração pecuária-floresta (IPF) e a mais complexa a agrossilvipastoril ou ILPF. A maior proporção, em relação às áreas antropizadas, ocorre nos estados do RS e Santa Catarina (SC). No RS, cerca de 20% da área, abrangia 1,5 milhão de hectares, correspondendo a 83% do tipo ILP. Atualmente, é estimado que no Brasil os sistemas ILPF já tenham atingido 18 milhões de hectares (EMBRAPA, 2020), projetando-se 30 milhões de hectares para 2030.

O objetivo deste capítulo é contribuir com conceitos, informações e conhecimentos sobre os sistemas ILPF, com ênfase na modalidade ILP, a mais praticada na região sul-brasileira e no Brasil.

Conceituação de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF) ou Agropastoril

A integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) é uma estratégia que visa à produção sustentável, que integra atividades agrícolas, pecuárias e florestais realizadas na mesma área, em cultivo consorciado, em sucessão ou rotacionado, na busca por efeitos sinérgicos entre os componentes dos agroecossistemas, contemplando a adequação ambiental, a valorização do homem e a viabilidade econômica (BALBINO et al., 2011).

Tipos de sistemas ILPF integrados de produção e sua compatibilidade com o Sistema Plantio Direto (SPD)

1. Integração lavoura-pecuária (ILP)

A integração lavoura-pecuária (ILP) ou agropastoril consiste na utilização de uma mesma área com pastagens em rotação com culturas agrícolas. Na região Sul do Brasil, o uso de pastagens de inverno em sucessão às culturas comerciais de verão,

como soja, milho, arroz e feijão, constitui uma estratégia de elevada importância para os agricultores, em virtude da carência de alternativas de cultivos agrícolas economicamente viáveis durante o inverno (BALBINOT JUNIOR et al., 2009), embora sejam cultivados cerca de 15% a 20% da área com cultivos de verão com trigo, cevada, aveia-branca, canola, triticale e centeio. A ILP caracteriza-se como estratégia promissora para desenvolver sistemas de produção menos intensivos no uso de insumos, e mais sustentáveis ao longo do tempo.

Quando é considerado o componente florestal nas condições sul-brasileiras, principalmente florestas homogêneas, cuja espécies mais frequentes são eucalipto, pinus e acácia-negra, em cultivos singulares podem ser considerados como uma lavoura de árvores. Assim, pode-se discutir a combinação de atividades, de uma maneira mais simplificada, como ILP, IPF ou ILF. No RS e em SC, os sistemas ILPF, nas quatro modalidades, ocupavam, em 2015, 20,51% da área antropizada, aproximadamente 1,5 milhão de hectares (EMBRAPA, 2016), sendo que a modalidade ILP representou 75% em SC e 83% no RS, seguida pela IPF e, bem menos frequente a ILF. Exemplo de modelos ILF no sul é o cultivo da erva-mate com culturas anuais de verão como soja, milho, feijão e pastagem de aveia e azevém no inverno. Também há exemplos com citrus, rosáceas (pessegueiro, nectarina) e noqueira-pecã.

O sistema plantio direto (SPD) está consolidado como forma predominante de manejo do solo no cultivo de grãos, e a pecuária de corte e leite em pastagens de inverno são alternativas disponíveis (MELLO, 1998; FONTANELI et al., 2000; FONTANELI et al., 2012). Como principais resultados de pesquisa, podem ser apontados os sistemas de produção de grãos com pastagens anuais de inverno sob SPD e forrageiras para ILP. Embora seja tradicional o uso de pastagens anuais de inverno principalmente com aveia-preta e azevém anual, destaca-se o avanço do trigo de duplo-propósito, com cultivares brasileiras disponibilizadas desde início da década de 2000, inicialmente pela Embrapa e mais recentemente pela Biotrigo Genética, com cultivares específicas para silagem e para pastejo. Destaca-se, também, a consolidação da linha de pesquisa de aveia forrageira e de cobertura de instituições componentes da Comissão Brasileira de Pesquisa de Aveia (Embrapa, Fundacep/CCGL Tec, Iapar, UPF e UFRGS).

Potencial de uso do inverno para bovinocultura de leite e corte

A lavoura de verão (soja, milho e arroz) ocupa no RS, aproximadamente, 8,0 milhões de hectares. Entretanto, menos de 20% desta área é cultivada no inverno para produção de grãos dos cereais (trigo, aveia-branca, cevada, triticale e centeio), mesmo incluindo canola, sendo uma oportunidade para intensificação da agropecuária pela utilização, no inverno, de culturas de cobertura de solo, imprescindíveis no SPD, formadas geralmente por forrageiras de elevado valor nutritivo, com oportunidade para produção de produtos animais comercializáveis, como leite e carne bovina/ovina.

a) Potencial do inverno para vacas leiteiras

Para exemplificar o potencial de utilização do inverno apenas para a bovinocultura de leite, será usada a demanda de vacas leiteiras. O rebanho sul-brasileiro é próximo a 3,5 milhões de vacas leiteiras, somando os rebanhos do PR, do RS e de SC. Considerando o consumo diário de forragem por vaca é de 20 kg de matéria seca (MS) por vaca, a soma de todos os tipos de forragem resulta num consumo anual de mais de 7,0 t por animal. Assumindo-se que a produtividade média de grãos de cereais de inverno como trigo, aveia-branca, cevada e triticale é de 3,0 t/ha e de pasto de 7 t/ha a 8 t/ha MS

(aveia-preta, azevém, centeio, cevada, trigo e triticale, solteiros ou consorciados entre si ou com leguminosas anuais, como as ervilhacas e trevo-vesiculoso), com uma eficiência de pastejo de 70%, serão necessários cultivar anualmente 2,0 ha por vaca para suprir a necessidade total de forragem produzida no inverno (1,0 ha de pastagem e 1,0 ha de grãos de cereais). Assim, cerca de 7 milhões de hectares serão necessários para suprir a necessidade de alimento do rebanho atual das vacas leiteiras da região Sul. Assumindo que já é usado metade dessa área, para alimentação do rebanho leiteiro, cuja produtividade de leite média é cerca de 10 kg/dia, menos da metade do potencial genético. Portanto, neste cenário há possibilidade de ocupação de outros 3,5 milhões de hectares no inverno para produção de alimentos somente para vacas leiteiras da região Sul, região que produz quase 40% do leite brasileiro (Embrapa, 2020) e quase a totalidade do trigo, da cevada e da aveia-branca.

b) Potencial do inverno para bovinos de corte

Considerando que o estado do RS possui um rebanho de cerca de 11,5 milhões de animais e que, com desfrute médio de 20%, resulta em 2,3 milhões de bovinos abatidos anualmente. Assumindo que todos sejam terminados em ILP e considerando uma conversão de 10:1, ou seja, consumo de 10 kg de MS por cada 1 kg de ganho de peso vivo (GPV) de novilhos. O GPV médio diário é estimado em 1,0 kg/bovino e o período de terminação de 100 a 120 dias (outono/inverno). A carga animal média é de 900 kg a 1.000 kg de peso vivo (PV)/ha, cerca de 3,0 novilhos/ha, que resulta em 300 a 360 kg/ha de GPV. Para isso, seriam consumidos pelos bovinos 3,6 t/ha de MS, implicando na ocupação de mais de 700 mil hectares de pastagens anuais de inverno. Esse consumo representa cerca da metade da MS acumulada em uma pastagem tradicional de aveia-azevém e pelas modernas cultivares de trigo forrageiro ou de duplo-propósito.

Resultante dessa oportunidade de ILP, já praticada há muito tempo, mas infelizmente sem estatísticas oficiais, pode ser destacado que, quando bem manejada, há possibilidade de deixar um resíduo (palhada) de 3 t/ha a 4 t/ha de MS, sendo um pilar para o SPD. Pastejo bem conduzido permite cobertura de palha uniforme, resultando em benefícios como: menor incidência de plantas daninhas em relação às áreas em pousio; menor custo para as culturas de verão em sucessão; maior crescimento de raízes; maior proteção do solo; maior armazenamento de água; maior ciclagem de nutrientes; enfim, melhorias nas condições físicas, químicas e biológicas do solo.

Sucessão soja-milho-arroz/ pastagem anual de inverno

Segundo estatísticas do governo do RS, no RS, são abatidos 2/3 dos bovinos entre feve reiro e junho, período de safra decorrente do comportamento produtivo das pastagens naturais sul-brasileiras, contribuindo com a oscilação de preços. Como visto, engorda de novilhos em pastagens cultivadas de inverno é uma oportunidade praticada de longa data, onde pastagens de aveia-preta e ou azevém são tradicionais em sucessão às culturas de verão, especialmente soja, milho e arroz.

Alguns resultados de desempenho animal são sumariados a seguir. Ries (1994) reportou o sistema de engorda de seis propriedades na região de Cruz Alta, RS, cujo período de pastejo variou de 81 a 98 dias, com ganhos médios diários por novilho de 0,8 kg a 1,65 kg e de 97 kg/ha a 210 kg/ha, respectivamente. Em Passo Fundo, RS, na Fazenda Pessegueiro, tradicional na ILP é praticada (sucessão de soja com pastagem de aveia-preta/azevém há muitas décadas). Já Formigheri et al. (1994) avaliaram o desempenho de bovinos em quatro pastagens de inverno: a) aveia-preta (AP); b) cevada

(CEV); c) consorciação de aveia-preta/centeio (AP-CE); e d) aveia-preta/azevém/trevo-vesiculososo (AP-AZ-TV). A estimativa de ganho de peso vivo diário por bovino variou de 0,74 kg (AP-CE) a 1,38 kg (CEV). Nas pastagens de AP e AP-AZ-TV, o ganho foi de 1,0 kg e 1,14 kg, respectivamente. Embora a cevada tenha resultado em melhor GPV por novilho, teve suscetibilidade a doenças foliares; menor capacidade de suporte; e menor produtividade. A lotação média em aveia-preta foi de 1,7 novilho/ha e GPV de 1,0 kg/novilho. Os autores concluíram que a pastagem de AP-AZ-TV foi a mais produtiva, com maior acúmulo de MS e maior capacidade de suporte, resultando em maior período de pastejo e produção animal. Resultado esperado, pois a mistura de aveia-preta e azevém, que são as principais espécies utilizadas para pastejo na região Sul do Brasil, basicamente em função da facilidade na aquisição de sementes e das particularidades em relação ao ciclo de produção das espécies (ROSO et al., 2000), associa as máximas produções de biomassa, evitando a flutuação no fornecimento de forragem aos animais. A máxima produção de aveia concentra-se nos períodos iniciais da pastagem de inverno, devido a sua precocidade, arquitetura e disposição das folhas, diferentemente do azevém, cuja participação aumenta ao longo do período de primavera (AGUINAGA et al., 2008), por apresentar desenvolvimento lento em temperaturas baixas, e aumento na produção de MS quando as temperaturas são mais elevadas (FLOSS, 1989). O GVP diário em bovinos varia entre 0,8 kg/animal e 1,1 kg/animal por dia, podendo superar o GVP de 500 kg/ha, com carga animal para manter a pastagem de aveia/azevém entre 20 cm a 30 cm de altura (MARTINS et al., 2015). O acréscimo do trevo-vesiculososo no consórcio estende o período de pastejo até dezembro, permitindo 5 a 6 meses de pastejo nas regiões fisiográficas do Planalto Médio e Missões do RS, aumentando o acúmulo de biomassa, melhoria de valor nutritivo, aumento da capacidade de suporte e do ganho por área, além da fixação biológica de Nitrogênio.

De maneira geral, no início do desenvolvimento da pastagem consorciada de aveia-preta e azevém, ocorre dominância da aveia-preta com um percentual de 73%, em média, devido a maior produção de colmos e folhas, ocupando os extratos mais altos do dossel, que tendem a suprimir o azevém (ASSMANN et al., 2004). Com o aumento das temperaturas na primavera, as taxas de acumulação de MS em forma de folhas por parte da aveia-preta tendem a diminuir, enquanto as do azevém aumentam e, no final do ciclo da pastagem, pode-se dizer que o azevém participa com aproximadamente 82% da massa seca total produzida (AGUINAGA et al., 2008). Estes diferentes picos de produção e oscilação das espécies dentro da pastagem contribuem para a estabilidade de produção na área. O consórcio de forrageiras anuais de inverno é uma excelente alternativa para a entressafra no sul do Brasil, pois, além das vantagens ambientais proporcionadas, consegue minimizar os efeitos ocasionados pelo vazio forrageiro outonal com espécies precoces, diminuindo, assim, o gasto com fertilizantes nitrogenados, fornecendo alimento com qualidade de forragem aos animais, e estendendo a produção de pasto até o plantio da cultura de verão (DALL'AGNOL et al., 2021). Todas estas vantagens acarretam na maximização do uso das áreas agrícolas, gerando maior retorno econômico ao produtor e menor impacto ambiental à propriedade, pois o sistema torna-se mais sustentável, tendo sempre alguma cultura no campo, maximizando o aproveitamento de insumos agrícolas.

Em experimento de longa duração iniciado em 2001 na Fazenda Espinilho, em Tupanciretã, RS, pela Faculdade de Agronomia da UFRGS, após 15 anos de avaliação em sistema ILP (sucessão soja/pastagem anual de inverno), com diferentes intensidades de pastejo, concluiu-se que, em pastejo moderado na aveia-preta/azevém, resíduo de 20 cm a 30 cm de altura, com lotação contínua e ajuste de carga, houve incremento médio de 48% na renda bruta por hectare da fazenda, ou seja, a cada dois anos de soja,

o engorde de novilhos incrementou o equivalente em soja de 41% a 55%, no pastejo com altura de plantas entre 30 cm e 20 cm, respectivamente (MARTINS et al., 2015). Os mesmos autores concluíram que, além do aumento da produtividade total, embora com maior custo operacional, destacam a redução do risco econômico frente às adversidades climáticas, especialmente de verão.

Além disso, os bovinos podem e devem ser suplementados na pastagem com energia (grãos), que podem ser de cereais de inverno, aumentando a capacidade de suporte e melhorando o acabamento animal. Além disso, se está melhorando os índices reprodutivos das matrizes, pois a vocação principal das pastagens nativas é para cria e não para terminação.

Outras alternativas de forrageamento animal em ILP que vêm crescendo em adoção nas condições sul-brasileiras, tanto para engorda de novilhos como para sistemas semi-intensivos de produção leiteira, são os cereais forrageiros de inverno ou de duplo-propósito. Cultivares de trigo como a consagrada BRS Tarumã, acrescida do BRS Pastoreio e da nova BRS Tarumaxi, são exemplos da importância da pesquisa no atendimento de demandas crescentes por novidades robustas. Além da Embrapa, outras empresas têm contribuído para a produção animal intensiva. Merecem destaques para pastejo as cultivares de trigo BRS Tarumaxi e Lenox e, para silagem, BRS Pastoreio e TBIO Energix 201. Entretanto, há dezenas de indicações de cultivares de aveia, centeio, cevada, trigo e triticale com vantagens a serem analisadas pelos produtores com seus assistentes técnicos para obtenção de forragem para seus animais durante o ano todo, que podem ser produzidas nas áreas ociosas durante a entressafra de verão. Diversas cultivares de azevém, de variados ciclos, desde precoces a tardios, estão disponibilizadas por empresas públicas e privadas, como alternativas para composição de programas robustos de forrageamento de ruminantes. Além disso, estão cada vez mais populares os pré-secados (silagens emurchecidas), chamados muitas vezes de bolas de feno, embaladas em sacos plásticos com capacidades de 100 kg e, até mais de 500 kg de silagem emurchecidas, mas que podem ser armazenados nos mesmos silos tradicionais, tipo trincheira ou de superfície.

No bioma Pampa, segundo Reis e Saibro (2004), podem ser destacados sistemas ILP com rotações curtas, utilizando gramíneas cultivadas em sucessão ao arroz, e rotações mais longas, com utilização de misturas de forrageiras gramíneas e leguminosas e espécies nativas. A utilização da soca do arroz irrigado para alimentação de bovinos foi aprimorada pela seleção de forrageiras de estação fria, adaptadas às condições de terras baixas (REIS, 1998), o que permite melhor aproveitamento da área e melhor distribuição estacional de forragem ao longo do ano.

Resultante de conhecimentos acumulados, têm ocorrido ações conjuntas entre instituições de ensino, pesquisa e extensão, com trabalhos em desenvolvimento orientados para, segundo Balbino et al. (2011):

- a) desenvolvimento de sistemas ILP nas áreas de várzeas de cultivo de arroz;
- b) recuperação de áreas degradadas pelo excesso de carga animal;
- c) desenvolvimento de tecnologias de controle do capim-annoni;
- d) diversificação da matriz produtiva nas áreas de criação extensiva de gado, introduzindo culturas anuais;
- e) disponibilização de espécies forrageiras de crescimento hibernal, adaptadas às condições de terras baixas e dos campos;
- f) desenvolvimento de tecnologias de manejo de forragem dos campos nativos; e
- g) seleção de trigos de duplo-propósito e a introdução de culturas anuais de inverno nas áreas em que predomina a sucessão trigo/soja.

Modelos de sistemas de produção ILP desenvolvidos no Brasil Central com potencial de uso no Sul

Sistema Santa Fé (Santa Helena, GO)

O sistema Santa Fé fundamenta-se na produção consorciada de culturas de grãos, especialmente milho, sorgo e milheto com forrageiras tropicais, principalmente as do gênero *Urochloa* (ex-*Brachiaria*) e *Megathyrsus* (ex-*Panicum*), em áreas com solo parcial ou devidamente corrigido (ALVARENGA et al., 2008). Nesse sistema, a cultura do milho apresenta vigoroso desenvolvimento inicial, exercendo alta competição sobre as forrageiras e evitando redução significativa na sua produtividade. Os principais objetivos do Sistema Santa Fé são a produção de forrageira para a entressafra e de palhada em quantidade e qualidade para o SPD. O Sistema Santa Fé, consolidado especialmente na região do Cerrado brasileiro, apresenta grande vantagem, pois não altera o cronograma de atividades do produtor e não exige equipamentos especiais para a sua implantação. Com essa combinação, é possível aumentar o rendimento do milho e das pastagens e, com isso, baixar os custos de produção, tornando a propriedade agrícola mais competitiva e sustentável. Esses autores também destacam que esse sistema está viabilizando o SPD em várias regiões, devido à geração de palhada em quantidade adequada. Somam-se a isso alguns benefícios agregados à palhada de braquiária, no que diz respeito ao seu efeito supressor de plantas daninhas e de fungos de solo.

Na região norte do Rio Grande do Sul, segundo Mariani et al. (2012a), não foi encontrada diferença no rendimento de milho em ano com estiagem (2008/2009) em comparação com milho consorciado com braquiária brizanta, cultivar Marandu, e capim-colômbio (panicum), cultivares Aruana e Mombaça. A palhada residual outonal do consórcio milho-pastagem tropical (6,0 t MS/ha) foi superior às pastagens isoladas (4,0 t MS/ha). Entretanto, esses resíduos afetaram o rendimento de matéria seca e o teor de proteína bruta da pastagem de aveia-preta e de trigo de duplo propósito (BRS Tarumã) cultivados em sucessão, pois tiveram melhores resultados quando semeados após a consorciação de soja/forrageiras tropicais ou soja isolada (MARIANI et al., 2012b). O menor acúmulo de matéria seca das gramíneas anuais de inverno (aveia e trigo para pastejo) deve-se pela competição por N da palhada residual do milho comparado com a da soja, que possui menor relação carbono/nitrogênio. Já Denardin et al. (2010), em estudo similar durante cinco safras em Coxilha, RS (2005/2006 a 2009/2010), em que, no primeiro ano, consorciaram milho/braquiária ruziense e, nos demais, milho/braquiária brizanta cultivar Arapotí, concluíram que, independentemente da quantidade e da distribuição pluvial ocorrida, a forrageira tropical não afetou o rendimento de milho, vislumbrando a pastagem tropical como uma segunda safra de verão ou, até mesmo, como uma terceira safra agrícola anual.

Sistema Barreirão

O Sistema Barreirão foi desenvolvido pela Embrapa Arroz e Feijão na década de 1980 para recuperar ou reformar áreas de pastagens degradadas no Brasil Central, partindo da avaliação do perfil do solo, para verificar se há presença de camada compactada ou adensada e para conhecer a espessura do horizonte superficial, ou seja, para proceder à caracterização física e química e fazer a correção da acidez do solo para a cultura que será implantada. Cultura exigente em fertilidade do solo, como o

milho, requer adequação de pH (6,0), com incorporação de calcário, observação da saturação por alumínio (menor que 20%) e saturação por bases (acima de 50% a 55%). Esse sistema ainda é utilizado como preparação da ILP no Sistema Santa Fé.

Sistema Santa Brígida (Ipameri, GO)

O Sistema Santa Brígida, além do reportado no Sistema Santa Fé, preconiza o uso de leguminosas como o guandu (*Cajanus* spp.), com fixação biológica de N, diversificação de forragem e de palhada.

Sistema São Mateus (Selvíria, MS)

Tradicionalmente, os modelos de ILP iniciam a sequência de rotação pela agricultura, para depois incorporar a pastagem. No Sistema São Mateus, a sequência começa pela pastagem (pasto/soja). Com o início pelo pasto, após a correção química do solo, haverá tempo suficiente para os corretivos reagirem, para o sistema radicular da pastagem construir uma estrutura de solo favorável à manutenção de umidade e o pasto formar palha necessária para o sistema plantio direto da soja. O Sistema São Mateus começou a ser desenvolvido em 2008 e teve sua conclusão em 2016, em uma Unidade de Referência Tecnológica (URT) da Embrapa juntamente à Fazenda São Mateus. É uma tecnologia consolidada para as áreas da região do leste do estado de Mato Grosso do Sul, onde ainda predominam a pecuária e a silvicultura. A tecnologia, que introduziu a soja no sistema, foi aperfeiçoada levando-se em conta não somente os solos arenosos (pobres em nutrientes e com menor capacidade de retenção de água), mas também a distribuição irregular das chuvas ao longo do ano na região, com veranicos no período chuvoso.

