

Passo Fundo, RS / Fevereiro, 2026

Procedimentos técnicos para avaliar e corrigir a fertilidade de solos em sistema plantio direto



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

ISSN 1516-5582 / e-ISSN 1518-6512

Documentos 209

Fevereiro, 2026

Procedimentos técnicos para avaliar e corrigir a fertilidade de solos em sistema plantio direto

*José Eloir Denardin
Vanderlise Giongo
José Pereira da Silva Júnior
André Julio do Amaral
Sirio Wiethölter
Alaerto Luiz Marcolan
Jorge Lemainski*

***Embrapa Trigo
Passo Fundo, RS
2026***

Embrapa Trigo
Rodovia BR-285, km 294
Caixa Postal 78
99022-100 Passo Fundo, RS
www.embrapa.br/trigo
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

Comitê Local de Publicações

Presidente

Daniel Augusto Schurt

Membros

Alaerto Luiz Marcolan
Alexandre Ferreira do Nascimento
Alvadi Antonio Balbinot Junior
Gilberto Rocca da Cunha
João Leonardo Fernandes Pires
Jorge Alberto de Gouvêa
Joseani Mesquita Antunes
Sandra Maria Mansur Scagliusi

Edição executiva

Daniel Augusto Schurt

Projeto gráfico

Leandro Sousa Fazio

Diagramação

Márcia Barrocas Moreira Pimentel

Foto da capa

José Eloir Denardin

Publicação digital (2026): PDF

Todos os direitos reservados

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

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Embrapa Pecuária Sul

Procedimentos técnicos para avaliar e corrigir a fertilidade de solos em sistema plantio
direto / José Eloir Denardin ... [et al.]. – Passo Fundo : Embrapa Trigo, 2026.

PDF (21 p.) : il. color. – (Documentos / Embrapa Trigo, e-ISSN 1518-6512 ; 209)

1. Adubação. 2. Análise do solo. 3. Manejo do solo. 4. Prática cultural. I. Denardin,
José Eloir. II. Giongo, Vanderlise. III. Silva Júnior, José Pereira da. IV. Amaral, André
Julio do. V. Wiethölter, Sirio. VI. Marcolan, Alaerto Luiz. VII. Lemainski, Jorge. VIII.
Embrapa Trigo. IX. Série.

CDD (21. ed.) 631.422

Graciela Olivella Oliveira (CRB-10/1434)

© 2026 Embrapa

Autores

José Eloir Denardin

Engenheiro-agrônomo, doutor em Agronomia/Solos e Nutrição de Plantas, pesquisador da Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS

Vanderlise Giongo

Engenheira-agrônoma, doutora em Ciência do Solo, pesquisadora da Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS

José Pereira da Silva Júnior

Engenheiro-agrônomo, doutor em Solos e Nutrição de Plantas, pesquisador da Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS

André Julio do Amaral

Engenheiro-agrônomo, doutor em Ciência do Solo, pesquisador da Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS

Sírio Wiethölter

Engenheiro-agrônomo, Ph.D. em Química e Fertilidade do Solo, pesquisador da Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS

Alaerto Luiz Marcolan

Engenheiro-agrônomo, doutor em Ciência do Solo, pesquisador da Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS

Jorge Lemainski

Engenheiro-agrônomo, mestre em Ciências Agrárias/Gestão de Solo e Água, analista da Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS

Apresentação

Raras tecnologias promoveram transformações tão profundas, decisivas e duradouras na agricultura brasileira quanto o Plantio Direto e sua evolução conceitual e prática. Desde sua introdução, essas inovações consolidaram-se como marcos históricos incontornáveis ao instituir novo paradigma de controle da erosão hídrica; e, em etapa posterior e conceitualmente mais abrangente, o Sistema Plantio Direto, ao ampliar a resiliência produtiva, afirma princípios estruturantes de sistemas agrícolas e viabiliza a indução de sustentabilidade à agricultura.

A Embrapa Trigo orgulha-se de ter participado, desde os primórdios, da construção desse conhecimento, atuando de forma contínua na pesquisa, no desenvolvimento e na inovação, e, de modo especial, na difusão e transferência de tecnologias que permitiram a consolidação do Plantio Direto e, na sequência, sua conversão em Sistema Plantio Direto. Essa trajetória reafirma o compromisso institucional de imprimir caráter de sustentabilidade à agricultura, bem como de gerar soluções técnicas capazes de responder às demandas da sociedade.

Este documento, intitulado “Procedimentos técnicos para avaliar e corrigir a fertilidade de solos em Sistema Plantio Direto”, reúne protocolos e recomendações que visam orientar assistentes técnicos e produtores na avaliação criteriosa da fertilidade dos solos e na adoção de práticas de correção e manejo compatíveis com os princípios fundamentais do Sistema Plantio Direto. Trata-se de um documento que transcende a simples prática de reduzir a mobilização do solo e manter o solo coberto, ao enfatizar a relevância da qualidade, da quantidade e da frequência de raízes capazes de se aprofundar no perfil e regenerar atributos estruturais e químicos indispensáveis à plena expressão da fertilidade do solo.

Ao disponibilizar esta publicação, a Embrapa Trigo reafirma sua missão de contribuir para a evolução da agricultura brasileira, oferecendo instrumentos técnicos que qualificam a tomada de decisão e promovem sistemas produtivos mais eficientes, resilientes e indutores de sustentabilidade à agricultura.