2. Integração pecuária-floresta (IPF) ou silvipastoril

Estudos de adaptação de espécies forrageiras para ambientes sombreados na região sul-brasileira (campanha do Rio Grande do Sul e centro-sul do Paraná), em sistemas silvipastoris com pinus no espaçamento 15 m x 3 m (35% de sombra) e 9 m x 3 m (65% de sombra), destacaram as forrageiras perenes de verão de origem africana, como a braquiária brizanta (*Urochloa brizantha*, ex-*Brachiaria brizantha*), cultivares Marandu, BRS Piatã e BRS Xaraés, os panicuns, também denominados capim-colômbio (*Megathyrsus maximus*, ex-*Panicum maximum*), cultivares BRS Zuri, BRS Quênia, Tanzânia, Mombaça, Massai e Aruana, e a gramínea nativa missioneiragigante (*Axonopus catharinensis*) (VARELLA et. al., 2012). No litoral sul do RS, Barro (2007), também com pinus, destacou as espécies de aveia-preta (*Avena strigosa*) e aveia branca (*Avena sativa*), enquanto que Sartor et al. (2006) reportaram maior produção potencial do azevém (*Lolium multiflorum*) sob sombra fraca de pinus com espaçamento de 15 m x 3 m.

No inverno de 2019 foram sobressemeados nove genótipos de aveia (preta, amarela e branca) em pastagem de Tifton 85 (*Cynodon* sp.) no sistema silvipastoril em Três de Maio, RS, com renques de fileiras simples de eucalipto distanciados de 12 m. Foram avaliados dois cortes nas aveias, sendo destaque, no primeiro corte, a aveia-preta, com acúmulo de forragem verde de 9,7 t/ha e 0,9 t/ha de MS. O rendimento médio das aveias, no primeiro corte, foi de 7,7 t/ha e 0,74 t/ha de matéria verde e MS, respectivamente. No segundo corte, o destaque foi para aveia-amarela, com 11,8 t/ha de matéria verde e 1,2 t/ha de MS (CARAFFA et al., 2021). É importante avaliar cultivares de for-

rageiras disponíveis quanto à adaptação ao sombreamento, bem como avaliar o valor nutritivo em sistemas com arborização.

Em síntese, espécies tropicais com alto rendimento de forragem, em geral, são mais tolerantes à sombra (40% a 60% de sombreamento), enquanto que espécies temperadas, com médio rendimento de forragem, incluindo aveia-preta e azevém, tem média tolerância ao sombreamento (< 40%).

Para finalizar, destaca-se o bem-estar animal propiciado pelo componente florestal (CARAFFA et al., 2021). Bem-estar pode ser conceituado como a harmonia entre o animal e o ambiente, caracterizado por condições físicas e fisiológicas ótimas e pela alta qualidade de vida do animal (ALVES et al., 2015). O conforto térmico é importante para a sobrevivência e a produção animal. A ausência de árvores influencia negativamente no bem-estar animal, aumentando o gasto energético e gerando maior custo ambiental, e pode reduzir significativamente a produção de carne e leite (MELO, 2012). O componente florestal, arborização de pastagens, pode minimizar os efeitos da temperatura e aumentar a eficiência produtiva, compondo sistemas de produção mais rentáveis e sustentáveis, embora mais complexos, principalmente os agrossilvipastoris (ILPF).

3. Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF) ou Agrossilvipastoril

Balbino et al. (2011) apontaram peculiaridades que tornam a ILPF socialmente aceita, destacando, por exemplo: possibilidade de adoção por qualquer produtor rural, de pequenas a grandes propriedades; aumento da renda do produtor rural; maior geração de empregos; melhor distribuição de renda; redução da migração; estímulo à qualificação profissional; e aumento da competitividade do agronegócio brasileiro, com melhoria da imagem do processo produtivo agropecuário, pois concilia atividade produtiva e preservação do meio ambiente.

O potencial de adoção da ILPF está condicionado a diversos fatores de ordem econômica e ambiental, característicos nos diferentes biomas brasileiros (BALBINO et al., 2011). Existem requisitos que devem ser considerados pelos produtores em sua adoção. Alguns desses, segundo Vilela et al. (2001), Kichel e Miranda (2002) e Dias-Filho (2007), são: solos favoráveis para a produção de grãos, com boa drenagem e aptos à mecanização; infraestrutura para produção e armazenamento da produção; recursos financeiros próprios ou acesso a crédito para os investimentos na produção; domínio da tecnologia para produção de grãos e pecuária; acesso a mercado para compra de insumos e comercialização da produção, com preços que justifiquem economicamente a adoção dessa prática; acesso à assistência técnica; e possibilidade de arrendamento da terra ou de parceria com produtores tradicionais produtores de grãos.

Benefícios e dificuldades ou entraves da Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF) em suas diferentes formas (ILP, ILF e IPF)

Nos sistemas ILPF nas formas ILP, ILF ou IPF ocorre a complementariedade e a sinergia entre os componentes bióticos e abióticos, de forma que os meios de produção disponíveis possam ser utilizados de maneira mais eficiente. É uma das formas da utilização da terra ambientalmente adequada, que também valoriza a paisagem. Sistemas ILPF preconizam a diversificação das atividades agrícola, pastoril e florestal, melhorando a utilização dos recursos ambientais, com vantagens a partir dos compo-

nentes tecnológicos, ecológicos e econômico-sociais, dos quais podem ser destacados, segundo Balbino et al. (2011):

a) Benefícios tecnológicos

- Melhoria dos atributos biológicos, físicos e químicos do solo devido ao aumento da matéria orgânica;
- Redução das perdas de produtividade na ocorrência de veranicos, quando associada a práticas de correção da fertilidade do solo e ao sistema plantio direto;
- Redução da ocorrência de plantas daninhas, insetos-praga e doenças;
- Maior conforto térmico dos animais;
- Maior eficiência na utilização de insumos e ampliação do balanço positivo de energia; e
- Possibilidade de aplicação em diversos sistemas e unidades de produção, independente da área das propriedades rurais.

b) Benefícios ecológicos e ambientais

- Melhoria na utilização dos recursos naturais pela complementariedade das atividades e sinergia entre os componentes vegetais e animais;
- Maior eficiência na utilização de recursos (água, luz, nutrientes e capital) e ampliação do balanço energético;
- Intensificação da ciclagem de nutrientes no solo;
- Mitigação de gases de efeito estufa, resultante da maior capacidade de sequestro de carbono;
- Menor emissão de metano por quilograma de carne produzida;
- Redução da pressão para a abertura de novas áreas;
- Redução dos riscos de erosão, com melhoramento da qualidade de conservação das características produtivas do solo;
- Melhoria da qualidade da água;
- Redução no uso de agroquímicos para controle de insetos-pragas, doenças e plantas daninhas;
- Manutenção da biodiversidade sustentabilidade da agropecuária;
- Aumento da capacidade de biorremediação do solo;
- Reconstituição do paisagismo, possibilitando atividades de agroecoturismo; e
- Melhoria da imagem pública dos agricultores perante a sociedade, atrelada à conscientização ambiental.

c) Benefícios econômicos e sociais

- Aumento da produção anual de alimentos, fibras, biocombustíveis e biomassa a menor custo;
- Aumento da competitividade pela otimização dos processos e fatores de produção das cadeias de origem animal e vegetal;

- Aumento da produtividade e qualidade do leite e redução da sazonalidade de produção;
- Dinamização da economia, principalmente a nível regional;
- Possibilidade de novos arranjos de uso da terra, com possibilidade de exploração da especialidade e habilidades dos diferentes atores, proprietários ou arrendatários;
- Estabilidade econômica, com redução de riscos e incertezas pela diversificação de atividades e melhorias das condições de produção;
- Fixação e maior inserção social pela geração de emprego e renda líquida, permitindo capitalização do produtor;
- Redução da sazonalidade do uso de mão de obra e do êxodo rural;
- Aumento de oferta de alimentos de qualidade;
- Melhoria de qualidade de vida do trabalhador e família rural;
- Estímulo à participação da sociedade civil organizada;
- Melhoria da imagem pública dos agricultores perante a sociedade, pois concilia atividade produtiva e preservação do meio ambiente;
- Maiores vantagens competitivas na inserção das questões ambientais nas discussões e negociações da Organização Mundial do Comércio (OMC); e
- Aumento da renda dos empreendimentos rurais.

O balanço das vantagens e dificuldades, da relação dos custos e benefícios contribuem para a tomada de decisão. Sempre há busca de otimização dos recursos terras, máquinas, equipamentos, mão de obra disponível e treinada. Nem sempre a adoção é direta e positiva com o maior retorno econômico com sustentabilidade, é muito importante a melhoria das condições de vida da família rural, diminuição do esforço das atividades laborais, mas quando adotada contribui para o desenvolvimento da família, da comunidade e da sociedade como um todo.

Considerações finais

Como visto neste capítulo, os sistemas integrados de produção, em seus diferentes formatos, emergem como alternativa viável e eficiente, com particularidades nas diversas regiões do País, atendendo, de certa maneira, às demandas atuais do setor produtivo e da sociedade, enfatizando a qualidade das atividades. É um novo paradigma na agropecuária, exigindo pesquisa interdisciplinar e interinstitucional, além de considerar o efeito do tempo, seja no curto, médio e longo prazos. Sistemas integrados de produção vão além da produção de grãos e carne com qualidade, baseando-se em princípios de sustentabilidade, com diversificação e monitoramento constantes, pela substituição de insumos pelo uso de recursos naturais ambientalmente corretos, com viabilidade econômica, socialmente justo e evolutivo.

“Cultivar a terra e criar animais são as mais nobres atividades praticadas pelo homem. Produzir alimentos vegetais é a magia de colher o sol. Produzir proteína animal é a arte de transformação desta magia. Imagine, então, quão nobre é o homem que simultaneamente cultiva a terra, cria os animais e ainda respeita e protege o seu semelhante e o ambiente. Saudemos nossos nobres mágicos e artistas”. Equipe Sistema Santa Fé, 2001.

REFERÊNCIAS

AGUINAGA, A. A. Q.; CARVALHO, P. C. DE F.; ANGHINONI, I.; PILAU, A.; AGUINAGA, A. J. Q.; GIANLUPPI, G. D. F. Componentes morfológicos e produção de forragem de pastagem de aveia e azevém manejada em diferentes alturas. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 37, p. 1523-1530, 2008.

ALVES, F. V.; NICODEMO, M. L. F.; PORFÍRIO-DA-SILVA, V. B. Bem-estar animal em sistemas de integração lavoura-pecuária em sistemas de integração lavoura-pecuária. In: CORDEIRO, L. A. M.; VILELA, L.; KLUTHCOUSKI, J.; MARCHÃO, R.L. (Eds.). **Integração lavoura-pecuária-floresta: o produtor pergunta, a Embrapa responde**. Brasília, DF: Embrapa, 2015. p.273-287.

ALVARENGA, R.C.; COBUCCI, T.; KLUTHKOSKI, J.; WRUCK, F.J.; CRUZ, J.C.; GONTIJO NETO, M.M. A cultura do milho na integração lavoura pecuária. In: CRUZ, J.C. et al., 2008 (eds.). **A cultura do milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2008. p.491-517.

ASSMANN, A. L.; PELISSARI, A.; MORAES, A.; ASSMANN, T. S.; OLIVEIRA, E. B.; SANDIN, I. Produção de gado de corte e acúmulo de matéria seca em sistema de integração lavoura-pecuária em presença ou ausência de trevo branco e nitrogênio. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 33, p. 37-44, 2004.

BALBINO, L.C.; BARCELLOS, A. de O.; STONE, L.F. (eds.) **Marco referencial integração lavoura-pecuária-floresta**. Brasília, DF: Embrapa, 2011. 130 p.

BALBINOT JUNIOR, A. A.; MORAES, A. de; VEIGA, M. da; PELISSARI, A.; DIECKOW, J. Integração lavoura-pecuária: intensificação de uso de áreas agrícolas. **Ciência Rural**, v.39, p. 1925-1933, 2009.

BARRO, R. S. **Rendimento de forragem e valor nutritivo de forrageiras de estação fria submetidas a sombreamento por *Pinus elliottii* e ao sol pleno**. 2007. 130 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

BUNGENSTAB, D. J. (ed.). **Sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta: a produção sustentável**. 2ed. Brasília, DF: Embrapa, 2012.

CARAFFA, M.; MORAES, C. dos S.; SANTOS, H. P. dos; FONTANELI, R. S.; PIZZANI, R.; PEREIRA, E. A.; PANISSON, F. T. A aveia nos sistemas de produção. In: DANIELOWSKI, R. et al. (Orgs.). **Informações técnicas par a cultura da aveia**. 40. Reunião da Comissão Brasileira de Pesquisa da Aveia. Três de Maio: SETREM, 2021. p.129-150.

CARVALHO, P. C. de F.; ANGHINONI, I.; MORAES, A. de. et al. Managing grazing animals to achieve nutrient cycling and soil improvement in no-till integrated systems. **Nutr Cycl Agroecosyst**, v.88, p.259-273, 2010.

DALL'AGNOL, E. C.; ZENI, M.; SILVEIRA, D. C.; FONTANELI, R. S.; REBEQUINI, R.; PANISSON, F.T.; CEOLIN, M. E. T.; ESCOBAR, F. M.; WEBBER, M. P. C. Consorciações de forrageiras anuais de inverno. **Revista Plantio Direto**, ed. 180, p. 31-35, 2021.

DENARDIN, J. E.; FAGANELLO, A.; KOCHHANN, R. A.; SANTI, A.; DALMAGO, G. A.; SILVA JUNIOR, J. P. da. Consórcio milho-braquiária como fator de intensificação de modelos de produção. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2010. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 78).

DIAS-FILHO, M. B. **Degradação de pastagens: processos, causas e estratégias de recuperação**. 3.ed. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2007.

- DUFUMIER, M. **Projetos de desenvolvimento agrícola**. 2.ed. Salvador: EDUFBA, 2010. 326p. EMBRAPA. ILPF em números. Brasília: Embrapa, 2016.
- EMBRAPA. Anuário do Leite 2022. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/pt/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1144110/anuario-leite-2022-pecuaria-leiteira-de-precisao>> Acesso em: 25 nov. 2022.
- FONTANELI, R. S.; SANTOS, H. P. dos; AMBROSI, I.; IGNACZAK, J. C.; DENARDIN, J. E.; REIS, E. M., VOSS, M. **Sistemas de produção de grãos com pastagens anuais de inverno, sob plantio direto**. Passo Fundo, RS: Embrapa Trigo, 2000. 84p. (Embrapa Trigo. Circular Técnica, 6).
- FONTANELI, R. S.; SANTOS, H. P. dos; FONTANELI, Rob. S. (eds.) **Forrageiras para integração lavoura-pecuária-floresta na região sul-brasileira**. 2.ed. Brasília, DF: Embrapa, 2012. 544p.
- FLOSS, E. L. Aveia. In: BAIER, A. C.; AUDE, M. I. S.; FLOSS, E. L. **As lavouras de inverno-1**. 2 ed. São Paulo: Globo, 1989. p.76-106. https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_nlinks&ref=000078&pid=S0103-8478200100010001900005&lng=en Acessado em 29 abril de 2022.
- FORMIGHERI, L.; FONTANELI, R. S.; FORMIGHERI, L. Avaliação do desempenho de bovinos de corte em pastagens de estação fria. In: LHAMBY, J.C.B.L. (ed.) Reunião Centro-Sul de adubação verde e rotação de culturas, 4. Passo Fundo, RS, 1994. **Anais...** Passo Fundo: Embrapa Trigo, 1994. p.102-105.
- ILPF em Números. Região 7 (Rio Grande do Sul e Santa Catarina). Brasília, DF: Embrapa, 2015. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1064859/ilpf-em-numeros> Acessado em 29 abril de 2022.
- KICHEL, A. N.; MIRANDA, C. H. B. **Sistemas de integração lavoura e pecuária como formas de otimização do processo produtivo**. Campo Grande, MS: Embrapa Gado de Corte, 2002. 5p. (Embrapa Gado de Corte. Comunicado Técnico, 74).
- MARIANI, F.; FONTANELI, Ren. S.; VARGAS, L.; SANTOS, H. P. dos; FONTANELI, Rob. S. Estabelecimento de gramíneas forrageiras tropicais perenes simultaneamente com as culturas de milho e soja no norte do RS. **Ciência Rural**, v.42, n.8., p.1471-1476, 2012a.
- MARIANI, F.; FONTANELI, Ren. S.; VARGAS, L.; SANTOS, H. P. dos; FONTANELI, Rob. S. Trigo de duplo propósito e aveia preta após forrageiras perenes e culturas de verão em sistema de integração lavoura-pecuária. **Ciência Rural**, v.42, n.8., p.1752-1757, 2012b.
- MARTINS, A.; KUNRATH, T. R.; ANGHINONI, I.; CARVALHO, P. C. de F. (eds.). Integração soja-bovinos de corte no sul do Brasil. Porto Alegre: Ufrgs, 2015. (**Boletim Técnico**, 2. Edição) 102p.
- MELO, I. B. de. **Integração lavoura-pecuária-floresta no norte do Rio Grande do Sul – Estudo de Caso**. In: FONTANELI, Ren. S.; SANTOS, H. P. dos; FONTANELI, Rob. S. (eds.) Forrageiras para Integração Lavoura-Pecuária-Floresta na Região Sul-brasileira. Brasília: Embrapa, 2012. p. 461-487. <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/1010247/1/LV2012forrageirasparaintegracaoFontaneli.pdf> Acessado em 29 abril de 2022.
- MELLO, J. da S. **Integração lavoura-pecuária em sistema plantio direto**. Passo Fundo, RS: Embrapa-CNPQ/Projeto METAS, 1998. (Projeto METAS. Boletim Técnico, 3).

REIS, J. C. L. **Pastagens em terras baixas**. Pelotas: Embrapa-CPACT, 1998. (Embrapa-CPACT. Circular técnica, 7).

REIS, J. C. L.; SAIBRO, J. C. de. Integração do arroz com pastagens cultivadas e pecuária. In: GOMES, A. da S.; MAGALHÃES JÚNIOR, A.M. de (Ed.). **Arroz irrigado no Sul do Brasil**. Pelotas: Embrapa clima Temperado; Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. p.831-859.

RIES, J. E. Integração lavoura-pecuária. In: LHAMBY, J.C.B.L. (ed.) Reunião Centro-Sul de adubação verde e rotação de culturas, 4. Passo Fundo, RS, 1994. **Anais da...** Passo Fundo: Embrapa Trigo, 1994. p. 34-39.

SANTOS, H. P. dos; FONTANELI, R. S.; SPERA, S. T.; TOMM, G. O.; AMBROSI, I. **Sistema de produção de grãos com pastagens anuais de inverno e verão, sob plantio direto**. Passo Fundo, RS: Embrapa Trigo, 2006. 128p. (Embrapa Trigo. Documentos, 69).

SARTOR, L. R.; SOARES, A. B.; ADAMI, P. F.; MEZZALIRA, J. C.; FONSECA, L.; MIGLIORINI, R. Produção de forrageiras hibernais em sistema silvipastoril. In: SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA, 11., 2006, Curitiba. **Anais...** Curitiba, UTFPR, (2006). 1CD ROM.

VARELA, A. C.; SILVA, V. P. da; RIBASKI, J. et al. de. Estabelecimento de plantas forrageiras em sistemas de integração floresta-pecuária no sul do Brasil. In: FONTANELI, Ren. S.; SANTOS, H. P. dos; FONTANELI, Rob. S. (eds.) **Forrageiras para Integração Lavoura-Pecuária-Floresta na Região Sul-brasileira**. Brasília: Embrapa, 2012. p. 435-460. <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/1010247/1/LV2012forrageirasparaintegracaoFontaneli.pdf> Acessado em 29 abril de 2022.

VILELA, L.; BARCELLOS, A. de O.; SOUSA, D. M. G. **Benefícios da integração entre lavoura e pecuária**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2001. 21p. (Embrapa Cerrados. Documentos, 42). <https://www.google.com/search?client=firefox-b-d&q=Benef%C3%ADcios+da+integra%C3%A7%C3%A3o+entre+lavoura+e+pecu%C3%A1ria.+Planaltina%2C+DF%3A+Embrapa+Cerrados%2C+2001.+21p.+%28Embrapa+Cerrados.+Documentos%2C+42%29> Acessado em 29 abril de 2022.

Sistemas de produção de lavouras extensivas em Plantio Direto: Algodão, a experiência do Oeste da Bahia

Eng. Agr. Celito Eduardo Breda, Dr. Alexandre Cunha de Barcellos Ferreira e Dr. Fabiano Jose Perina

1. Histórico - Narrativa de um dos pioneiros em plantio direto no Oeste da Bahia

A região oeste da Bahia, nos ambientes de cerrado, começou a ser cultivada mais intensamente com as grandes culturas por volta de 1980, principalmente por brasileiros que migraram do sul do país, vindos do RS e PR. Por ser uma “nova fronteira agrícola”, as terras eram muito baratas (alguns falavam entre 2 a 3 carteiras de cigarro por hectare, outros de 5 a 10 cervejas por hectare), mas anos depois os valores se transformaram em sacas de soja por hectare, que variavam de 2 a 10 sacas por hectare). Nos primeiros anos muitos migraram e tentaram ganhar a vida encarando o desafio de produzir no cerrado do Oeste da Bahia (próximo aos seis mil CPFs), mas poucos foram bem-sucedidos ou resistiram nos primeiros 10 a 20 anos.

Os primeiros ensaios de adoção do sistema plantio direto (SPD) foram iniciados nos anos de 1988 e 1989, na Fazenda Flores da Esperança - do Grupo Rieguer Agropecuária, em uma área irrigada, pioneira na região oeste da Bahia. Engenheiro agrônomo, Celito E. Breda, formado pela Universidade de Passo Fundo (UPF), após um está-

gio na cooperativa COOPAGRIL no Oeste do Paraná em 1987, região que já empregava as tecnologias de SPD e microbacias de contenção de águas, chegou na região oeste da Bahia repleto de vontade e com muitas ideias novas, com o propósito de inovar e quebrar paradigmas, e assim se iniciou um trabalho que prosperou e demonstrou sucesso.

A grande força e o incentivo para adoção do SPD foram do grupo “IROPEL” representados pelo Sr. Erni Welzel e Sr. Cesar Menegon, que à época possuíam plantadeiras IMASA, modelo dotado de sulcadores e discos de corte. Foram necessárias diversas adaptações na plantadeira, incluindo a incorporação e improvisação de peças de outras plantadeiras, como a FANKHAUSER, e muito empenho do experiente mecânico descendente da Alemanha, Sr. Armino, do Grupo Rieger Agropecuária, do técnico Altair (conhecido pelo apelido “99”) e do técnico Marcos R. Grieger, atualmente sócio do Eng. Agr. Celito E. Breda na Círculo Verde Consultoria Agrícola e no Grupo C.P.M. Agrícola. Assim, ao final de um ano e meio de muito trabalho e dedicação, foi obtido sucesso no SPD em dois pivôs de feijão “cultivar Carioca 80”, com produtividades médias entre 35 e 40 sacas por hectare, considerada uma ótima produtividade para aquela época.

Nesse mesmo tempo, na fazenda Orquídeas do Sr. Paulo Schmidt (atualmente grupo Schmidt Agrícola), localizada na Vila Rio Grande, Barreiras, BA, conhecida como região das Placas, também com apoio da IROPEL, foi iniciada a implementação do SPD em regime de sequeiro, por iniciativa do Sr. Paulo Schmidt. Concomitantemente, outros produtores, como os irmãos Guerra da região da Bela Vista, Luís Eduardo Magalhães, BA, bem como outros grupos e produtores, iniciaram suas primeiras experiências com o SPD no Oeste da Bahia. Nesse período, um grande colega e incentivador desta tecnologia, o Eng. Agr. Valmor dos Santos, iniciou vários trabalhos de SPD, e assim continua firme e forte até hoje.

Na região oeste da Bahia prevalecem solos arenosos e médio argilosos, com teores relativamente baixos de matéria orgânica, fertilidade natural baixa e altos teores de alumínio. O regime pluvial é caracterizado por chuvas de outubro a abril, tendo como característica os veranicos. São raras as vezes em que não ocorrem veranicos, portanto os anos típicos da região são os que têm presença de veranicos. Diante dessa realidade não foram poucas as frustrações de safras ocorridas nos primeiros 15 anos de cultivo de grãos na região.

A partir de 1995 houve grande incentivo para o cultivo do algodoeiro em áreas de sequeiro, com o pioneirismo de sete produtores ou grupos de produção: Sr. João Carlos Jacobsen; Sr. Luiz Ricardi; Sr. Joao Franciosi; Sr. Luís C. Fernandes; Grupo Agronol; Sr. Ricardo G. Leal e Sr. Anesio Ferreira. Além dos Eng. Agr. pioneiros: Luiz Antônio Cansanção – *in memoriam* – que foi o maior incentivador da cultura na região; Sr. Celito E. Breda (Círculo Verde Consultoria); Sr. Pedro Brugnera (Círculo Verde Consultoria); Sr. Cassiano N. Mendes (Círculo Verde Consultoria); Erno Scherrer (Círculo Verde Consultoria); Roque R. Freitas, técnico e sócio da Círculo Verde Consultoria e do técnico em irrigação e pioneiro Dr. Felipe Grinner – *in memoriam*.

A cultura do algodoeiro exigia uma excelente construção de perfil do solo, especialmente com intensas correções (calagem e gessagem) e adubações (N, P, K, Ca, Mg, S e micronutrientes), todas em altas doses por hectare, quando comparadas às culturas praticadas à época. Com o passar dos anos percebeu-se que os resultados desses investimentos em solos proporcionavam não somente uma boa resposta à cultura do algodoeiro, mas também nas demais culturas em sucessão ou rotação.

Após todo o trabalho de construção do perfil do solo em um maior número de talhões e fazendas, foi notado que para melhorar as características físicas e químicas do solo, teríamos que produzir maior quantidade de palhada a fim de proteger os solos e, conseqüentemente, diminuir os prejuízos com os veranicos. Naquele momento, alguns já praticavam o SPD com bastante sucesso, inclusive já nos primeiros anos de implantação. Entretanto, somente anos mais tarde é que houve a entrada mais massiva e definitiva de produtores na tecnologia do SPD, o que ocorreu entre os anos de 2005 e 2008, por força de necessidade agrônômica, visando a mitigação de riscos das culturas. Naquela época já havia na região, uma boa estrutura em termos de máquinas adaptadas e eficientes para a implantação e manutenção do SPD.

Vale salientar que na região não tinha sido atingido, até então, um percentual tecnicamente correto/coerente de rotação ou sucessão de culturas, economicamente viáveis e adaptadas, como por exemplo soja/milho/algodão, cada uma implantada em um terço da área para possibilitar a rotação completa de culturas. Dessa maneira, a falta de uma matriz tecnicamente coerente para a rotação de culturas resultou no rápido aumento de talhões e microrregiões com problemas sérios de patógenos de solo, como nematoides e fungos.

Após 25 anos de cultivos no Oeste da Bahia, por volta do ano de 2005, dispúnhamos de solos bem corrigidos quimicamente e com palhada na maioria dos talhões e/ou das fazendas. Entretanto, muitos ainda não estavam satisfeitos com os resultados. Alguns colegas, como o Eng. Agr. José Claudio Oliveira, iniciaram os primeiros trabalhos com produtos biológicos (principalmente à base de *Trichoderma* sp) visando a melhoria da atividade biológica dos solos. Mas somente por volta do ano de 2014 é que houve grande incremento no uso de produtos biológicos, na tentativa de iniciar a construção de um possível perfil biológico dos solos, ou seja, na busca de aumentar a “saúde dos solos”, em analogia ao trabalho anteriormente mencionado, de construção do perfil químico do solo. Nos últimos nove anos houve expressivo envolvimento de profissionais ligados ao agronegócio da região oeste da Bahia (técnicos, consultores, pesquisadores, produtores e empresas fornecedoras de insumos), na construção do perfil biológico dos solos. Esta nova etapa - de um bom perfil biológico - a terceira e talvez uma das principais, irá ter um papel fundamental em todo o Brasil, mas espera-se que, em nossa região o impacto seja ainda maior, devido à existência de muitos anos com veranicos e com problemas de raízes escassas ou afetadas por patógenos de solo. Um exemplo do que está sendo realizado pode ser observado na Figura 1.

Acredita-se que à partir do momento em que todos os produtores de fato entenderem a importância da construção do perfil químico, físico e biológico com excepcional qualidade, provavelmente alcançaremos produtividades médias na região maiores do que as atuais 67 sacas de soja, 320 arrobas de algodão e 180 sacas de milho por hectare, conforme resultados preliminares para a cultura do algodoeiro e do milho, e resultados já confirmados para a cultura da soja na safra 20/21, segundo o levantamento da Associação de Agricultores e Irrigantes da Bahia (AIBA, 2021).

Em talhões com perfil do solo já construído, em termos físicos, químicos e biológicos, demonstrados com base em resultados de bioanálise do solo (BioAs), já foram obtidas produtividades médias de até 110 sacas de soja, 230 sacas de milho e 550 arrobas de algodão em caroço por hectare, em anos com boa distribuição de chuvas e clima favorável. Potencial edafoclimático e genético, no que se refere à adaptação de cultivares à região, já existem. Máquinas, implementos modernos e novas tecnologias, mais adaptadas e modernas também, assim como insumos de boa qualidade, bons pesquisadores, consultores, gerentes e técnicos, assim como produtores aptos e

abertos às novas tecnologias. Portanto, só nos resta adotarmos decisivamente e massivamente essas tecnologias de SPD e saúde do solo, sem medo de errar. Adentramos definitivamente em uma nova etapa, a qual será com certeza um marco histórico de uma tecnologia que podemos considerar um novo “pulo do gato”. Solo e plantas saudáveis em um ambiente preparado para obtermos produtividades cada vez melhores, sem aumento de custos.



Figura 1. Exemplo de coberturas atualmente praticadas na região oeste da Bahia. A) Talhão de braquiária em área irrigada, sob pivô central, apresentando raízes até cinco metros de profundidade; B) Soja implantada sob palhada de braquiária e C) Figura representativa do potencial de aprofundamento de raízes de diversas culturas agrícolas aos 60 dias após a germinação. Fotos: A e B (Celito E. Breda); C (José Eloir Denardin).

2. Teoria e prática do cultivo do algodoeiro no Oeste da Bahia

O cerrado da região oeste da Bahia e dos outros estados integrantes da região MATOPIBA (Maranhão, Tocantins e Piauí), tem contribuído significativamente para a produção agrícola brasileira, especialmente de soja, algodão e milho. Os solos do cerrado da BA, assim como a maioria dos solos de cerrado, são naturalmente ácidos, apresentam baixos níveis de saturação por bases, baixa capacidade de troca de cátions (CTC) e reduzida disponibilidade de nutrientes. Entretanto, são solos profundos, com condições favoráveis à mecanização e correções químicas, bem como à produção em larga escala.

Os solos arenosos são muito comuns no cerrado da Bahia, sendo constituídos principalmente por Neossolos e Latossolos (LUMBRERAS et al., 2015; DONAGEMMA et al., 2016). Esses solos são fisicamente frágeis pois apresentam estrutura de grãos simples e não oferecem a proteção requerida pela matéria orgânica estabilizada. Em virtude da baixa coesão entre os grãos de areia e a baixa estabilidade de agregados, tais solos são muito suscetíveis à erosão, apresentam baixa capacidade de armazenamento de água e são extremamente predispostos à deficiência hídrica. Devido às fragilidades físicas, químicas e biológicas (CASTRO & HERNANI, 2015), os solos arenosos são altamente propensos à degradação e perda da capacidade produtiva.

Não obstante essas adversidades, o cultivo nesses solos aumentou muito na última década em razão dos avanços nos sistemas de produção e nas práticas agrícolas, caracterizados pelo elevado uso de equipamentos mecânicos e de insumos, especialmente fertilizantes, corretivos e defensivos agrícolas. Conseqüentemente, o agricultor investe muito recurso financeiro para produzir nesse ambiente, carecendo de práticas de manejo e tecnologias de cultivo que garantam altas produtividades e maior segurança econômica.

Em áreas de produção de algodão do Oeste da Bahia, a adoção do SPD é um desafio técnico aos produtores e profissionais. Nessas áreas, por vezes o solo ainda é preparado de forma convencional com equipamentos mecânicos, como subsoladores, arados, grades e escarificadores, embora esse tipo de preparo do solo tenha reduzido bastante em relação ao passado não muito distante.

A destruição dos restos culturais do algodoeiro após a colheita, é prática fitossanitária obrigatória e regulamentada por lei, visando o cumprimento do vazio sanitário e, com isso, a redução de fitopatógenos e de pragas na entressafra, especialmente o bicudo-do-algodoeiro (*Anthonomus grandis*). Atualmente, a destruição tem sido realizada principalmente por herbicidas, mas uma das opções muito usadas no passado foi a grade aradora. Esse sistema de manejo do solo favorece a erosão (CORBEELS et al., 2016) e reduz o teor de matéria orgânica do solo (MOS), componente fundamental para a qualidade dos solos (SRINIVASARAO et al., 2014).

A MOS tem influência positiva sobre o solo, melhorando a capacidade de troca de cátions (CTC), a estruturação do solo, a infiltração e retenção de água, a fertilidade do solo e a sua atividade biológica. Em síntese, aumentar a MOS resulta em melhorias da qualidade física, química e biológica do solo, contribuindo substancialmente para a sustentabilidade da produção agrícola. Quando se objetiva aumentar a MOS é necessário não somente eliminar a sua perda por oxidação, favorecida pelas operações de revolvimento do solo, e as perdas por erosão hídrica, mas também aumentar o aporte de resíduos orgânicos ao longo do tempo, prática que é alcançada principalmente por meio dos resíduos vegetais provenientes das culturas comerciais e das plantas de cobertura (PC).

O SPD, tecnologia de produção agrícola que visa a conservação do solo e da água, aumentou na última década no Brasil, inclusive no cerrado, onde são produzidos quase todo o algodão do País e boa parte do milho e da soja (CONAB, 2021). Esse sistema consiste em uma das tecnologias de cultivo mais promissoras da agricultura brasileira, que além de permitir altos rendimentos produtivos, eleva a MOS e a qualidade do solo. O SPD está fundamentado em três princípios: 1) cobertura do solo propiciada pela palhada das culturas comerciais e/ou das PC; 2) rotação de culturas e 3) semeadura direta na palha, ou seja, ausência de revolvimento do solo, exceto na linha de semeadura. Assim, o aumento da adoção do SPD consiste num dos fatores determinantes para o sucesso produtivo das mais diversas microrregiões presentes na macrorregião oeste da Bahia.

3. Desafios na implantação do sistema plantio direto no Oeste da Bahia

A agricultura no cerrado da Bahia, sobretudo a cotonicultura, é caracterizada pelo cultivo em grandes áreas, pelo caráter empresarial e pelos altos investimentos financeiros. Quando as condições climáticas são favoráveis e os manejos culturais bem executados, as produtividades geralmente são elevadas. Entretanto, nem sempre isso é observado pois o solo mal manejado e com baixos teores de MOS torna as culturas extremamente vulneráveis aos problemas de ordem biótica (insetos-praga, fungos, nematoides, bactérias, vírus e plantas daninhas) e abiótica (déficit hídrico, altas temperaturas, deficiências nutricionais etc). Consequentemente, os solos se tornam dependentes do elevado aporte de insumos (fertilizantes, corretivos, herbicidas, fungicidas e inseticidas) para a obtenção de maiores produtividades. Uma solução tecnológica atenuadora para esses problemas observados no cerrado da Bahia é o SPD, por meio da integração do cultivo de PC nos esquemas de rotação ou de sucessão das culturas comerciais, visando renda ao agricultor e benefícios ao ambiente produtivo.

Embora o SPD seja utilizado em várias regiões do Brasil, inclusive no cerrado, observa-se que muitas vezes não é corretamente praticado, especialmente no Mato Grosso onde predomina o cultivo de soja na safra e o algodão ou o milho em segunda safra. Apesar da implantação das culturas ser realizada sem o revolvimento tradicional do solo com equipamentos mecânicos, como os arados e as grades, não há suficiente quantidade de palha para a cobertura do solo. O mesmo acontece em áreas do cerrado da região oeste da Bahia, onde a segunda safra é muito arriscada, razão pela qual o agricultor cultiva apenas a soja ou o milho solteiro durante a safra, e muitas vezes deixa áreas em pousio durante a entressafra. Já para o algodoeiro, devido ao seu longo ciclo e ao fato de que o período de cultivo na região vai geralmente de novembro a junho, inviabiliza-se a semeadura e cultivo de PC em segunda safra, em virtude do período de seca, que ocorre entre o final do outono, durante todo o inverno e se estende até meados da primavera.

Os restos culturais do algodão deixam pouca matéria seca (MS) residual após a sua colheita; além disso, os ramos e a haste principal do algodoeiro, com formato cilíndrico e baixa área de contato, fornecem reduzida taxa de cobertura do solo. A palhada da soja, embora exerça boa cobertura superficial do solo, forma uma fina camada protetora, que corroborada pela pequena quantidade aportada de MS e a sua baixa relação C/N, resultam em rápida decomposição, dificultando o acúmulo de carbono (C) na forma de matéria orgânica. Quanto aos restos culturais do milho cultivado de forma solteira, estes geralmente não protegem adequadamente o solo, principalmen-

te devido à alta proporção de colmos na MS residual da planta. Dessa forma, durante o período do outono/inverno/primavera, até a próxima safra de verão, o solo fica pouco protegido, favorecendo inclusive a incidência de plantas daninhas (Figura 2).



Figura 2. Infestação de buva (*Conyza* sp) em área de pousio após o cultivo de milho safra no cerrado da Bahia. Foto: Alexandre Cunha de Barcellos Ferreira.

As constantes ocorrências de safras com restrições hídricas, bem como o aumento da temperatura e da evapotranspiração durante os cultivos no cerrado são cada vez mais frequentes, e as previsões futuras não são otimistas (IPCC, 2018). Esse desafio é ainda maior no Oeste da Bahia, onde assim como nas demais regiões do MATOPIBA, a duração do período chuvoso é menor, uma vez que as chuvas iniciam mais tarde na primavera e encerram mais cedo no outono. Adicionalmente, os períodos de veranico também costumam ocorrer durante a estação chuvosa e são caracterizados pela ausência de chuvas e por altas temperaturas, que acarretam em severos prejuízos às culturas. Um exemplo recente desse período foi o veranico ocorrido na safra de 2015/16 no Oeste da Bahia, o qual resultou em queda de produtividade de algodão e de soja em 27,8 e 23,3%, respectivamente, em relação à média das dez safras anteriores (CONAB, 2021). Portanto, é de fundamental importância aumentar a eficiência e a segurança produtiva das culturas no ambiente de cultivo em sequeiro, sujeito à deficiência hídrica, seja ela por períodos curtos ou longos durante o ano. Para tanto, são necessários ajustes nos sistemas de produção e de manejo do solo visando a melhoria da sua qualidade física, química e biológica.

Conforme mencionado anteriormente, o SPD é uma tecnologia de produção agrícola que contribui substancialmente para a segurança, estabilidade e sustentabilidade produtiva. Porém, um fator que poderia ser ajustado, no que se refere à melhoria do aporte de MS ao solo no SPD do cerrado da Bahia, está relacionado ao ciclo da soja. A utilização de cultivares de soja com ciclo maior do que 120 dias é muito comum,

o que diminui o potencial de desenvolvimento e acúmulo de MS na parte área das PC semeadas como segunda safra, após a colheita da soja. Assim, cultivares de soja com ciclo mais precoce e com alto potencial produtivo são preferíveis. Outra opção é a sobressemeadura de algumas PC, como as braquiárias, entre os estádios R5.2 e R6 da soja (FERREIRA et al., 2016), visando assegurar maior período de desenvolvimento das PC durante o final do período chuvoso do verão/outono e, conseqüentemente, fornecer maior cobertura do solo.

O cultivo de milho consorciado com espécies do gênero *Urochloa* (braquiárias), sistema tradicionalmente conhecido como Santa Fé, é outra estratégia para incrementar o aporte de fitomassa ao solo. Entretanto, uma dificuldade alegada pelos agricultores é que a braquiária compete com o milho por água, luz e nutrientes. Ainda que essa competição não ocorra, alguns produtores relatam que não há incremento de produtividade do milho cultivado de forma consorciada com braquiárias, e por esses motivos consideram a inserção da braquiária no sistema de produção agrícola, apenas como custo, e não como investimento para o solo e as culturas em rotação.

Os resultados de pesquisas realizadas no Oeste da Bahia, assim como em outras regiões, realmente demonstram que o milho consorciado com braquiárias, nem sempre apresenta ganhos de produtividade, quando comparado ao milho cultivado de forma solteira (DENARDIN et al., 2008; BOGIANI et al., 2020). Contudo, apenas o fato de a braquiária não reduzir a produtividade do milho no sistema consorciado já é um resultado positivo, considerando que o seu grande benefício aos solos tropicais está relacionado ao aumento do carbono (BOGIANI et al., 2020; FERREIRA et al., 2020), e todas as suas influências positivas e diretas sobre a qualidade do solo.

Em relação à competição das braquiárias com o milho, é imprescindível suprimir o crescimento da braquiária, operação que pode ser realizada por meio da aplicação de subdoses dos herbicidas nicosulfuron ou mesotriona, aplicados de forma isolada ou associados com a atrazina (FERREIRA et al., 2016). É importante ressaltar que sob déficit hídrico, o crescimento do milho geralmente é interrompido, mas o da braquiária já devidamente estabelecida não, uma vez que ela desenvolve raízes a maiores profundidades, continuando a absorver água e nutrientes. Neste caso, ressalta-se que, mesmo que o milho esteja sob déficit hídrico, pode ser necessário aplicar herbicida para controlar o crescimento da braquiária, evitando-se maiores danos ao milho.

A respeito da implantação do SPD em áreas antes manejadas em sistema convencional, um detalhe muito importante é que o solo deve ser inicialmente corrigido física e quimicamente, especialmente nas camadas abaixo de 15 cm. Camadas adensadas ou compactadas, quando devidamente detectadas, precisam ser eliminadas por meio de equipamentos mecânicos, os quais auxiliarão também na incorporação de calcário para correção da acidez e do alumínio (Al^{3+}), bem como no fornecimento de cálcio e magnésio. Um problema verificado nos sistemas convencionais de produção de algodão é o recorrente uso de subsoladores ou de arados como estratégia para eliminação de camadas compactadas, embora nem sempre esse seja o problema real da área. O uso contínuo dessa estratégia tende a desestruturar o solo. Assim, após a realização dessa prática mecânica, é necessário diversificar os sistemas produtivos, integrando culturas comerciais e PC, as quais daí em diante, realizarão gradativamente os serviços ambientais de correções e melhorias do solo nas camadas subsuperficiais, desde que os princípios do SPD sejam respeitados e as adubações e o uso de corretivos perfeitamente realizados, baseados nos resultados das análises de solo.

Outro ponto importante é conhecer bem as características da espécie a ser cultivada em sucessão à soja ou em consórcio com o milho, bem como o ambiente de produção. As PC são importantes aliadas na diversificação dos sistemas de produção

de grãos e algodão, e os seus usos devem ser assumidos como investimento para as culturas em sucessão e rotação, considerando que alguns de seus efeitos positivos sobre o sistema produtivo geralmente não são de curto prazo. Existem várias opções de espécies de PC, dependendo das principais finalidades que se pretende resolver ou aprimorar no sistema de produção. Algumas PC podem melhorar os sistemas de produção por meio do aumento do aporte de MS, redução da erosão hídrica e eólica do solo, redução de pragas, plantas daninhas, doenças e nematoides para as culturas sucessoras, bem como por meio do aumento da ciclagem de nutrientes, além de aumentar a capacidade de retenção de água e nutrientes e o potencial produtivo do solo (FERREIRA et al., 2016).

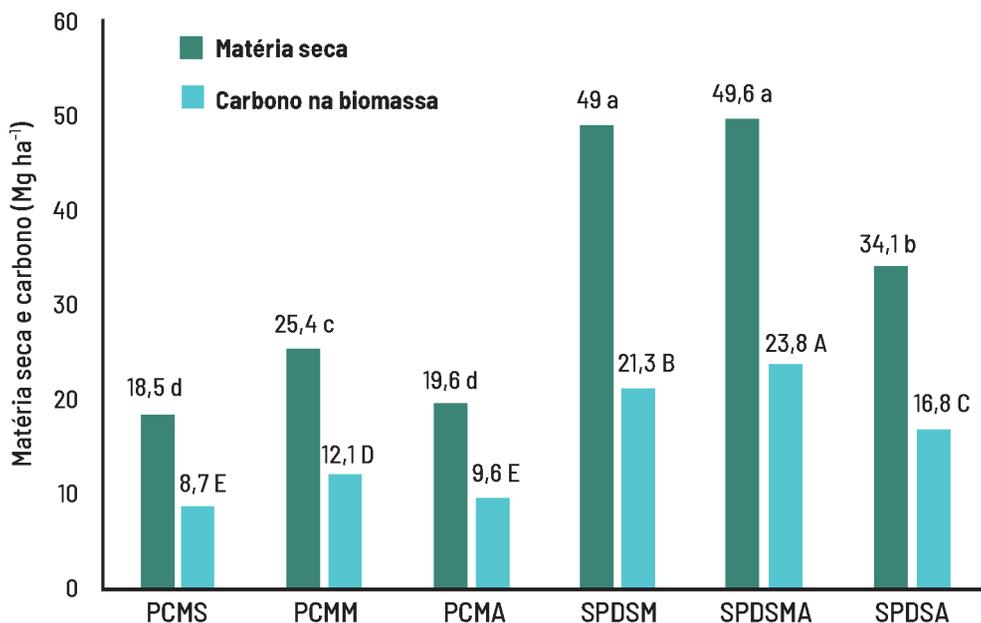
4. Pesquisas em sistemas de produção de algodão no Oeste da Bahia

O aumento do C orgânico do solo, e conseqüentemente da MOS, é muito importante, entretanto, dificilmente ocorrerá se os processos de produção não forem aprimorados para os solos tropicais com histórico de manejo não conservacionista. De acordo com Gregory et al. (2016), a dinâmica do C e do nitrogênio (N) no solo está estritamente associada ao manejo realizado e às espécies cultivadas. Devido aos fatores ambientais que interferem na dinâmica da MOS, o desafio é ainda maior nos solos arenosos que apresentam menor reatividade (GIASSON, 2010), ou seja, menor densidade de cargas do que os solos argilosos, dificultando a retenção da MOS.

Trabalhos de pesquisa conduzidos no cerrado da Bahia indicam grandes benefícios do SPD para a sustentabilidade produtiva de grãos e algodão. Em um solo com 15% de argila e 77,5% de areia, o algodão, o milho e a soja, cultivados durante 6 anos em monocultivo e sob preparo convencional do solo, resultaram num respectivo acúmulo anual de MS de parte aérea sobre o solo, equivalente a 3,08, 4,2 e 3,3 Mg ha⁻¹ (Figura 3), demonstrando pouco aporte de fitomassa ao solo (BOGIANI et al., 2020). Contudo, neste mesmo solo, quando conduzido em SPD, os autores observaram que dois sistemas, um deles com a rotação de soja e milho consorciado com braquiária ruziziensis, e outro com a rotação soja (safra) - *Crotalaria spectabilis* (segunda safra) - milho (safra) consorciado com ruziziensis - algodão (safra), aportaram anualmente mais de 8 Mg ha⁻¹ de MS. O adequado aporte de MS ao solo é um dos pré-requisitos para o aumento do carbono e da MOS. Assim, observa-se que a baixa quantidade aportada de MS, proveniente apenas do cultivo de soja, de milho ou de algodão, é insuficiente para que a MOS aumente, uma vez que, mesmo sob ausência de revolvimento do solo existe perda natural de C devido à atividade microbiana. Por conseguinte, o incremento de C ao solo está diretamente relacionado ao elevado aporte de resíduos vegetais, enquanto as suas perdas se devem à erosão, oxidação dos materiais vegetais e da matéria orgânica já incorporada ao solo, ou à lixiviação de compostos orgânicos solúveis (PILLON et al., 2004).

Os resultados da implantação do SPD em solo arenoso no Oeste da Bahia evidenciaram que após seis anos, houve maior acúmulo de MS, resultando no expressivo incremento do C do solo nas camadas de 0-40 cm de profundidade (BOGIANI et al., 2020). Foi observado também que o C acumulado no solo cultivado com algodão em SPD foi 33% superior na média dos dois sistemas de rotação que incluíam o algodoeiro (Figura 4), em comparação ao algodão cultivado sob preparo convencional e monocultivo. Também verificaram, baseado no estoque de C mensurado por ocasião do início

do trabalho, que o incremento médio anual de C no solo sob SPD foi de 3,47 Mg ha⁻¹, resultado muito superior à meta preconizada pela iniciativa “4 por 1000” (LAL, 2016; MINASNY et al., 2017). Semelhantemente, melhorias no acúmulo de carbono no solo e de produtividade de algodão sob SPD também foram observadas por Ferreira et al. (2020), em solo do cerrado de Goiás com 495 e 288 g kg⁻¹ de argila e areia, respectivamente.

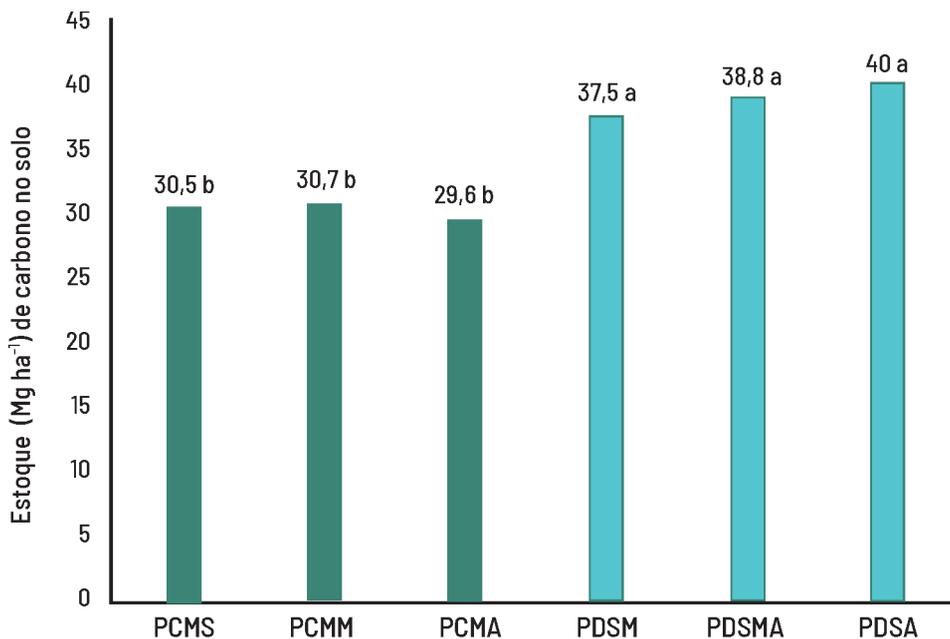


Médias seguidas pela mesma letra, minúscula para MS e maiúscula para C, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$). PCMS, PCMM e PCMA - preparo convencional e monocultivo de soja, milho e algodão, respectivamente; SPDSM - sistema plantio direto (SPD) com rotação [soja (safra)/milho (safra) + *U. ruziziensis* (safrinha)]; SPDSMA - SPD com rotação [soja (safra) + *C. spectabilis* (safrinha)/milho (safra) + *U. ruziziensis* (safrinha)/algodão (safra)]; SPDSA - SPD com rotação [soja (safra) + *S. bicolor* (safrinha)/algodão (safra)]. Adaptado de Bogiani et al., (2020).

Figura 3. Total disponibilizado (Mg ha⁻¹) de matéria seca (MS) e carbono (C) na parte aérea dos restos das culturas e plantas de cobertura durante os 6 anos de cultivo em solo arenoso no cerrado da Bahia, em sistemas de manejo do solo, com rotação e sucessão de culturas.

Nos sistemas integrados e diversificados de produção de algodão no cerrado da Bahia, os benefícios observados não se restringem ao aumento da qualidade do solo, mas também em expressivos incrementos de produtividade. Foi verificado que a produtividade de soja sob SPD aumentou, em relação ao preparo convencional e monocultivo, entre 10,7 e 15,2%, de acordo com o esquema de rotação adotado no SPD (BOGIANI et al., 2020), sendo os maiores incrementos alcançados na rotação soja - milho - algodão (Figura 5). Este esquema de rotação em SPD também resultou nas maiores produtividades de milho e de fibra de algodão, que comparadas ao sistema convencional foram superiores em aproximadamente 26 e 21%, respectivamente.

Conforme já mencionado, problemas bióticos e abióticos normalmente ocorrem nas lavouras, prejudicando a produção de grãos e algodão no cerrado. A diversificação do sistema produtivo por meio do cultivo de PC, além de disponibilizar MS para o SPD, contribui para a mitigação de alguns dos problemas que afligem a produção agrícola (FERREIRA et al., 2016).

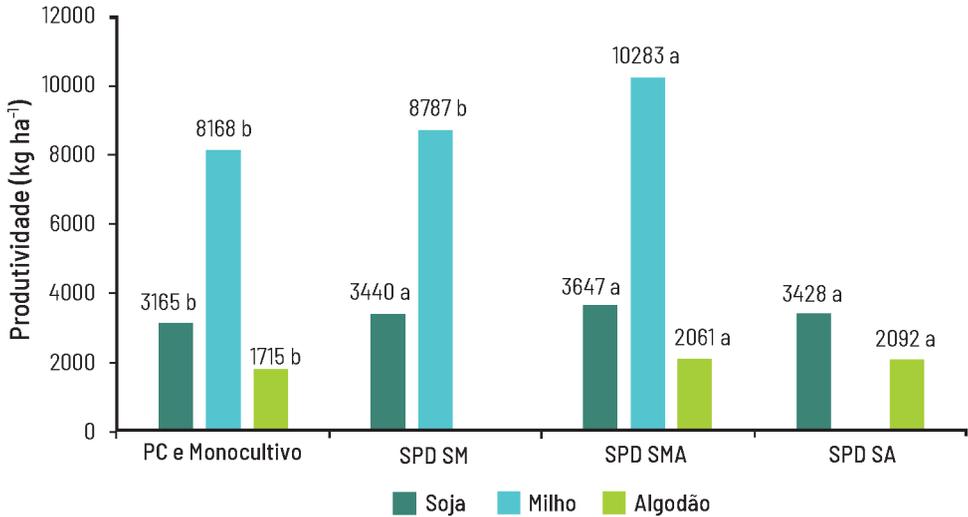


PCMS, PCMM e PCMA - preparo convencional e monocultivo de soja, milho e algodão, respectivamente; PDSM - sistema plantio direto (SPD) com rotação [soja (safra)/milho (safra) + *U. ruziziensis* (safrinha)]; PDSMA - SPD com rotação [soja (safra) + *C. spectabilis* (safrinha)/ milho (safra) + *U. ruziziensis* (safrinha)/algodão (safra)]; PDSA - SPD com rotação [soja (safra) + *S. bicolor* (safrinha)/algodão (safra)]. Médias seguidas pela mesma não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$). Adaptado de Bogiani et al., (2020).

Figura 4. Estoque de carbono (Mg ha⁻¹) em solo arenoso do cerrado da Bahia, após 6 anos de cultivos sob diferentes sistemas de manejo do solo, com rotação e sucessão de culturas.

Comumente o agricultor considera o cultivo de PC apenas como um custo a mais de seu sistema de produção. Entretanto, essa prática cultural deve ser admitida como investimento para as culturas em sucessão e rotação na área, considerando que alguns de seus efeitos positivos normalmente não ocorrem em curto prazo. A melhoria do ambiente produtivo, especialmente em relação às características químicas, físicas e biológicas do solo, é fruto do gradativo processo de construção da qualidade do solo. Como exemplo, ao longo do tempo as raízes das PC proporcionam a formação de bioporos e melhorias nas características físicas do solo, facilitando a infiltração de água (CUBILLA et al., 2002). Algumas PC, como as da família Poaceae (Figura 6A) e leguminosas (Figura 6B), além de apresentarem elevado potencial de acúmulo de MS na fitomassa da parte aérea, possuem raízes que são capazes de penetrar nas cama-

das mais profundas do solo, continuando a desenvolver inclusive no período seco da entressafra. Com isso, acumulam nutrientes na MS da parte aérea, os quais poderão incrementar a fertilidade do solo, dependendo das condições edafoclimáticas. Além disso, os aportes de MS das raízes também contribuem significativamente para o aumento da MOS (DIGNAC et al., 2017).



Preparo convencional (PC) do solo e monocultivo de soja, milho e algodão; SPDSM - sistema plantio direto (SPD) com rotação [soja (safra)/milho (safra) + *U. ruziziensis* (safrinha)]; SPDSMA - SPD com rotação [soja (safra) + *C. spectabilis* (safrinha)/ milho (safra) + *U. ruziziensis* (safrinha)/algodão (safra)]; SPDSA - SPD com rotação [soja (safra) + *S. bicolor* (safrinha)/algodão (safra)]. Para cada cultura, médias seguidas pela mesma não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$). Adaptado de Bogiani et al., (2020).

Figura 5. Produtividade (kg ha⁻¹) média de soja, de milho e de fibra de algodão em solo arenoso do cerrado da Bahia, após 6 anos de cultivos sob diferentes sistemas de manejo do solo, de rotação e sucessão de culturas.

Em solo arenoso do cerrado da Bahia, Bogiani & Ferreira (2017) encontraram significativas quantidades de nutrientes acumulados na MS da parte aérea de PC semeadas em segunda safra, após a soja, ou de forma consorciada com o milho safra (Figura 7), visando a semeadura direta do algodão. A *Urochloa ruziziensis* e *U. brizantha* (cv. Piatã e Paiaguás) acumularam nitrogênio em quantidades equivalentes de uréia que variaram de 175 a 200 kg ha⁻¹, e em relação ao potássio o equivalente a aproximadamente 290 kg ha⁻¹ de cloreto de potássio. De acordo com Rosolem et al. (2012), a *U. ruziziensis* possui elevado potencial de extração de K do solo. Essa espécie, assim como outras do gênero *Urochloa*, apresentam muitas raízes finas e numerosos pêlos absorventes, com grande capacidade de exploração das camadas mais profundas do solo.

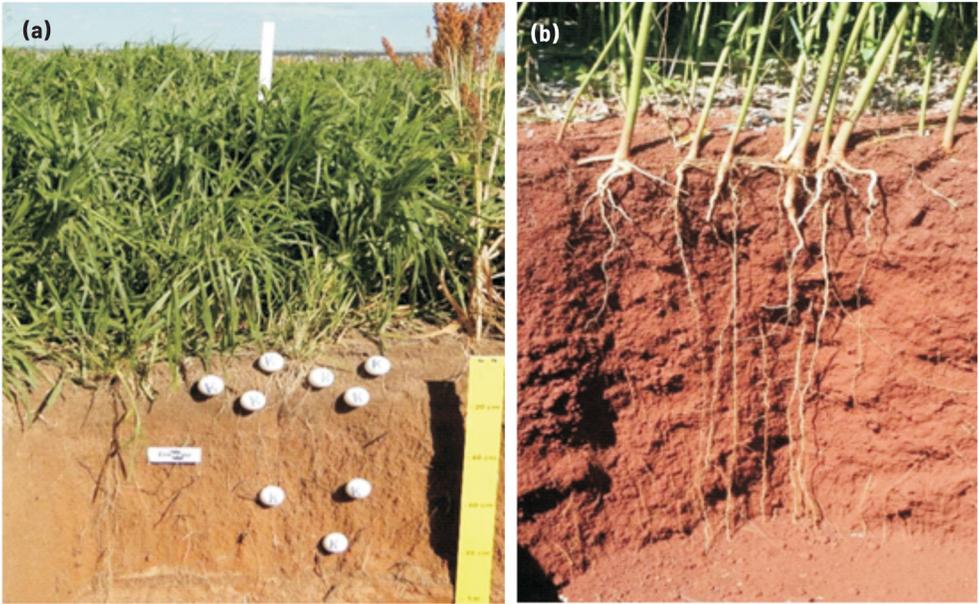


Figura 6. Raízes de braquiária *ruziensis* (esquerda) cultivada após a soja em solo arenoso e raízes de guandu (*Cajanus cajan*) (direita) cultivado em segunda-safra em solo argiloso. Fotos: Alexandre Cunha de Barcellos Ferreira

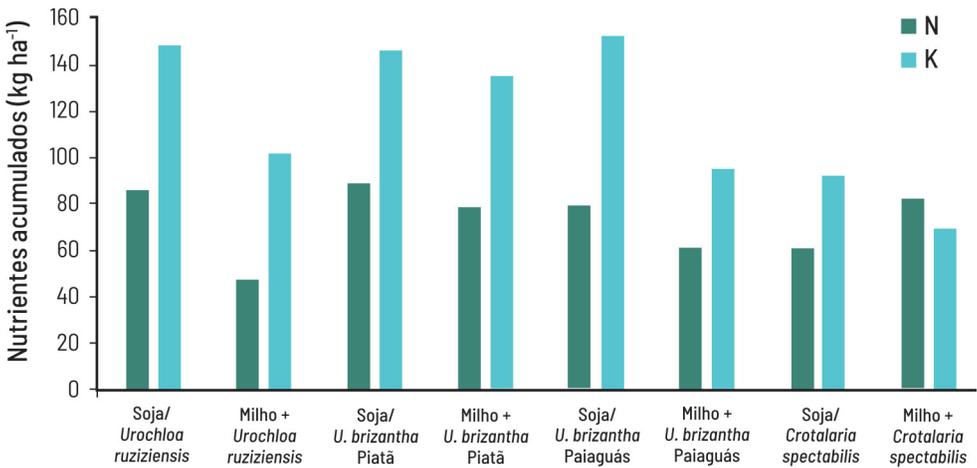


Figura 7. Acúmulo de nitrogênio (N) e potássio (K) na matéria seca da parte aérea de plantas de cobertura, cultivadas em segunda safra após a soja, ou de forma consorciada com o milho safra. Luís Eduardo Magalhães, BA. Adaptado de Bogiani & Ferreira, (2017).

5. Adoção do SPD em áreas de cultivo e influência de fitonematoides

Em um levantamento diagnóstico realizado com o propósito de determinar as principais espécies de fitonematoides que acometem o algodoeiro no Oeste da Bahia, bem como compreender a sua relação com os principais sistemas de produção predominantemente praticados na região, foram percorridos 250.000 hectares de área plantada com a cultura entre os anos de 2017 e 2018, e amostrados 835 talhões. Nesse levantamento, além de determinar a incidência das principais espécies de nematoides na cultura, foi possível dimensionar a porcentagem de adoção do SPD em áreas produtoras de algodão.

Foi constatado que há predominância do sistema de cultivo convencional (SC), o qual apresentou 81% de ocorrência, enquanto o sistema plantio direto (SPD) representou 19% de ocorrência nos 835 talhões avaliados no decorrer das duas safras em que foram realizados os trabalhos do diagnóstico (PERINA et al., 2018). Esse dado ilustra o desafio que a cultura do algodoeiro representa aos agricultores no que se refere à implantação do SPD na região oeste da BA, conforme mencionado anteriormente, considerando o restrito período chuvoso da região, a duração do ciclo da cultura e a necessidade de optar por culturas que forneçam a rentabilidade almejada pelos agricultores. Assim sendo, as estratégias de adoção do SPD precisam ser cuidadosamente planejadas, incluindo a rotação de culturas com espécies que possibilitem o retorno econômico, ao passo que contribuam com a proteção do solo e resiliência do sistema produtivo.

No que se refere à presença de fitonematoides em áreas de produção de algodão do Oeste da BA, foram diagnosticadas as principais espécies de nematoides associadas à cultura do algodoeiro. A espécie encontrada com maior incidência e distribuição espacial foi *Pratylenchus brachyurus*, diagnosticada com uma incidência de 85%, seguida do nematoide-das-galhas (*Meloidogyne incognita*), presente em 37% das amostras e do nematoide reniforme (*Rotylenchulus reniformis*), que apresentou incidência de 14% nos talhões de algodoeiro do Oeste da Bahia (PERINA et al. 2018). Foram diagnosticados nove gêneros de nematoides fitoparasitas nos talhões cultivados com algodoeiro, sendo esses: *Pratylenchus* sp., *Meloidogyne* sp., *Rotylenchulus* sp., *Aphelenchoides* sp. (associado à parte aérea do algodoeiro), *Helicotylenchus* sp., *Paratrichodoros* sp., *Trichodoros* sp., *Criconemella* sp e *Heterodera* sp. (este último gênero, em particular, encontrado no solo, em áreas de rotação com soja).

Em relação à incidência de fitonematoides em áreas com sistema convencional de cultivo, comparadas às áreas com SPD, foi observado que a espécie *P. brachyurus* apresentou maior ocorrência, seguida por *M. incognita* e *R. reniformis*, independente do sistema de cultivo adotado (PERINA et al., 2018). As áreas com o SPD apresentaram menor incidência de *M. incognita*, com 26% dos talhões amostrados, enquanto áreas com sistema convencional apresentaram 39% de incidência dessa mesma espécie. No que se refere ao nematoide-das-lesões (*P. brachyurus*) as áreas com SPD apresentaram maior incidência (91%) em relação às áreas com sistema de plantio convencional (84%). Para a espécie *R. reniformis*, ambas as áreas (SPD e sistema convencional) apresentaram a mesma incidência (14%).

Para maior aprofundamento do diagnóstico comparativo é necessário inferir sobre os dados não somente de incidência/ocorrência das principais espécies de nematoides encontradas nas áreas com sistema convencional e SPD, mas também sobre os dados de densidade populacional encontrados para cada espécie de nematoide de

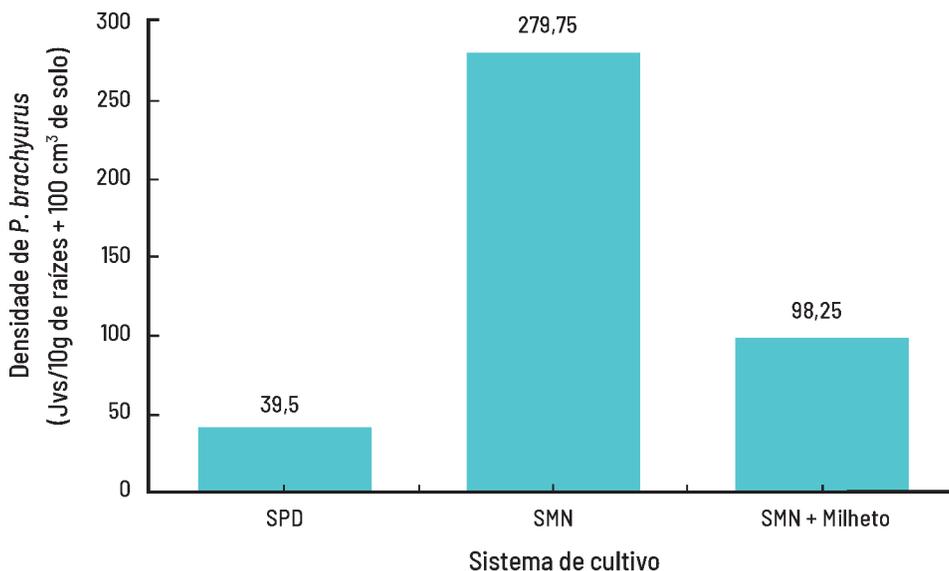
importância para a cultura. Assim sendo, quando comparadas as três espécies de nematoides de importância para a cultura do algodoeiro, nos dois sistemas de cultivo amostrados, observou-se que áreas com SPD apresentaram menor densidade populacional do nematoide-das-galhas (*M. incognita*) e do nematoide reniforme (*R. reniformis*), e maior densidade populacional do nematoide-das-lesões (Figura 8). Esses dados evidenciam a importância da rotação de culturas, preconizada no SPD, para o manejo e supressão da população de nematoides danosos ao algodoeiro, principalmente para a espécie *R. reniformis* que apresentou densidade populacional média muito inferior no SPD (80 espécimes/ 10 g raízes+100cm³ de solo) quando comparado ao SC (882 espécimes/ 10 g raízes+100cm³ de solo).



Figura 8. Densidade populacional média encontrada para as espécies de fitonematoides associadas ao algodoeiro no sistema de cultivo convencional (SC), comparado ao sistema plantio direto (SPD). Oeste da Bahia, safras de 2016/17 e 2017/18. Barras representam o erro padrão. Adaptado de Perina et al., 2018.

No que se refere à redução da população de nematoides em sistemas conservativos do solo, apesar dos inúmeros benefícios do SPD, especialmente nas áreas de produção de algodoeiro do Oeste da Bahia, predomina o sistema convencional de preparo do solo, conforme mencionado anteriormente. O sistema convencional de preparo do solo com aração e gradagem leva à degradação física, química e ao desequilíbrio microbiológico do solo, resultando em maior predisposição ao ataque de doenças e pragas de solo. Assim, em trabalho realizado pela Embrapa Algodão em parceria com a Fundação BA (PERINA et al., 2017), objetivou-se avaliar a densidade populacional do nematoide-das-lesões radiculares (*P. brachyurus*) em algodoeiro cultivado sob diferentes sistemas de cultivo, por quatro anos consecutivos. Foram avaliados três sistemas de cultivo, conduzidos por quatro anos consecutivos, sendo: SMN (Sistema de monocultivo de algodoeiro, com preparo convencional do solo); SMN + Milheto (SMN com adição de gramínea pré-plantio: milheto semeado 50 dias antes do plantio do algodão); SPD: Sistema Plantio Direto com rotação completa de culturas. O experimento foi conduzido em blocos casualizados com quatro repetições. Para avaliação da densidade populacional do nematoide-das-lesões foram realizadas amostragens e

análises nematológicas aos 100 dias após a emergência do algodoeiro, utilizando-se a metodologia proposta por Jenkins (1964) para extração de nematoides a partir do solo e a metodologia proposta por Coolen & D'Herde (1972) para extração de nematoides a partir das raízes do algodoeiro. A maior densidade populacional de *P. brachyurus* foi encontrada no sistema de monocultivo (SMN). O SMN + milho apresentou densidade populacional 65% inferior ao SMN, enquanto que o SPD apresentou densidade populacional 86% menor que o SMN e 21% menor que o SMN + milho (Figura 9).



SMN: Sistema de monocultivo de algodoeiro, com preparo convencional do solo; SMN + milho: Sistema de monocultivo de algodoeiro com adição de gramínea (milho) em pré-plantio.

Figura 9. Densidade média de *Pratylenchus brachyurus* em relação a diferentes sistemas de cultivo, consolidados por quatro anos. SPD - Sistema Plantio Direto. Perina et al., 2017.

O trabalho demonstrou que o SMN de algodoeiro por quatro anos consecutivo favorece o aumento da população do nematoide-das-lesões radiculares em comparação com o SMN + milho e com SPD (PERINA et al., 2017). Tais dados corroboram a importância da diversificação de espécies cultivadas, realizada por meio da adoção de sistemas que levem à conservação do solo, em talhões destinados ao cultivo do algodoeiro, como forma de evitar os prejuízos decorrentes do aumento populacional de espécies de nematoide de importância para a cultura.

6. Situação da biologia do solo na região oeste da Bahia

Na safra de 2020/2021 foram coletadas amostras de solo (primeiro ano), para a avaliação da biologia dos solos cultivados com algodão em rotação com a acultura da soja no oeste da Bahia. Este trabalho, idealizado para ser finalizado após quatro anos de coleta de amostras, foi realizado com um total de 211 talhões amostrados na referida safra. Foram coletados, além de amostras para a realização de bioanálises

(BioAS) e análise de fertilidade, dados acerca da produtividade média em cada talhão. Os resultados obtidos no primeiro ano de amostragem para o diagnóstico da saúde dos solos no oeste da BA, indicam que os solos da região apresentam, em sua maioria, altos índices de fertilidade (Figura 10 – IQS Químico), com 98% dos solos apresentando índice de qualidade químico considerado alto ou muito alto, enquanto apenas 2% apresentam índice de qualidade médio. Os solos do oeste da Bahia também demonstram altos níveis de atividade biológica (Figura 10 – IQS Biológico), com a maioria dos talhões cultivados com soja em rotação com a cultura do algodoeiro, apresentando índices de qualidade biológico, calculados de acordo com a metodologia proposta por Mendes et al. (2020) - (IQS Biológico), considerados como altos e muitos altos, representando 59% dos talhões amostrados. Entretanto, foi possível notar que 41% dos talhões amostrados estão em fase de “adoecimento”, ou seja, em acelerada redução da atividade biológica, representado pelos talhões que apresentaram IQS biológico médio (35%) e baixo (6%). Assim sendo, faz-se necessária a adoção de práticas de manejo do solo que estimulem o aumento da matéria orgânica do solo, com vistas a recuperar a saúde desses solos.

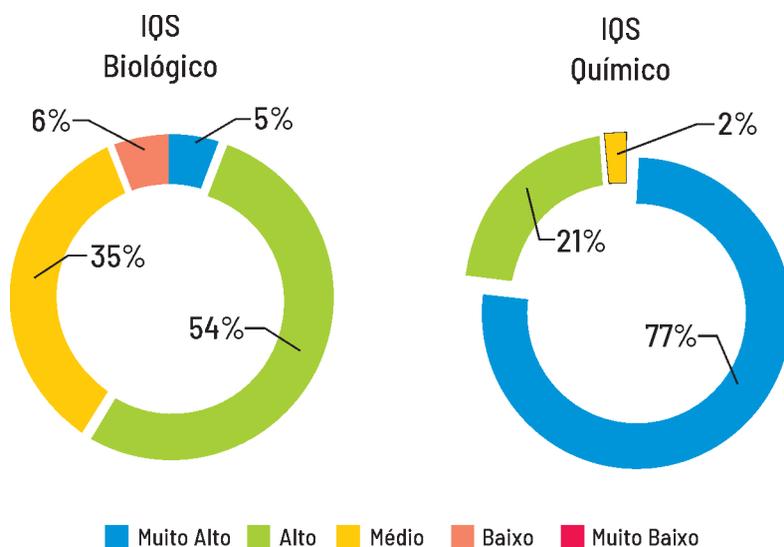
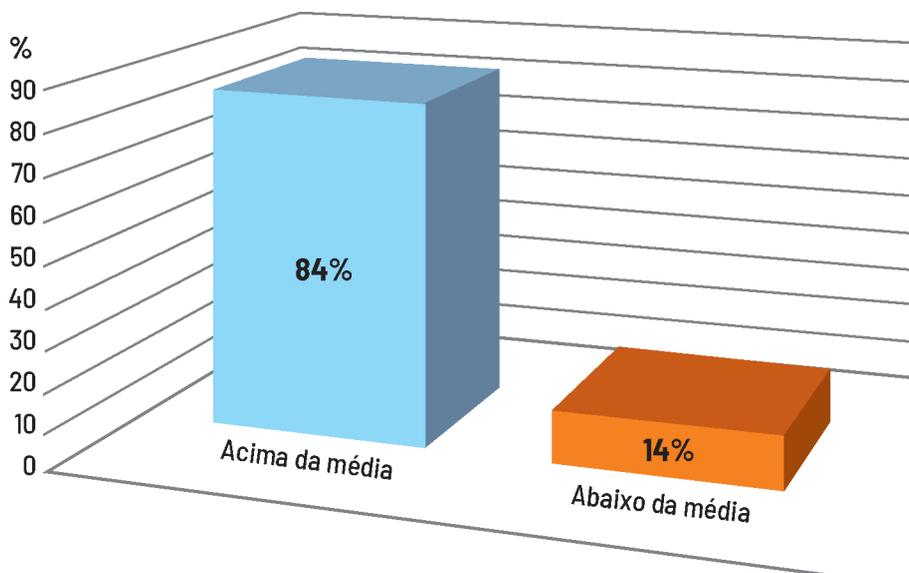


Figura 10. Índice de qualidade biológico dos solos (IQS biológico) e índice de qualidade químico (IQS químico), que expressam o nível de atividade biológica e o nível de qualidade da fertilidade dos solos de 211 talhões amostrados durante a safra de 2020/2021 no oeste da Bahia, em áreas de rotação de soja/algodoeiro. Luís Eduardo Magalhães, novembro de 2021.

No que se refere à produtividade média dos talhões amostrados, foi observado que a maioria dos talhões apresentaram produtividade de soja acima da média regional para a safra de 2020/2021, com 86% dos talhões apresentando produtividade acima de 67 sacas de soja por hectare, considerada como a média regional do oeste da Bahia (AIBA, 2021). Foi notado ainda, que apenas 14% dos talhões apresentaram produtividades médias abaixo de 67 sacas/ha (Figura 11).



Acima da média: Percentagem de talhões que apresentaram produtividade superior à média regional de 67 sacas/hectare
 Abaixo da média: Percentagem de talhões que apresentaram produtividade inferior à média regional de 67 sacas/hectare.
 Dados de produtividade média segundo AIBA, (2021).

Figura 11. Classificação da produtividade média dos talhões de soja, implantados sob rotação com a cultura do algodoeiro, amostrados durante a safra de 2020/2021 no oeste da Bahia.

Tal fato demonstra que a maioria dos talhões com rotação de soja e o algodoeiro, não apresentam problemas com a fertilidade do solo. Entretanto, indica que o componente biológico do solo pode ser melhorado por meio de práticas de manejo que favoreçam o aumento da matéria orgânica, que indiscutivelmente também melhora a estrutura do solo. Assim, índices de produtividade maiores do que os já alcançados atualmente poderão ser atingidos em médio e longo prazos, com maior segurança produtiva.

7. Considerações finais

Os resultados de pesquisa obtidos em várias regiões do cerrado, e a experiência de agricultores que já praticam adequadamente o SPD, não deixam dúvidas de que esta é uma alternativa viável para a produção sustentável de algodão e outras culturas do sistema produtivo, como a soja e o milho. Além de conferir maiores produtividades de grãos e fibra de algodão, melhorias na qualidade do solo por meio da ciclagem de nutrientes, aumento do carbono orgânico e conseqüentemente da matéria orgânica do solo, têm sido alcançadas em diferentes ambientes do cerrado, entre os quais os solos arenosos da região oeste da Bahia. A maior estabilidade produtiva, aliada à melhoria da resiliência do sistema de produção no que se refere ao enfrentamento de condições abióticas, bem como o aumento da supressividade às doenças de solo, são benefícios diretos da adoção do SPD, como base sólida para assegurar a prática de uma agricultura de alta rentabilidade com sustentabilidade na região oeste da Bahia.

REFERÊNCIAS

- AIBA - Associação de Agricultores e Irrigantes da Bahia (AIBA) 2º Levantamento - Conselho Técnico, safra-2020.21-1. Disponível em: <https://aiba.org.br/wp-content/uploads/2021/05/2%C2%B0-levantamento-Conselho-Tecnico-safra-2020.21-1.pdf>
- BOGIANI, J.C.; FERREIRA, A.C. de B. Plantas de cobertura no sistema soja-milho-algodão no cerrado. **Informações Agronômicas**, (160), 1-15, 2017.
- BOGIANI, J.C.; FERREIRA, A.C. de B.; BORIN, A.L.D.C.; SOFIATTI, V.; PERINA, F.J. **Sequestro de carbono em sistemas de produção de grãos e fibras em solo arenoso do Cerrado da Bahia**. Campinas: Embrapa Territorial, 2020. 29 p. (Embrapa Territorial. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 34). Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/215351/1/5317.pdf>
- CASTRO, S.S.; HERNANI, L.C. **Solos frágeis: caracterização, manejo e sustentabilidade**. Brasília, DF: Embrapa, 2015.367p.
- COMPANHIA NACIONAL DO ABASTECIMENTO - CONAB. **Séries históricas**. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/serie-historica-das-safras>>. Acesso em 10 de maio de 2021.
- COOLEN, W.A.; D'HERDE, C.J. A method for the quantitative extraction of nematodes from plant tissue. **Ghent: State Nematology and Entomology Research Station**, 1972. 77p.
- CORBEELS, M.; MARCHÃO, R.L.; SIQUEIRA, N.M.; FERREIRA, E.G.; MADARI, B.E.; SCOPEL, E.; BRITO, O.R. Evidence of limited carbon sequestration in soils under no-tillage systems in the Cerrado of Brazil. **Scientific reports**, v. 6, art. 21450, 2016.
- CUBILLA, M.; REINERT, D.J.; AITA, C.; REICHERT, J.M. Plantas de cobertura do solo: uma alternativa para aliviar a compactação em sistema plantio direto. **Revista Plantio Direto**, v 71, p.29-32, 2002.
- DENARDIN, J.E.; KOCHHANN, R.A.; SANTI, A.; FAGANELLO, A.; SATTLER, A. **Efeito da consorciação milho-braquiária (*Brachiaria brizantha*) na mitigação da compactação do solo**. Passo Fundo, Embrapa Trigo, 2008. 13p. (Embrapa Trigo. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento Online, 54). Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPT-2010/40327/1/p-bp54.pdf>>. Acesso em: 20 de agosto de 2020.
- DIGNAC, M.F.; DERRIEN, D.; BARRÉ, P.; BAROT, S.; CÉCILLON, L.; CHENU, C.; CHEVALLIER, T.; FRESCHET, G.T.; GARNIER, P.; GUENET, B.; HEDDE, M.; KLUMPP, K.; LASHERMES, G.; MARON, P.A.; NUNAN, N.; ROUMET, C.; BASILE-DOELSCH I. (2017). Increasing soil carbon storage: mechanisms, effects of agricultural practices and proxies. a review. **Agronomy for sustainable development**, 37(2), 14. doi:10.1007/s13593-017-0421-2, 2017.
- DONAGEMMA, G. K.; DE FREITAS, P. L.; DE CARVALHO BALIEIRO, F.; FONTANA, A.; SPERA, S. T.; LUMBRERAS, J. F.; VIANA, J.H.M.; ARAÚJO FILHO, J.C. de; SANTOS, F.C. dos; ALBUQUERQUE, M.R. de; MACEDO, M.C.M; TEIXEIRA, P.C.; AMARAL, A.J.; BORTOLON, E.; BORTOLON, L. Caracterização, potencial agrícola e perspectivas de manejo de solos leves no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 9, p. 1003-1020, 2016.
- FERREIRA, A.C. de B.; BORIN, A.L.D.C.; LAMAS, F.M.; BOGIANI, J.C.; SILVA, M.A.S.; SILVA FILHO, J.L.; STAUT, L.A. Soil carbon accumulation in cotton production systems in the Brazilian Cerrado. **Acta Scientiarum-Agronomy**, v.42, p. e43039, 2020.
- FERREIRA, A.C. de B.; BOGIANI, J.C.; SOFIATTI, V.; LAMAS, F.M. **Sistemas de cultivo de plantas de cobertura para a semeadura direta do algodoeiro**. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2016. 15p. (Comunicado Técnico, 377).
- GIASSON, E. **Introdução ao estudo dos solos**. In: Meurer, E.J. (Ed.). Fundamentos de química do solo. Evangraf LTDA, Porto Alegre, RS, p. 266. 2010.

GREGORY, A.S.; DUNGAIT, J.A.J.; WATTS, C.W.; BOL, R.; DIXON, E.R.; WHITE, R. P.; WHITMORE, A. P. Long-term management changes topsoil and subsoil organic carbon and nitrogen dynamics in a temperate agricultural system. **European journal of soil science**, 67(4), 421-430. 2016.

IPCC, 2018: **Summary for Policymakers**. In: Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty. Disponível em https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/06/SR15_Full_Report_High_Res.pdf. Acesso em: 10 de maio de 2021.

JENKINS, W.R. A rapid centrifugal-flotation technique for separating nematodes from soil. **Plant Disease Reporter**, v.48, p.692, 1964.

LAL, R. Beyond COP 21: potential and challenges of the “4 per Thousand” initiative. **Journal of Soil and Water Conservation**, 71(1), 20A-25A.

LUMBRERAS, J.F.; CARVALHO FILHO, A. de; MOTTA, P.E.F. da; BARROS, A.H.C.; AGLIO, M.L.D.; DART, R. de O.; SILVEIRA, H.L.F. da; QUARTAROLI, C.F.; ALMEIDA, R.E.M. de; FREITAS, P.L. de. **Aptidão agrícola das terras do MATOPIBA**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2016. 48p. il. color. (Embrapa Solos. Documentos, 179).

MINASNY, B.; MALONE, B.P.; MCBRATNEY, A.B.; ANGERS, D.A.; ARROUAYS, D.; CHAMBERS, A.; CHAPLOT, V.; CHEN, Z-S.; CHENG, K.; DAS, B.S.; FIELD, D.J.; GIMONA, A.; HEDLEY, C.B.; HONG, S.Y.; MANDAL, B.; MARCHANT, B.P.; MARTIN, M.; MCCONKEY, B.G.; MULDER, V.L.; O'ROURKE, S.; RICHER-de-FORGES, A.C.; ODEH, I.; PADARIAN, J.; PAUSTIAN, K.; PAN, G.; POGGIO, L.; SAVIN, I.; STOLBOVOY, V.; STOCKMANN, U.; SULAEMAN, Y.; TSUI, C-C.; VÅGEN, T-G.; VAN WESEMAEL, B.; WINOWIECKI, L. Soil carbon 4 per mille. **Geoderma**, 292, 59-86. 2017.

PERINA, F., BOGIANI, J., BARBOSA, E., & dos SANTOS, I. A. Densidade populacional do nematoide-das-lesões radiculares populacional do nematoide-das-lesões radiculares em algodoeiro cultivado sob diferentes sistemas de cultivo. In Embrapa Algodão In: CONGRESSO BRASILEIRO DO ALGODÃO, 11., 2017, Maceió. **Resumos... Inovação e rentabilidade na cotonicultura**. Brasília, DF: Associação Brasileira dos Produtores de Algodão-Abrapa, 2017.

PERINA, F.J., FABRIS, A., PONTEL, D. P. S., SANTOS, I. A., BRANDÃO, Z. N., ARAÚJO, A. C., BREDAS, C. E., & BRUGNERA, P. **Levantamento e Manejo de fitonematoídeos em algodoeiro no Oeste da Bahia, resultados safra 2016/17 e 2017/2018**. Luís Eduardo Magalhães: Fundação Bahia, 14 p. (Fundação de Apoio à Pesquisa e Desenvolvimento do Oeste Baiano. Circular técnica, n.5, 2018.

PILLON, C.N.; MIELNICZUK, J.; MARTIN NETO, L. **Ciclagem da matéria orgânica em sistemas agrícolas**. Pelotas. Embrapa Clima Temperado, p. 27. http://www.cpact.embrapa.br/publicacoes/download/documentos/documento_125.pdf. 2004.

ROSOLEM, C.A.; VICENTINI, J.P.T.M.M.; STEINER, F. Suprimento de potássio em função da adubação potássica residual em um Latossolo Vermelho do Cerrado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 36: 1507-1515, 2012.

SRINIVASARAO, C.; LAL, R.; KUNDU, S.; BABU, M.P.; VENKATESWARLU, B.; SINGH, A.K. Soil carbon sequestration in rainfed production systems in the semiarid tropics of India. **Science of The Total Environment**, 487, 587-603. 2014.

Plantio direto no Sertão Semiárido Nordestino

Dr. Marcos Roberto da Silva e Dra. Jamile Maria da Silva dos Santos

Perspectiva sobre o sistema plantio direto no Sertão

O nordeste brasileiro como um todo é carente de conhecimento e desenvolvimento sobre a aplicação de práticas e estruturação de sistemas com vistas a conservação do solo e da água na agropecuária, paradoxal, pois grande parte deste ecossistema apresenta baixas precipitações pluviométricas anuais, distribuição irregular, com eventos de altas precipitações em apenas um ou dois dias e associado a vulnerabilidade natural dos solos, fragilidade resultante da intervenção humana dada a forma de manejo convencional e a insuficiência de cobertura, que se revela em sérios problemas de perdas de solo por ano.

Portanto, é primordial estabelecer diretrizes e ações para subsidiar a implementação de metodologias conservacionistas que respondam a estes principais problemas, permitindo, por exemplo, semear precocemente as culturas anuais, aumentar a eficiência do uso da água, estancar a degradação da fertilidade e da estrutura física do solo, produzir biomassa com qualidade e quantidade e reduzir os custos de produção.

No caminho da busca por práticas mais racionais no uso e manejo do solo, o desenvolvimento do sistema plantio direto (SPD) na região nordeste é totalmente viável nas sub regiões da Zona da Mata com alta precipitação pluviométrica e produtora de grãos e nas áreas com chuvas satisfatórias do Meio Norte (zona de transição entre a Amazônia e o Sertão) e Agreste (zona de transição entre o Sertão e Zona da Mata).

Já na sub região do Sertão, área extensa sob regime de clima semiárido, que cobre grande parte dos estados nordestinos, inclusive parte do estado de Minas Gerais, representando aproximadamente 62,0 % do território nordestino (cerca de 1 milhão de km²) ocupados com Caatinga, pastos nativos, pastos plantados e lavouras, a implementação do SPD para se tornar realidade necessita de muito “suor” e dedicação por parte da pesquisa, extensão, sociedade e políticas de estado das três esferas – municipal, estadual e federal.

No Sertão Semiárido, além dos problemas supracitados, é muito forte a questão cultural com relação a movimentação horizontal do solo realizada anualmente com aração e gradagem. Os produtores possuem pouco conhecimento sobre a possibilidade da movimentação vertical, com escarificadores, para auxiliar na minimização dos impactos do excesso de revolvimento. Geralmente, essa movimentação é realizada sem nenhum critério técnico levando em consideração as questões químicas e físicas do solo, quiçá biológicas, realizadas em momentos impróprios, com os solos secos, resultando um preparo raso e desagregação ruim produzindo torrões de diferentes dimensões, abaixo dos padrões de qualidade esperado para uma operação de preparo de solo. Nestas condições de preparo torna o solo menos permeável, com armazenamento insuficiente das águas das chuvas, promovendo o escoamento superficial e impondo uma condição ruim para o bom desenvolvimento inicial das culturas anuais, principalmente nas fases de germinação e emergência, sem contar com a inconstância das chuvas.

A grande complexidade da relação entre as características climáticas, tipos de solos, o uso e ocupação do solo e falta de informação interferem diretamente na dinâmica da matéria orgânica, parte biológica do solo de extrema importância para perenizar ações sustentáveis que deverão ser preconizadas na elaboração de planos de desenvolvimento de sistemas de produção racionais no Sertão Nordeste. Vale ressaltar que todos os estados nordestinos publicaram os seus planos estaduais de mitigação e adaptação às mudanças climáticas na agricultura para uma economia de baixa emissão de carbono em consonância com as diretrizes do MAPA/Brasil, com destaque para recuperação de pastagens, sistemas integrados, fixação biológica de nitrogênio e o SPD, sistemas que se complementam.

Existem duas orientações claras quanto a questão geográfica no desenvolvimento do plantio direto no Sertão Semiárido. A primeira diz respeito a região denominada de MATOPIBA, onde o sistema já é uma realidade implementado há anos por produtores migrantes de outras localidades com conhecimento prévio sobre SPD e sendo pesquisado, difundido e defendido por instituições públicas e privadas.

Uma pequena parte do território do MATOPIBA, localizada apenas nos estados de Piauí e Bahia, são áreas inseridas na zona de clima semiárido e incluem dois biomas, a Caatinga e o Cerrado. Região caracterizada por propriedades maiores, tecnificadas, geridas de forma empresarial e com desenvolvimento de pesquisa realizado por entes públicos como a Embrapa e Universidades – Estaduais e Federais, com aporte de recursos de financiamento para pesquisa, desenvolvimento e inovação oriundos das instituições públicas de fomento e das fundações e associações privadas locais com fundos de recursos advindos dos próprios produtores sem fins lucrativos e aplicados em pesquisa sobre as culturas agrícolas, solos, proteção de plantas e sistemas de produção.

“O que impede que mais produtores adotem o sistema em suas propriedades? O insumo mais importante é o conhecimento. Muitas vezes não só em plantio direto nós não fazemos algo que é muito bom para nós por falta de conhecimento. A gente cola as mãos e os pés contra esse conhecimento, a gente não deixa ele entrar na propriedade para começar a mudar o sistema. A busca pelo conhecimento, esse insumo importantíssimo, ele está entre as nossas duas orelhas que é o nosso cérebro, que é quem determina isso, para se fazer esse trabalho. É buscar o conhecimento e iniciar a mudança. Não existe uma receita de bolo pronta para isso. É cada um de nós produtores buscar entender o processo e criar o processo para dentro da propriedade,

para dentro do talhão e às vezes para partes do talhão são necessários procedimentos diferentes. Cabe a cada um de nós a observação, melhorar o nosso entendimento e observar o que a natureza está nos mostrando.” Luiz Antonio Pradella (Produtor Rural e pioneiro no SPD no Oeste da Bahia).

A segunda área em potencial para o SPD engloba grande parte do Sertão, mas as ações para a sua adoção estão aquém. As pesquisas e estudos de casos foram e são raros, apesar de haver incentivo com fundos específicos para o fomento do sistema, principalmente pelo Banco do Nordeste - BNB através do Fundo de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – FUNDECI, que desde 2003 tem financiado pesquisas para se definir diretrizes para adoção e difusão do sistema. Em 2010 o BNB lançou o edital de Pesquisa e Difusão de Tecnologias para Produção de Grãos cujo subitem remetia a Difusão do Plantio Direto.

As unidades agrícolas deste “outro” Sertão, que tem aptidão e cultiva grãos, de um modo geral são conduzidas por produtores com pouco conhecimento técnico, crenças no revolvimento do solo, em pequenas e médias áreas, com alto índice de degradação do solo, pouco aporte de material vegetal, explorando agricultura e pecuária – geralmente com pequenos animais, desprovidos praticamente de apoio técnico da assistência e programas de extensão rural com vistas à educação para o fomento a adoção do sistema.

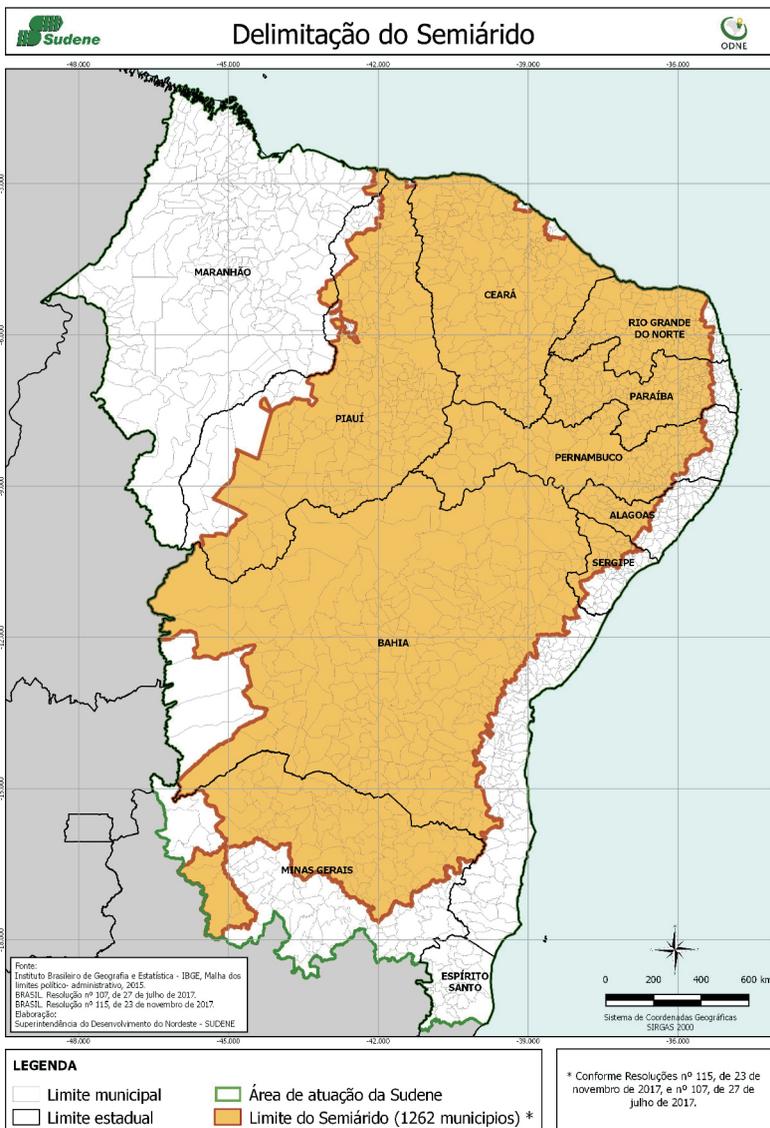
Neste caso, o caminho mais oportuno para o fomento do SPD será oferecer oportunidades para a integração entre lavoura e pecuária com ciclo anual, engenhando processos mais harmoniosos entre os meios físicos, químicos e biológicos com esquemas para o uso múltiplo de plantas com um olhar para a diversificação focado no incremento do carbono do solo.

A proposição do plantio direto deverá atender as especificidades dos diferentes regimes pluviométricos com variação entre 300 a 900 mm, com esquemas de rotação, sucessão e/ou consorciação de culturas agrícolas comerciais (mamona, milho, mandioca, feijão caupi, feijão andu...) ou não (adubação verde e plantas de cobertura), melhoradoras dos ambientes de produção capazes de suplantarem os estresses abióticos como temperatura, irradiação e deficiência hídrica.

A adoção do sistema, implicará na mitigação dos riscos em relação às questões pedoambientais e sobre as mudanças climáticas, menor consumo de energia através da diminuição do número de operações, menor tempo para implantação das lavouras e aproveitamento mais eficiente das chuvas, melhoria da estrutura física do solo, melhoria da cobertura do solo tendo como consequência minimizar os efeitos da insolação direta no solo, elevação da temperatura e evaporação da água, melhoria das condições químicas e biológicas com a fixação de carbono ao solo, produção de forragem de maior qualidade para a produção pecuária e manutenção do sistema.

Informações sobre o Sertão Semiárido

O semiárido ocupa cerca de 12% do território brasileiro, numa área de 1,03 milhão km² e com população que supera 23 milhões de habitantes. É composto por 1.262 municípios, distribuídos entre os nove estados da região Nordeste: Bahia (278), Paraíba (194), Piauí (185), Ceará (175), Rio Grande do Norte (147), Pernambuco (123), Alagoas (38), Sergipe (29) e Maranhão (2), e o norte do estado de Minas Gerais (91), conforme pode ser observado na Figura 1 (BRASIL, 2017; IBGE, 2021a).



Fonte: SUDENE (2021)

Figura 1. Delimitação do Semiárido brasileiro abrangendo os 10 estados e respectivos 1262 municípios.

A delimitação da região do semiárido brasileiro é realizada pela Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE), considerando condições climáticas dominantes de semiaridez, em especial a precipitação pluviométrica. A caracterização e a delimitação da região Semiárida são baseadas em três critérios preponderantes. Os critérios são: a precipitação pluviométrica média anual igual ou inferior a 800 mm; o índice de Aridez de Thornthwaite igual ou inferior a 0,50 e; o percentual diário de déficit hídrico igual ou superior a 60%, considerando todos os dias do ano (SUDENE, 2021).

O Semiárido possui regiões com áreas extensas, construídas por diversos tipos de solos, relevos e coberturas vegetais. As aptidões agrícolas são variadas e em muitas áreas a exploração intensiva da agricultura convencional é inviável, tornando esses ecossistemas mais susceptíveis aos efeitos negativos provenientes de práticas inadequadas de cultivo (CUNHA et al., 2010). O Semiárido brasileiro compreende dois biomas: a Caatinga e o Cerrado.

A caatinga é um bioma unicamente brasileiro, com vegetação peculiar, predominante em regiões do Semiárido nordestino e Norte de Minas Gerais. É rica em espécies forrageiras em seus estratos arbóreo, arbustivo e herbáceo. O desmatamento para retirada de lenha é uma das principais atividades que contribuem para a desertificação, a seca e a perda da biodiversidade brasileira (MARINHO, 2015; ASABRASIL, 2021).

O bioma Caatinga contém os seguintes tipos de vegetação, com as respectivas fisionomias: Savana (Cerrado); Florestas Ombrófilas, em áreas disjuntas; Florestas Estacionais Semidecíduais, com maior representatividade na Bahia; Florestas Estacionais Decíduais, mais expressivas no centro-sul da Bahia e norte de Minas Gerais – aí conhecidas como Mata Seca; Formações Pioneiras, representadas pelas restingas e mangues da costa do Piauí, Ceará e Rio Grande do Norte; Refúgios Vegetacionais, na região central da Bahia; e áreas de contato entre tipos de vegetação (IBGE, 2021b).

O bioma Cerrado é o segundo maior bioma brasileiro. Sua vegetação nativa é responsável pela alimentação dos lençóis profundos, contudo, com a introdução da monocultura e pecuária extensiva, parte da vegetação já foi extinta impactando diretamente no funcionamento dos corpos hídricos. O Cerrado é conhecido como berço das águas, pois possui grandes reservas subterrâneas como os aquíferos Guarani, Bambuí e o Urucuia. Neste bioma há amplo predomínio da fisionomia savânica, e se concentra em cidades dos estados de Maranhão, Piauí, Bahia e Minas Gerais. Sendo a Bahia o estado de maior territorialidade e população da porção semiárida neste bioma (MARINHO, 2015; ASABRASIL, 2021).

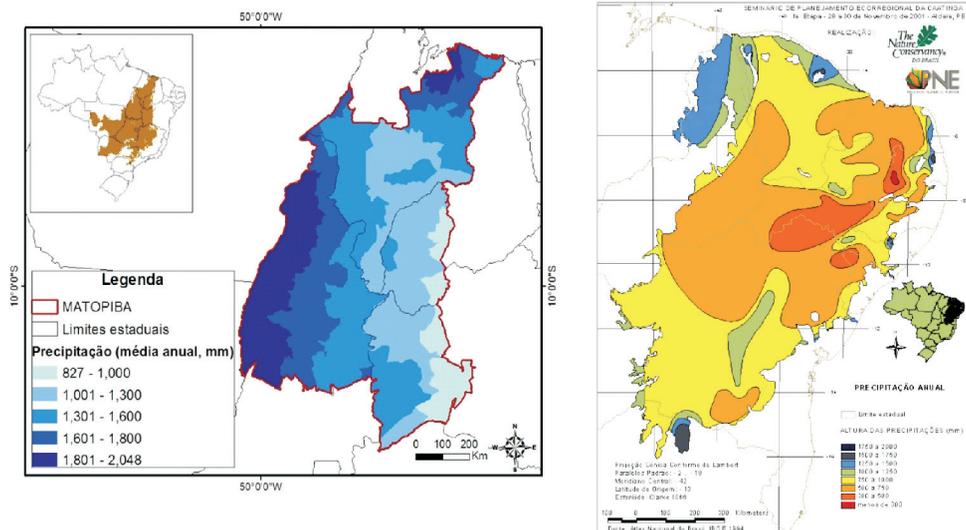
Caracterização do regime hídrico

Segundo a classificação de Köppen, a região Semiárida brasileira possui clima tropical seco BSw^h. Trata-se, portanto, de clima quente e seco, com duas estações do ano bem definidas (seca e chuvosa). As chuvas se concentram em três a quatro meses durante todo o ano, ocasionando um balanço hídrico negativo na maioria dos meses (evaporação excedendo a precipitação) e elevado índice de aridez (SOUZA et al., 2014; GAMA; JESUS, 2020).

Existe uma variabilidade espaço-temporal do regime hídrico da região Semiárida que torna a atividade agrícola de alto risco quando não existe a suplementação via irrigação. Ocorre uma variação da estação chuvosa de ano para ano, tornando bem imprevisível a época de maior incidência de índices pluviométricos elevados, fato este que torna difícil a tomada de decisão sobre o uso dos recursos desse ecossistema (SOUZA et al., 2014). Enquanto que outros fatores abióticos como temperatura e radiação solar apresentam pouca variação.

A precipitação pode variar de 400 a 2.000 mm ano⁻¹, com precipitação média de 800 mm ano⁻¹. Essa pluviosidade relativamente baixa e irregular é concentrada em uma única estação de três a cinco meses, caracterizada, ainda, pela insuficiência e irregularidade temporal e espacial. E, ainda pode ocorrer uma significativa variabilidade entre anos, que impõe secas e cheias severas, sobreposta à variabilidade pluviométrica, que produz sequências de anos secos ou úmidos (FRANCISCO; SANTOS, 2017).

Na região Semiárida existem três situações que caracterizam o regime hídrico: áreas que chove menos que 400 mm ano⁻¹, são zonas bem áridas, secas, a exemplo da região do Cariri paraibano, em que o regime de chuvas é um fator que limita bastante o cultivo agrícola; áreas que chove de 400 a 900 mm ano⁻¹, a qual compreende a maior parte da região; e, áreas com índice pluviométrico acima dos 1000 mm ano⁻¹, conforme pode ser observado na Figura 2, nos biomas Cerrado e Caatinga.



Fonte: Ecorregiões propostas para o bioma caatinga, 2001; EMPRAPA, 2015.

Figura 2. Precipitação média anual do Semiárido brasileiro nos biomas Cerrado e Caatinga.

Outra característica marcante da região Semiárida é a alta temperatura que está diretamente relacionada com as elevadas taxas de evapotranspiração, características da região. As temperaturas inferiores estão acima dos 15° C e máxima em torno de 40° C, com médias que variam entre 26 a 28° C. A temperatura é inferior a 26° C em áreas de maiores altitudes e inferior a 20° C em locais bem específicos com altitudes superiores a 1000m. A insolação ocorre em torno de 3.000 h sol⁻¹ ano⁻¹, evaporação média de 2.000 mm ano⁻¹ e umidade média relativa do ar de 50% (SILVA et al. 2010; ARAÚJO, 2011; ZANELLA, 2014).

A água é um fator limitante para a produção agrícola e para o desenvolvimento destas atividades no Semiárido. Não se trata de falta de chuvas, mas devido a sua má distribuição, associada a uma alta taxa de evapotranspiração. Para tanto, na região Nordeste com objetivo de reduzir os riscos climáticos inerentes à atividade agropecuária principalmente nas regiões sujeitas à baixa ou irregular distribuição de chuvas, além de promover o desenvolvimento local e regional, com prioridade para as regiões com baixos indicadores sociais e econômicos foram implantados os perímetros irrigados visando viabilidade e aumento de produção (PONTES et al., 2013).

Existem dois setores de produção agropecuária no Semiárido brasileiro: agricultura de sequeiro e a irrigada. O sucesso da agricultura de sequeiro depende da regularidade e quantidade das chuvas e as suas variabilidades espaciais e temporais.

Para isso, os cultivos necessitam de um bom planejamento. Como forma de neutralizar o problema de sazonalidade de chuvas e incidência de seca no Semiárido, pode ser utilizada a agricultura irrigada que é constituída por áreas com infraestrutura de irrigação, e objetivam a disponibilização de água para os pequenos, médios e grandes produtores rurais, com fornecimento de água para adequado desempenho das culturas agrícolas (GRAEF; HAIGIS, 2001; PEREIRA; CARMO, 2010; ALBIERO, 2015).

A irrigação é um manejo imprescindível para a produção em áreas consideradas inviáveis para agricultura de sequeiro, pela baixa precipitação pluviométrica, porém este fator é dependente do volume de água dos reservatórios das bacias hidrográficas. A existência de uma seca prolongada implicará diretamente no racionamento de água e conseqüentemente na queda de produção de culturas como hortaliças, grãos, cana de açúcar, pastagem, etc. (SILVEIRA et al., 2018). Em todo o território do Semiárido apenas 10,91% das propriedades utilizam irrigação em seus cultivos compondo uma área irrigada de 730.202 ha (1,37%) (IBGE, 2017).

Solos predominantes

Os solos do Semiárido brasileiro são de origem cristalina com frequentes afloramentos de rocha, rico em minerais e pobres em matéria orgânica. Em áreas com a presença de solos profundos, com reservas hídricas suficientes para a irrigação, apresentam tendência para salinização, em virtude da elevada evapotranspiração. Além disso, compreendem solos com baixa retenção de umidade, pouco permeáveis, sujeitos a erosão e apresentam mediana fertilidade natural. São solos com problemas de acidez e, em alguns locais, de salinidade e altos níveis de alumínio trocável. O fósforo é o fator limitante comum de fertilidade dos solos dessa região. Contrapondo, nas regiões de altitudes superiores constituídas por tabuleiros e planaltos, se encontram as reservas edáficas de maior valor socioeconômico (EMBRAPA, 1979; FRANCISCO; SANTOS, 2017).

Os solos desta região foram considerados por muito tempo como inviáveis para a agricultura devido a limitações de profundidade, sensibilidade ao tráfego de máquinas, baixos teores de fósforo assimilável (fósforo inorgânico), potássio e matéria orgânica, além de apresentarem pH alto (solo alcalino), porém este cenário vem mudando ao longo dos anos com a adoção de tecnologias no aprimoramento dos cultivos agrícolas. A elaboração de um planejamento com tecnologias conservacionistas deve ser realizada em função das condições locais de clima e solo para evitar ao máximo a compactação do solo (BRITO et al., 2017).

O Semiárido possui características bem peculiares quanto a variedade de paisagens e ambientes em que a vegetação, o solo e o clima coexistem em equilíbrio dinâmico e que pode ser alterado pela adoção de técnicas diferentes no uso da terra.

Os solos da região apresentam determinadas limitações para o cultivo agrícola. A redução no teor de matéria orgânica do solo é resultado do pequeno aporte desta e da incidência de altas temperaturas. E com a supressão da vegetação natural, os solos estão suscetíveis a processos degradantes como ação da erosão e a processos de desertificação, tornando grandes extensões de áreas severamente degradadas (JACOMINE, 2002; VIDALETT, 2018).

Com relação à fertilidade, aproximadamente 76,0% dos solos da região Semiárida são formados por solos distróficos de baixa fertilidade natural a muito baixa, 17,7% de média a alta e em torno de 6,2% apresenta alta fertilidade (BRASIL, 2010; GAMA; JESUS, 2020).

Segundo o Sistema de Classificação de Solos do Brasil, 10 classes de solos são encontradas na região Semiárida com predominância de Neossolos (27,32%), Latossolos (25,94%); Argissolos (15,59%); Luvisolos (12,18%); Planossolos (10,84%) e Cambissolos com 6,02%. E, raramente a existência de Chernossolos (0,82%), Gleissolos (0,15%), Plintossolos (0,08%) e Vertissolos (0,05%) (Figura 2) (BRASIL, 2010; BRITO et al., 2017).

Os Neossolos são considerados solos jovens, pouco profundos, com variadas características morfológicas, físicas e químicas, em função na natureza do sedimento originário. Compreendem em maiores extensões nos estados da Bahia, Ceará, Rio Grande do Norte, Piauí, Alagoas e Pernambuco. São solos pouco espessos, vulneráveis à erosão e ao escoamento superficial. Em função de sua diversidade e de suas características singulares são subdivididos em quatro subordens: Neossolos Litólicos, Neossolos Regolíticos, Neossolos Quartzarênicos e Neossolos Flúvicos (MARQUES et al., 2014).

Os Neossolos litólicos são solos rasos e geralmente cascalhentos e/ou pedregoso com frequentes afloramentos de rochas. Apresenta contato lítico dentro de 50 cm de profundidade. Apresenta muitas limitações ao uso agrícola e não agrícola, tais como: pequena profundidade efetiva e pequena capacidade de armazenamento de água, pedregosidade e rochosidade generalizada e alta suscetibilidade à erosão. Indicado para pastagem natural e cultivos de subsistência em áreas planas, porém, em razão de suas limitações, a indicação principal é para áreas de preservação ambiental (MARQUES et al., 2014; SANTOS, 2017).

Os Neossolos regolíticos possuem boa reserva de nutrientes para os vegetais, apresenta potencial baixo a médio para agricultura irrigada, drenagem boa a moderada e ocorre em relevo pouco movimentado, o que permite a mecanização agrícola. Apresenta baixa fertilidade natural e baixa capacidade de retenção de água, baixos teores de matéria orgânica e, em alguns casos, pequena profundidade efetiva. Indicado para cultivos agrícolas de subsistência, pastagem, pecuária extensiva e agricultura irrigada (MARQUES et al., 2014; SANTOS, 2017).

Os Neossolos flúvicos possuem fertilidade natural média a alta, relevo plano, que permite a mecanização agrícola, e bom potencial para agricultura, inclusive a irrigada. Apresenta elevado risco de inundação periódica, salinização, restrição de drenagem ou de uso agrícola devido à legislação ambiental. Grande parte destes solos encontra-se, pelo mau uso, degradada por processos erosivos e salinizadores. Indicado para a agricultura irrigada, culturas agrícolas anuais e pastagem, pecuária extensiva e preservação ambiental de mata ciliar (MARQUES et al., 2014; SANTOS, 2017).

Os Neossolos quartzarênicos possuem potencial baixo a médio para agricultura, grande profundidade efetiva, forte a excessivamente drenado e permite a mecanização agrícola. Apresenta baixa a muito baixa capacidade de retenção de água, fertilidade natural muito baixa, baixos teores de matéria orgânica e elevado risco de contaminação de águas subterrâneas. Indicado para agricultura irrigada (fruticultura), pastagem, pecuária extensiva, preservação ambiental e fonte de areia para construção civil. Estão presentes nos estados da Bahia, Piauí, Pernambuco, Rio Grande do Norte e Ceará (MARQUES et al., 2014; SANTOS, 2017).

Os Latossolos amarelo, vermelho-amarelo e amarelo são considerados solos de avançado estágio de intemperização, bem evoluídos, profundos, bem drenados, porosos a muito porosos, de textura média a argilosa, com horizonte superficial pouco espesso e com baixos teores de matéria orgânica. Apresentam características morfológicas, físicas, químicas e mineralógicas uniformes no perfil. São, predominantemente, ácidos e quimicamente pobres requerendo uma boa correção e fertilização,

apresentam boa retenção e disponibilidade de água e efluentes, e podem ser considerados de baixo risco de desertificação. Suas boas condições físicas aliadas ao relevo plano favorecem a mecanização. A depender de suas características pode ser utilizado para cultivos em sequeiro ou para a agricultura irrigada. Utilizado largamente como substrato para produção agrícola intensiva, pastagem, silvicultura, etc., abrangem em torno de 21% da área total do Semiárido brasileiro (MELLO FILHO; SOUZA, 2006; CUNHA et al., 2010; MARQUES et al., 2014; SANTOS, 2017).

Os Argissolos amarelos e vermelhos-amarelos são solos bastante evoluídos, não tanto como ao latossolos, considerados intermediários que apresentam aptidão para uso mais intensivo, mesmo apresentando baixa fertilidade natural e alta suscetibilidade à erosão quando possui mudança textural abrupta, vez que são profundos. Pode ser indicado para culturas perenes. Em relevo plano a suave ondulado possui boa capacidade de armazenamento de água e efluentes, bom potencial para mecanização agrícola e agricultura irrigada. Pode ser utilizado para agricultura intensiva, pastagem e silvicultura (MARQUES et al., 2014; SANTOS, 2017; GAMA; JESUS, 2020).

Os Luvisolos crômicos e háplicos são solos rasos, pouco profundos, ricos em cálcio, magnésio e potássio e com alta susceptibilidade à erosão. As áreas de ocorrência deste solo são caracterizadas por serem deficientes em água, sendo fator limitante aos cultivos agrícolas. Têm sido utilizados intensamente com agricultura de sequeiro, mas também com irrigação, como em várias iniciativas privadas ou projetos no estado de Sergipe. Indicado para agricultura de sequeiro, pastagem, pecuária extensiva e preservação ambiental (CUNHA et al., 2010; MARQUES et al., 2014; SANTOS, 2017).

Os Planossolos háplicos e nátricos são solos pouco profundos, que apresentam fortes limitações ao uso agrícola em decorrência, principalmente, das altas concentrações de sódio trocável que tem abaixo da superfície, más condições físicas e de estrutura. Os nátricos são caracterizados por possuírem teores mais elevados de sódio que os háplicos. Pode ser utilizado como substrato para culturas agrícolas de ciclo curto e pastagem; pecuária extensiva e preservação ambiental (MELLO FILHO; SOUZA, 2006; CUNHA et al., 2010; MARQUES et al., 2014; SANTOS, 2017).

Os Cambissolos háplicos são solos rasos, limitante para operação de maquinários, possui problemas com drenagem, apresenta limitação no cultivo de plantas com sistema radicular profundo. Suas principais limitações são: risco de inundação no ambiente de várzea, alto teor de alumínio trocável, risco de erosão, pedregosidade e rochosidade, e associação com relevo forte ondulado. Utilizado para culturas agrícolas de ciclo curto e/ou perene, pastagem e agricultura irrigada. Nas áreas de relevo forte ondulado ou nas margens de rios é indicado para preservação ambiental (MARQUES et al., 2014; SANTOS, 2017).

Além dos tipos de solos descritos anteriormente, pode haver a ocorrência de outros tipos na região Semiárida a exemplo de vertissolos ebânicos e cromados, Chernossolo Rêndzico, Gleissolo Sáfico, Chernossolo Argilúvico e, até mesmo algum Plintossolo. Porém são solos atípicos desta região, com ocorrência em condições bem particulares.

Para a viabilidade de utilização da mecanização nos solos do Semiárido é necessário a realização prévia de tópicos que envolvem a drenagem do solo, a textura, a profundidade efetiva, a pedregosidade em harmonia com sua declividade. Com essas premissas básicas tornam-se clara a necessidade de utilização de práticas agrícolas autossustentáveis a exemplo do plantio direto e da integração lavoura pecuária, as quais promovem a cobertura do solo durante todo o ano e a rotação de culturas, sendo uma opção de manejo para aumentar a produção de grãos e recuperar áreas de pastagens degradadas (CHIODEROLI et al., 2015).

Tipos de propriedades

Por meio do Censo Agropecuário do ano de 2017 foi possível identificar 1,83 milhão de estabelecimentos agropecuários na região do Semiárido brasileiro. Do total de estabelecimentos existentes na região em questão, 78,82% (1,44 milhão) são caracterizados como de agricultura familiar e 21,18% (388,6 mil) são caracterizados como agricultura patronal (IBGE, 2017).

É possível destacar a diversidade fundiária do setor agrícola do Semiárido, considerando que 88,24% dos estabelecimentos possuem áreas de até 50 ha, 8,88% possuem área entre 50 a 500 ha e, apenas 0,72% compreendem estabelecimentos acima de 500 ha de área. Com relação às condições de acesso à terra existem também diferentes condições. Os dados mostram que 79% dos trabalhadores eram donos das propriedades que exploravam, enquanto que os demais tinham acesso à terra na condição de comodatário (7,7%), concessionário ou assentado (4,1%), arrendatário (2,0%), parceiro (2,7%) e ocupante (2,0%) (IBGE, 2017).

Apesar de haver um processo de modernização econômica do Semiárido por meio da incorporação de novas áreas e setores dinâmicos e competitivos do setor empresarial da produção de grãos e da fruticultura irrigada, ainda a maior parte a economia agropecuária da região tem modelo de produção da agricultura familiar, cuja finalidade principal é o consumo próprio e de pessoas com laços de parentescos com o produtor.

Na avaliação dos estabelecimentos é possível inferir que a grande maioria não realiza práticas agrícolas conservacionistas a exemplo de plantio em nível, proteção de nascentes, rotação, proteção e conservação de encostas, dentre outras. Utilizam pouca tecnologia no que diz respeito a adubação (28,8%), uso de corretivos (2,66%), agrotóxicos (23,3%), irrigação (10,91%), maquinários (tratores e implementos) (4,58%) e unidade armazenadora (3,42%) (IBGE, 2017).

Com relação ao sistema de cultivo os estabelecimentos agropecuários em sua grande parte utilizam preparo de solo (62,63%), sendo minoria os que não preparam o solo para cultivo (37,03%). Do total dos estabelecimentos agropecuários, 36,08% utiliza o cultivo convencional, 26,73% o cultivo mínimo e, uma minoria de 2,4% o plantio direto (IBGE, 2017).

Do número total de propriedades agrícolas efetivamente em produção no Semiárido brasileiro, 79,2% trabalha com agricultura familiar e aproximadamente 20% como agricultura patronal. Apesar da agricultura familiar agregar o maior número de estabelecimentos este compõe uma área em média de 15 ha por estabelecimento, quando o patronal tem em média 83 ha, e são caracterizados também pelo baixo valor bruto da produção, que na agricultura familiar arrecada em média de R\$ 8.000,00 comparado a estabelecimentos não familiares que arrecada em média R\$ 316.000,00 (IBGE, 2017).

Plantio direto

As características de solo, clima e vegetação do Semiárido, aliado ao mau uso do solo nas áreas agrícolas, tornam os solos desta região mais vulneráveis ao processo de degradação. Sendo assim, o agricultor, para utilizar adequadamente os recursos de sua propriedade deve realizar o manejo e conservação do solo e da água, com adoção de técnicas sustentáveis, e que possam ser baratas e acessíveis para o pequeno produtor que compõe a grande parcela dos estabelecimentos agropecuários.

A produção agrícola do Semiárido brasileiro sofre impactos provenientes das mudanças climáticas e, para enfrentar esse desafio, é preciso promover o acesso à educação, tecnologia e crédito, principalmente para os pequenos produtores.

Com objetivo de sustentabilidade dos cultivos agrícolas o Governo Federal criou em 2010 o Programa Nacional para uma Agricultura de Baixo Carbono (Programa ABC), com objetivo de reduzir a emissão dos gases de efeito estufa (GEE) e fomentar produção agropecuária sustentável por meio da adoção de práticas de manejo e sistemas sustentáveis. Este plano está estruturado em sete programas: recuperação de pastagens degradadas, sistemas agroflorestais, sistema plantio direto, fixação biológica de nutrientes, floresta plantada e tratamento de dejetos animais. É possível citar duas ações deste plano que envolve o treinamento de técnicos e produtores e linhas de financiamento nestas atividades (BRASIL, 2012).

Atualmente, o Plano ABC está na segunda fase, na qual foi nomeado “Plano Setorial para Adaptação às Mudanças do Clima e Baixa Emissão de Carbono na Agropecuária com vistas ao Desenvolvimento Sustentável”, ou ABC+, sendo incluído no seu plano operacional o Sistema Plantio Direto de Hortaliças (SPDH). A cadeia de hortaliças possui grande parte de seus produtores incluídos na Agricultura Familiar, o que deve contribuir com a popularização do SPD no semiárido, implicando na intensificação da conservação da água e do solo e um melhor aproveitamento da água da chuva na região (MAPA, 2021). É possível observar ao longo do tempo na agricultura brasileira a adoção de métodos de cultivo que promovam a redução da erosão, além de melhorar a fertilidade do solo, numa produção agrícola sustentável. Para tanto, destacam-se o sistema plantio direto, o cultivo mínimo e o sistema integração lavoura pecuária (PEREIRA et al, 2009).

O sistema plantio direto (SPD) constitui-se em um conjunto de tecnologias conservacionistas que resulta em aumento da produtividade, na preservação e melhoria da capacidade produtiva do solo (PEREIRA et al. 2013). Pode ser definido como o sistema de produção que tem por fundamentos três princípios básicos de manejo do solo: o não revolvimento, a cobertura permanente e a rotação de culturas (PECHE FILHO, 2005).

O Sistema Plantio Direto é difundido pelo Projeto Rural Sustentável Caatinga com o intuito de ampliar a produção agropecuária da região, reduzindo a vulnerabilidade da biodiversidade e da população, através do aumento de renda do pequeno e médio produtor e da preservação da vegetação nativa. Desta forma, o SPD contribui com a redução da emissão de gases de efeito estufa, a preservação ambiental e o combate à desertificação neste bioma.

Normalmente o sistema de cultivo da maioria dos agricultores do Semiárido consiste na roçagem da vegetação ainda no período seco, seguido do aceiro e depois das chuvas, é feito a queima e posteriormente o plantio. A exploração contínua e a mecanização intensiva com sistema de cultivo convencionais ocasionam a perda da estrutura física e química dos solos e a redução da matéria orgânica. Essas técnicas aliado ao regime das chuvas na região abrem caminho para a erosão, perdas de solo e degradação (SAMPAIO, MENDES, SILVA, 2017).

A região Semiárida apresenta características de chuva, solo e vegetação consideradas complexas e heterogêneas, sendo um grande desafio quando se trata de selecionar o uso e manejo do solo dos sistemas agrícolas desta região. Mello Filho e Souza (2006), por conta destas características, consideram arriscado e muito difícil propor soluções universais ou modelos prontos, para o uso e manejo do solo e água do Semiárido.

No Semiárido brasileiro, a grande maioria dos produtores, irrigantes ou não, utilizam o preparo convencional do solo em seus cultivos. A utilização de técnicas convencionais é tradicionalmente adotada na maioria das propriedades, podendo causar impactos negativos, a exemplo do comprometimento do desenvolvimento das culturas, decorrente de práticas de manejo que corroboram para a compactação do solo, somado às condições ambientais. Aliado a isso, a baixa ocorrência de chuva, a elevada evapotranspiração e os solos rasos e com tendência a compactação, influenciam no desenvolvimento das culturas vegetais, principalmente o crescimento radicular em profundidade no perfil do solo (COSTA, 2018).

Na região semiárida do Nordeste onde predomina o bioma Caatinga se caracteriza por solos rasos, que tendem a se saturar na chuva e ressecar facilmente nos períodos de estiagem, clima tropical quente, elevados índices de evapotranspiração durante todo o ano e grandes variações pluviométricas. As chuvas se apresentam em algumas épocas e locais com grande intensidade, o que, associado à baixa eficiência da vegetação em proteger solos com erodibilidade alta, resulta em eventos erosivos de grande magnitude (TAVARES FILHO et al., 2006; MENEZES et al., 2013).

Essa realidade muda um pouco quando se trata de áreas de cerrado existentes no Semiárido, a exemplo da nova fronteira agrícola brasileira, a MATOPIBA, que agrega porções dos estados da Bahia, Maranhão, Piauí e todo o Tocantins. Áreas de cultivo nos cerrados dos estados nordestinos do Maranhão, Piauí e Bahia tem apresentado considerável crescimento econômico nos últimos anos. Esse dinamismo é resultado de políticas públicas de baixo custo das terras e da crescente produção agrícola de grãos (soja, milho, arroz) e fibras (algodão), baseada em larga escala e no uso de tecnologias e na conservação de solo e água, o que tem causado grandes mudanças na região. De acordo com o último Censo Agropecuário (2017), estes três estados representam 96,6 % das áreas sob o SPD no Nordeste - Bahia (43,3%), Maranhão (33,5%) e Piauí (19,8%). O Oeste baiano é considerado a região mais produtiva e o berço do desenvolvimento agrícola do MATOPIBA (PEREIRA; CASTRO; PORCIONATO, 2018).

O Cerrado baiano compreende uma área de transformação do espaço rural por meio de ação antrópica para a produção de grãos, fibras, materiais energéticos, plantio de florestas, pastagens, culturas perenes e agricultura irrigada. Os produtores rurais desta região implantavam suas lavouras em plantio convencional com preparo periódico do solo utilizando grades pesadas, arados, escarificadores ou subsoladores e grade niveladora e, ao longo dos anos tenderam a adotar o sistema plantio direto para reduzir os custos de produção, melhoria nos atributos físicos e químicos do solo, diminuir efeitos do processo de erosão eólica e hídrica, e consequente aumento da produtividade (SANO; PINHATI, 2009; FONTANA et al., 2016).

Para o cerrado da região Oeste da Bahia, com estações de chuvas bem definidas o uso da técnica de sistema plantio direto implica na manutenção da umidade do solo por um tempo maior, além de reduzir o escoamento superficial e o carreamento de agregados do solo para os mananciais. Em longo prazo ocorre a redução do risco dos processos erosivos, manutenção do equilíbrio hídrico e aumento de produtividade das culturas. Segundo o guia de conservação de recursos hídricos para propriedades rurais do Oeste da Bahia é recomendado para a região a adoção do sistema plantio direto com integração lavoura pecuária, e a utilização de forrageiras que servirão de palhada formadas por gramíneas ou leguminosas em rotação, sucessão ou consorciação de culturas.

A adoção do SPD em larga escala contribui com a manutenção da vazão nos cursos d'água ao longo do ano, por meio do controle do assoreamento de cursos d'água e reservatórios e do aumento no abastecimento dos lençóis freáticos, beneficiando toda a bacia hidrográfica (CIANCIO e ECLINIO, 2021).

Ao longo dos anos a inserção do sistema plantio direto no Cerrado passou por várias etapas e desafios para a sua consolidação e vem surgindo outros desafios relacionados ao abandono de alguns princípios básicos, principalmente no que tange a rotação de culturas e a manutenção de uma cobertura permanente de resíduos na superfície do solo. Além disso, é possível citar também outros entraves encontrados para manutenção deste manejo do solo como: a utilização excessiva do herbicida glifosato, a descontinuidade do sistema plantio direto, a resistência das plantas daninhas aos defensivos utilizados, principalmente o glifosato, a compactação do solo em áreas de trânsito intenso de maquinários, acesso ao financiamento agrícola para ações do plano de agricultura de baixa emissão de carbono (ABC) e a capacitação dos técnicos para assistência de campo (ANDRADE et al., 2018).

O preparo convencional potencializa os processos de degradação do solo tão evidentes na região Semiárida, causando impactos negativos, pela ação da intemperes por conta do solo estar descoberto. No entanto, quando o manejo prioriza a cobertura do solo, inserindo o sistema plantio direto, promove o aumento da sustentabilidade. Na Tabela 1 é possível encontrar os benefícios possíveis das culturas de cobertura de solo utilizadas no sistema plantio direto em algumas características do solo.

O Semiárido, que é uma região caracterizada por altas temperaturas, maior incidência de radiação solar e baixo índice pluviométrico, a utilização de sistemas de manejo convencionais, com quantidades reduzidas de resíduos vegetais sobre o solo associado ao preparo contínuo, contribui com a diminuição dos teores de carbono e nitrogênio, havendo redução da qualidade de solo e da capacidade produtiva, principalmente em solos de cultivos intensivos e irrigados. Nessas condições a adoção do sistema plantio direto promovem o aumento do teor de carbono orgânico total, nitrogênio total e as frações de matéria orgânica na superfície do solo sendo mais sustentável que o sistema convencional com a redução de emissões de CO₂ para a atmosfera (ASSIS et al., 2010; SACRAMENTO et al., 2013; SALES et al., 2017).

Na avaliação de parâmetros hídricos e físicos de um Latossolo no cerrado da região Oeste da Bahia, sob cultivo de milho em plantio convencional e direto, Fagundes et al. (2019) observaram que o sistema plantio direto promove melhorias na estruturação e agregação do solo e, que o cultivo sob plantio convencional reduz a qualidade do solo, favorecendo as perdas de solo, matéria orgânica e água.

O plantio direto é um manejo de solo indicado para o cultivo de milho no estado de Alagoas por influenciar positivamente nos componentes de produção da planta (população de plantas e número de espigas), e na produtividade deste grão quando comparado com o sistema de plantio convencional (PEREIRA et al., 2009).

Tabela 1. Benefícios das plantas de cobertura em sistema plantio direto, na estrutura e fertilidade do solo, e sobre os organismos-praga.

Características	Interferências	Benefícios para a cultura principal
Estrutura do solo	<p>Favorece penetração das raízes no solo;</p> <p>Proteção da superfície do solo contra incidência de luz, ação dos ventos e impacto de gotas da chuva;</p> <p>Adição de matéria orgânica (MO) ao solo;</p> <p>Favorece a ação biológica na zona de raízes.</p>	<p>Melhoria na infiltração de água;</p> <p>Reduz a formação de selamento superficial;</p> <p>Reduz o escoamento superficial;</p> <p>Reduz drasticamente a ação dos agentes erosivos ao solo;</p> <p>Maior estabilidade de agregados;</p> <p>Aumento da porcentagem de macroporos;</p> <p>Redução da compactação do solo;</p> <p>Redução da densidade bruta do solo.</p>
Fertilidade do solo	<p>Fixação de nitrogênio pela bactéria do gênero <i>Rhizobium</i>;</p> <p>Fixação de carbono devido ao maior acúmulo de biomassa;</p> <p>Captação de nutrientes pelas raízes.</p>	<p>Aumento do conteúdo de matéria orgânica;</p> <p>Retenção de nutrientes do sistema;</p> <p>Prevenção de perdas dos nutrientes por lixiviação;</p> <p>Aumento da quantidade de nitrogênio;</p> <p>Maior diversidade da biota do solo.</p>
Organismos-pragas	<p>Adição de compostos alelopáticos;</p> <p>Remoção de recursos (luz e nutrientes) necessários às ervas daninhas;</p> <p>Criação de habitat para predadores, parasitas e parasitoides benéficos;</p> <p>Modificação do microclima.</p>	<p>Inibição de ervas daninhas por alelopatia;</p> <p>Supressão competitiva por ervas daninhas;</p> <p>Controle de patógenos do solo por aleloquímicos;</p> <p>Aumento da presença de organismos benéficos</p> <p>Supressão de organismos-praga.</p>

Fonte: Adaptado de Pereira et al. (2013)

Na avaliação de cultivares de sorgo, sob escassez de água no Semiárido pernambucano, Elias et al., (2016) identificaram dois cultivares com maior produção de fitomassa e eficiência no uso da água no sistema plantio direto. Para o estabelecimento de sistemas de cultivo a exemplo do sistema plantio direto torna-se necessário a escolha de materiais vegetais adaptados àquelas condições de solo e clima.

O Instituto Agronômico de Pernambuco – IPA realizou várias atividades para a difusão do SPD e publicaram um material importante com diretrizes para a implantação e condução do sistema em Pernambuco intitulado “Procedimentos em lavouras no Sistema de Plantio Direto na Palha (PDP) para o semiárido pernambucano”. A pesquisa aponta que é possível realizar o plantio com apenas quatro meses de chuvas regulares, ao invés do padrão estabelecido de oito meses. Essa nova técnica favorece a infiltração de água da chuva, já que a palha não permite que a água escorra para fora da plantação. Caso contrário, causaria a erosão do solo e destruiria toda a produção. “Além disso, o método possibilita a produção de palha para alimentar o rebanho e cobrir o solo”, Antônio Timóteo.

Pelas características peculiares da região Semiárida, a dinâmica do sistema plantio direto é diferente de outras regiões que adotam essa tecnologia, sendo uma das maiores dificuldades a formação de um sistema de palhada com consequente rotação de cultura (OLIVEIRA; ALVES, 2010).

O estabelecimento do sistema plantio direto em áreas de cultivo necessita da utilização de coberturas mortas ou a manutenção dos resíduos de culturas instaladas anteriormente na superfície do solo. Essa prática promove proteção do solo contra ação dos agentes erosivos, traz benefícios às características químicas (fertilidade), físicas (estrutura) e biológicas (macro e microorganismos) do solo, devido à elevação do teor de matéria orgânica, além disso, promove a manutenção da umidade do solo por meio da regulação da temperatura, diminuindo assim a amplitude térmica, que possibilita um melhor desempenho das culturas (NAKHONE et al., 2008; TEODORO et al., 2011; AMOSSÉ et al., 2013; MARTINS et al., 2016).

Nas condições do Semiárido brasileiro, característico por apresentar clima mais quente, com a ocorrência de altas temperaturas associada à distribuição irregular de chuvas, se faz necessária a utilização de coberturas mortas eficientes que possuam altas relações C/N, boa produção de biomassa, proporcionando melhor tempo de cobertura para proteção física do solo e disponibilização de nutrientes, nos períodos de excesso ou escassez de água, e servindo posteriormente, como palhada para realização do sistema plantio direto (NUNES et al., 2006; OLIVEIRA et al., 2019).

O tempo de permanência da cobertura morta na superfície do solo é determinado pela velocidade de decomposição do material utilizado. Esse processo está diretamente ligado a relação C/N de cada material vegetal. Plantas com baixa relação C/N possuem permanência menor por apresentar decomposição mais rápida de palhada a exemplo das plantas leguminosas. Por outro lado, plantas com alta relação C/N possuem maior longevidade de palhada por apresentarem decomposição lenta, a exemplo das gramíneas.

Oliveira et al., (2019), avaliando três tipos de plantas de cobertura (sorgo, crota-lária e capim mombaça) no cultivo de milho em sistema plantio direto no Semiárido Cearense observaram que a porcentagem de cobertura do solo foi mais expressiva para a cobertura de capim mombaça, apresentando mais de 90% de cobertura do solo em relação as demais plantas estudadas.

Segundo Nunes et al., 2006, a utilização de gramíneas (*P. maximum* cv. Mombaça, *B. brizantha* cv. Marandu, *B. decumbens* cv. Basilisk e *P. maximum* cv. Tanzânia) como plantas de cobertura produz quantidade suficiente de matéria seca para viabilizar o sistema plantio direto de feijão no semiárido mineiro. E, que o rendimento deste grão é aumentado no sistema plantio direto e com as gramíneas como plantas de cobertura quando comparado com as leguminosas.

REFERÊNCIAS

- ALBIERO, D. Fundamentos de projetos de máquinas agroecológicas para o semiárido. In: ALBIERO, D.; CAJADO, D.M.; FERNANDES, I.L.C.; MONTEIRO, L.A.; ESMERALDO, G.G.S.L. (org.). **Tecnologias agroecológicas para o Semiárido**. Fortaleza, p.12-37, 2015.
- AMOSSÉ, C.; JEUFFROY, M. H.; DAVID, C. Relay intercropping of legume cover crops in organic winter wheat: effects on performance and resource availability. **Field Crops Research**, v.145, p.78-87, 2013.
- ANDRADE, A.T.; TORRES, J.L.R.; PAES, J.M.V.; TEIXEIRA, C.M.; CONDÉ, A.B.T. Desafios do Sistema Plantio Direto no Cerrado. **Informe Agropecuário**, v.39, n.302, p.18-26, 2018.
- ARAÚJO, S.M.S. A REGIÃO SEMIÁRIDA DO NORDESTE DO BRASIL: Questões Ambientais e Possibilidades de uso Sustentável dos Recursos. **Rios Eletrônica**, v.5, n.5, 2011.
- ASABRASIL. **Semiárido: É no Semiárido que a vida pulsa!** Disponível em: <https://www.asabrazil.org.br/semiario#biomas-semiarido>. Acesso em: 19 mar. 2021.
- ASSIS, C.P.; OLIVEIRA, T.S.; DANTAS, J.N.; MENDONÇA et al. Organic matter and phosphorus fractions in irrigated agroecosystems in a semi-arid region of Northeastern Brazil. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v.138, n.1-2, p.74-82, 2010.
- BRASIL. **Acervo digital geográfico e populacional do semiárido nordestino**. Instituto Nacional do Semiárido e Sistema de Gestão da Informação e do Conhecimento do Semiárido Brasileiro -INSA/SIGSAB, 2010. Disponível em: <http://sigstab.insa.gov.br/acervoDigital>. Acesso em: 10 mar. 2021.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Plano setorial de mitigação e de adaptação às mudanças climáticas para a consolidação de uma economia de baixa emissão de carbono na agricultura: plano ABC (Agricultura de Baixa Emissão de Carbono)**. Brasília, MAPA/ACS, 2012, 173p.
- BRASIL. Resolução Nº 115, DE 23 de novembro de 2017. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, n. 232, 5 de dezembro de 2017. Seção I, p. 32-33. Disponível em: <https://www.gov.br/sudene/pt-br/centrais-de-conteudo/resolucao115-23112017-delimitacaodosemiarido-dou-pdf>. Acesso em: 10 abr. 2021.
- BRITO, R.F.; FERREIRA NETO, M.; DIAS, N.S.; HOLANDA, J.S.; LIRA, R.B.; GOMES, J.W.S. Morfologia e fertilidade do solo em áreas de produção do semiárido. **Revista de Ciências Agrárias**, v.40, n.3, p.525-532, 2017.
- CHIODEROLI, C.A.; MENDONÇA, C.A.; NICOLAU, F.E.A.; AMORIM, M.O. Sistema interação lavoura pecuária. In: ALBIERO, D.; CAJADO, D.M.; FERNANDES, I.L.C.; MONTEIRO, L.A.; ESMERALDO, G.G.S.L. (org.). **Tecnologias agroecológicas para o Semiárido**. Fortaleza, p.12-37, 2015.
- CIANCIO, Patrísia; CLINIO, Anne. **Por dentro das #TecABCnaCaatinga: Sistema Plantio Direto**. Novembro/2021. Disponível em: <https://priscaatinga.org.br/por-dentro-das-tecabncnaatinga-sistema-de-plantio-direto/>. Acesso em: 20 jan. 2022.
- COSTA, O. A. Variabilidade Climática Interanual por Região. Secretária de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (Sergipe) – SEMARH. Entrevistadora: SANTOS, A. O. de., Aracaju. 2018.

CUNHA, T.J.F.; PETRERE, V.G.; SILVA, D.J.; MENDES, A.M.S.; MELO, R.F.; OLIVEIRA NETO, M.B.; SILVA, M.S.L.; ALVAREZ, I.A. Principais solos do semiárido tropical brasileiro: caracterização, potencialidades, limitações, fertilidade e manejo. In: SA, I. B.; SILVA, P. C. G. da. (Ed.). **Semiárido brasileiro: pesquisa, desenvolvimento e inovação**. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2010.

ECORREGIÕES PROPOSTAS PARA O BIOMA CAATINGA. **Resultados do Seminário de Planejamento Ecorregional da Caatinga**. 1.a Etapa - 28 a 30 de Novembro de 2001 - Aldeia, PE. <<http://www.plantasdonordeste.org/Livro/sumario.htm>> acesso em 20 mar. 2021.

ELIAS, O.F.A.S.; LEITE, M.L.M.V.; AZEVEDO, J.M; SILVA, J.P.S.S.; NASCIMENTO, G.F.; SIMPLÍCIO, J.B. Características agrônômicas de cultivares de sorgo em sistema plantio direto no Semiárido de Pernambuco. **Ciência Agrícola**, v.14, n.1, p.29-36, 2016.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – Embrapa. **MATOPIBA GeoWeb**. 2015. Disponível em: <<http://goo.gl/bZSz8Y>>. Acesso em: 31/03/2021.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Semiárido, Petrolina-PE. **Relatório técnico anual do Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Semiárido**. 1977-1978. Brasília, EMBRAPA-DID, 1979.

FAGUNDES, M.O.; REIS, D.A.; PORTELLA, R.B.; PERINA, F.J.; BOGIANI, J.C. Qualidade de um latossolo sob plantio convencional e sistema plantio direto no cerrado baiano, Brasil. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v.10, n.3, p.281-297, 2019.

FONTANA, A.; TEIXEIRA, W.G.; BALIEIRO, F.C.; MOURA, T.P.A.; MENEZES, A.R.; SANTANA, C.I. Características e atributos de Latossolos sob diferentes usos na região Oeste do Estado da Bahia. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.51, n.9, p.1457-1465, 2016.

FRANCISCO, P.R.M., SANTOS, D. O semiárido brasileiro e seus limites. In: BARACUHY, J.G.V.; FURTADO, D.A.; FRANCISCO, P.R.M. (org.). **Tecnologias de Convivência com o Semiárido Brasileiro**. Campina Grande: EDUFGC, 130p., 2017.

GAMA, D.C.; JESUS, J.B. Principais solos da região semiárida do Brasil favoráveis ao cultivo do *Eucalyptus L'* Heritier. **BIOFIX Scientific Journal**, v.5, n.2, p.214-221, 2020.

GRAEF, F.; HAIGIS, J. Spatial and temporal rainfall variability in the sahel and it's effects on for men management strategies. **Journal of Arid Environments**, v.48, p.221-231, 2001.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Biomás e Sistema Costeiro-Marinho do Brasil**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/apps/biomás>>. Acesso em 28 mar. 2021b.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Definição de semiárido**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/estrutura-territorial/15974-semiarido-brasileiro>>. Acesso em 28 mar. 2021a.

IBGE/SIDRA – Sistema IBGE de Recuperação Automática. **Censo Agropecuário 2017: resultados definitivos**. Rio de Janeiro: IBGE, 2017. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/censo-agropecuario/censo-agropecuario-2017>>. Acesso em: 20 mar. 2021.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Sistema IBGE de Recuperação Automática – SIDRA: censo agropecuário 2017**: resultados definitivos: tabela 6855 – número de estabelecimentos agropecuários que utilizaram plantio direto na palha e área com plantio direto na palha. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/6855#notas-tabela>>. Acesso em: 06 dez. 2021.

JACOMINE, P.K.T. Caracterização do estágio atual dos solos sob Caatinga. In: ARAUJO, Q.R. de (Org). **500 anos de uso do solo no Brasil**. Ilhéus: Editus, p.365-397, 2002.

MAPA, Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (ed.). **Plano Setorial para Adaptação à Mudança do Clima e Baixa**. 2021. Disponível em: <<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/sustentabilidade/plano-abc>> Acesso em: 20 jan. 2022.

MARINHO, C.O. **Os biomas da região semiárida: aspectos territoriais**. 2015. Monografia (Bacharelado em Engenharia Agrônoma) - Universidade Federal da Paraíba, Paraíba, 2015.

MARQUES, F.A.; NASCIMENTO, A.F.; ARAÚJO FILHO, J.C.; SILVA, A.B. **Solos do Nordeste**. 8p., 2014. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/publicacao/1003864/solos-do-nordeste>>. Acesso em: 12 abr. 2021.

MARTINS, D.; GONÇALVES, C. G.; SILVA JÚNIOR, A. C. Coberturas mortas de inverno e controle químico sobre plantas daninhas na cultura do milho. **Revista Ciência Agronômica**, v. 47, n. 4, p. 649- 657, 2016.

MELLO FILHO, J.F.; SOUZA, A.L.V. O manejo e a conservação do solo no Semi-árido baiano: desafios para a sustentabilidade. **Bahia Agrícola**, v.7, n.3, 2006.

MENEZES, J.A.L.; SANTOS, T.E.M., MONTENEGRO, A.A.A; SILVA, J.R.L. Comportamento temporal da umidade do solo sob Caatinga e solo descoberto na Bacia Experimental do Jatobá, Pernambuco. **Water Resources and Irrigation Management**, v.2, n.1, p.45-51, 2013.

NAKHONE, L. N.; TABATABAI, M. A. Nitrogen mineralization of leguminous crops in soils. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v.171, n.2, p.231-241, 2008.

NUNES, U.R.; ANDRADE JUNIOR, V.C.; SILVA, E.B.; SANTOS, N.F.; COSTA, H.A.O.; FERREIRA, C.A. Produção de palhada de plantas de cobertura e rendimento do feijão em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, n.6, p.943-948, 2006.

OLIVEIRA, J.B.; ALVES, J.J. **Sistema plantio direto no Semiárido do Ceará**. v.7, 23p, 2010.

OLIVEIRA, J.L.P.; CHIODEROLI, C.A.; NASCIMENTO, E.M.S.; BORGES, R.C.P.; NICOLAU, F.E.A.; AMORIM, M.Q. Permanência de plantas de cobertura no cultivo do milho no semiárido. In: ZUFFO, A.M. (org.). **As Regiões Semiáridas e suas especificidades 3**. Ponta Grossa: Atena, p.92-103, 2019.

PECHE FILHO, A. Mecanização do Sistema Plantio Direto. **Informações Técnicas - IAC**. O Agrônomo, Campinas - SP. 2005.

PEREIRA, C.N.; CASTRO, C.N.; PORCIONATO, G.L. Expansão da agricultura no matopiba e impactos na infraestrutura regional. **Revista de Economia Agrícola**, v.65, n.1, p.15-33, 2018.

PEREIRA, M.A.T.; CARMO, R.L. Da agricultura de sequeiro a fruticultura irrigada: condicionantes associados ao dinamismo regional. IN: Encontro Nacional de Estudos Populacionais, 17, Caxambu, **Anais...Caxambu: ANEP**, 2010.

PEREIRA, M.F.S.; NOVO JUNIOR, J.; SÁ, J.R.; LINHARES, P.C.F.; BEZERRA NETO, F.; PINTO, J.R.S. Ciclagem do carbono do solo nos sistemas de plantio direto e convencional. *ACSA – Agropecuária Científica no Semi-Árido*, v.8, n.1, p. 21- 32, 2013.

PEREIRA, R.G.; ALBUQUERQUE, A.W.; CAVALCANTE, M.; PAIXÃO, S.L.; MARACAJÁ, P.B. Influência dos sistemas de manejo do solo sobre os componentes de produção do milho e *Brachiaria decumbens*. *Revista Caatinga*, v.22, n.1, p.64-71, 2009.

PONTES, A.G.V.; GADELHA, D.; FREITAS, B.M.C.; RIGOTTO, R.M.; FERREIRA, M.J.M. Os perímetros irrigados como estratégia geopolítica para o desenvolvimento do semiárido e suas implicações à saúde, ao trabalho e ao ambiente. *Ciência e Saúde Coletiva*, v.18, n.11, p.3213-3222, 2013.

SACRAMENTO, J.A.A.S.; ARAÚJO, A.C.M.; ESCOBAR, M.E.O; XAVIER, F.A.S.; CAVALCANTE, A.C.R.; OLIVEIRA, T.S. Soil carbon and nitrogen stocks in traditional agricultural and agroforestry systems in the semiarid region of Brazil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.37, n.3, p.784-795, 2013.

SALES, R.P.; PEGORARO, R.F.; PORTUGAL, A.F.; MOREIRA, J.A.A.; KONDO, M.K. Organic matter fractions of an irrigated oxisol under no-till and conventional tillage in the brazilian semi-arid region. *Revista Caatinga*, v.30, n.2, p.303-312, 2017.

SAMPAIO, C.B.V; MENDES, L.C.; SILVA, M.R. Utilização do plantio direto como forma de diminuição dos impactos da agricultura sobre os recursos hídricos na região do semi-árido. In: FORUM INTERNACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS, 8. 2017, Curitiba. *Anais...* Curitiba, 2017.

SANO, E.E.; PINHATI, F.S.C. Espaço rural do oeste baiano: identificação de áreas agrícolas sob sistema plantio direto por meio de dados obtidos por câmera digital e satélite cbers-2 ccd. *Geografia*, v.34, n.1, p.117-129, 2009.

SANTOS, M.C. **Solos do Semiárido do Brasil**. Recife: EDUFPRPE, 2 ed., v.10, n.10, 2017.

SILVA, P.C.G.; MOURA, M.S.B.; KIILL, L.H.P.; BRITO, L.T.L.; PEREIRA, L.A.; SA, I.B.; CORREIA, R.C.; TEIXEIRA, A.H.C.; CUNHA, T.J.F.; GUIMARÃES FILHO, C. Caracterização do Semiárido brasileiro: fatores naturais e humanos. In: SA, I. B.; SILVA, P. C. G. da. (Ed.). **Semiárido brasileiro: pesquisa, desenvolvimento e inovação**. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2010.

SILVEIRA, R.N.C.M.; PEIXOTO, F.S.; COSTA, R.N.T; CAVALCANTE, I.N. Efeitos da seca em perímetros irrigados no Semiárido Brasileiro. *Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ*, v.41, n.2, p.268-275, 2018.

SOUZA, M.T.S.; SILVA, M.E.F.; PAULO, P.F.M.; RIBEIRO, A.B.; ANDRADE, A.R; CASSUCE, M.R. Caracterização climática e o efeito do estresse hídrico sob as plantas nativas da Caatinga. *PUBVET*, v.8, n.1, p.1-17, 2014.

SUDENE – Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste. **Delimitação do semiárido**. Disponível em: <<http://sudene.gov.br/>> Acesso em: 22 fev. 2021.

TAVARES FILHO, J.; FONSECA, I. C. B.; RIBSON, A. A.; BARBOSA, G. M. C. Efeito da escarificação na condutividade hidráulica saturada de um Latossolo Vermelho Amarelo sob plantio direto. *Ciência Rural*, v.36, p.996-999, 2006.

TEODORO, R.B.; OLIVEIRA, F.L.; SILVA, D.M.N.; FÁVERO, C.; QUARESMA, M.A.L. Leguminosas herbáceas perenes para utilização como coberturas permanentes de solo na Caatinga Mineira. **Revista Ciência Agronômica**, v.42, n.2, p.292-300, 2011.

VIDALETT, S.F. **Caracterização dos atributos químicos e físicos de solos em diferentes sistemas de manejo no município de Conceição – PB**. 2018. 40f. Monografia (Bacharelado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Campina Grande, Patos, PB, 2018.

ZANELLA, M.E. Considerações sobre o clima e os recursos hídricos do Semiárido Nordeste. **Caderno Prudentino de Geografia**, n.36, Volume Especial, p.126-142, 2014.

**OBRA DESTINADA A DISTRIBUIÇÃO GRATUITA.
PROIBIDA A COMERCIALIZAÇÃO.**

ALDEIA NORTE EDITORA LTDA.
Todos os direitos reservados.



ISBN: 978-65-87818-01-6

CDL



9 786587 818016