Mércio Luiz Strieder

Chefe-Adjunto de Pesquisa e Desenvolvimento da Embrapa Trigo

Sumário

1. Introdução	9
2. Justificativa	9
3. Objetivos	10
3.1. Objetivo geral	10
3.2. Objetivo específico	10
4. Procedimento para diagnosticar indicadores físicos da fertilidade do solo	10
4.1. Interpretação do diagnóstico dos indicadores físicos da fertilidade do solo	10
5. Procedimento para diagnosticar indicadores químicos da fertilidade do solo	14
5.1. Interpretação do diagnóstico dos indicadores químicos da fertilidade do solo	14
6. Interpretação dos diagnósticos dos indicadores físicos e químicos da fertilidade do solo	15
7. Procedimentos para a correção dos indicadores físicos e químicos da fertilidade do solo	15
8. Indicações para a manutenção da fertilidade do solo após correções físicas e químicas	18
8.1. Diversificação de culturas	18
8.2. Correção da reacidificação do solo	20
8.3. Adubação de manutenção ou de reposição	20
8.4. Monitoramento calendarizado dos indicadores físicos e químicos da fertilidade do solo	20
Referências	21

1. Introdução

Nos estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina, o manejo da matriz produtiva de grãos, integrada ou não à produção de forragens, encontra-se predominantemente alicerçado na técnica do Plantio Direto. Essa prática, no entanto, carece da abordagem abrangente e integrada que caracteriza o Sistema Plantio Direto. A distinção entre esses conceitos, longe de se restringir ao plano terminológico, possui implicações diretas sobre a resiliência agrícola: reconhecer que Plantio Direto e Sistema Plantio Direto não são equivalentes constitui condição fundamental para conviver com a irregularidade pluviométrica, marcada por períodos alternados de excesso, escassez e normalidade (Plantio..., 1993).

Na prática, o Plantio Direto negligencia a adubação corretiva da fertilidade do solo, limitando-se à adubação de manutenção, com posicionamento de fertilizantes na superfície do solo ou na linha de semeadura, e adota apenas dois princípios conservacionistas: a mobilização do solo restrita à linha de semeadura e a manutenção do solo coberto. O Sistema Plantio Direto, por sua vez, amplia substancialmente esse escopo. Além de incorporar esses dois princípios básicos do Plantio Direto, o Sistema Plantio Direto torna indispensável a correção dos indicadores físicos e químicos da fertilidade do solo, bem como a diversificação sistemática de culturas (Denardin et al., 2012). Nesse contexto, assumem papel central a descompactação do solo, a adubação corretiva do solo – conforme referenciada no *Manual de Calagem e Adubação para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina* (Manual..., 2016) – e o cultivo de plantas de serviço, dotadas de sistemas radiculares capazes de promover, manter e estabilizar atributos estruturais do solo considerados agronomicamente indispensáveis.

Do exposto, a adoção do Plantio Direto, assim interpretado e de forma generalizada, tem assegurado a correção da acidez do solo e a disponibilidade de nutrientes em níveis suficientes somente na camada de 0–10 cm (Amaral et al., 2024), ao mesmo tempo em que tem desencadeado adensamento e/ou compactação do solo na camada de 10–20 cm (Reichert et al., 2016; Amaral et al., 2024).

Assim, o cenário para a adoção do Sistema Plantio Direto depende da avaliação da fertilidade do solo mediante o emprego de processos analíticos robustos e consistentes, capazes de diagnosticar, com rigor, as condições físicas e químicas da fertilidade do solo e, desse modo, subsidiar intervenções agronômicas eficazes e adaptadas às diferentes realidades produtivas.

Esse procedimento técnico-analítico tem por objetivo estabelecer um padrão metodológico para a coleta, análise e interpretação de indicadores físicos e químicos da fertilidade do solo, assegurando uniformidade nos processos e confiabilidade nos resultados. O emprego sistemático desse procedimento possibilita a elaboração de diagnósticos específicos e prognósticos agronômicos consistentes, em consonância com as diretrizes do Sistema Plantio Direto. Essa abordagem promove ganhos de produtividade, aumento da rentabilidade e maior resiliência climática nas unidades de produção agrícola, além de contribuir para o cumprimento dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), em especial o ODS 2 – Fome Zero e Agricultura Sustentável e o ODS 15 – Vida Terrestre.

2. Justificativa

A heterogeneidade dos ambientes edafoclimáticos dos estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina impõe a necessidade de abordagens técnicas que considerem as especificidades de cada unidade de produção agrícola. Sob a ótica do conservacionismo, a ausência de protocolos metodológicos consolidados para a avaliação e integração de indicadores físicos e químicos da fertilidade do solo compromete a comparabilidade dos dados analíticos, a eficácia das recomendações agronômicas e a capacidade de monitorar os impactos das ações de manejo e recuperação do solo.

Nesse contexto, a adoção do Sistema Plantio Direto, fundamentada em diagnósticos e prognósticos individualizados, requer a utilização de um procedimento técnico que assegure rigor metodológico, sustentação científica, replicabilidade e alinhamento

às diretrizes da assistência técnica. A uniformização dos processos de coleta, preparo e análise de amostras de solo, bem como da interpretação dos resultados analíticos, configura-se, portanto, como condição indispensável para a efetividade dos planos de ação, a partir da consolidação de uma base técnica sólida, capaz de respaldar decisões agronômicas qualificadas no campo.

3. Objetivos

3.1. Objetivo geral

Contribuir para o aumento da produtividade e da rentabilidade dos sistemas de produção de grãos – integrados ou não à produção de forragem – nos estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina, por meio da disponibilização de procedimentos técnicos e analíticos padronizados para a avaliação de indicadores físicos e químicos da fertilidade do solo, de modo a subsidiar diagnósticos e prognósticos individualizados que orientem, com rigor e segurança, a adoção e o manejo do Sistema Plantio Direto em conformidade com seus princípios fundamentais.

3.2. Objetivo específico

Sistematizar os processos de coleta, preparo e análise de amostras de solo, bem como a interpretação dos resultados analíticos, garantindo um padrão diagnóstico uniforme para a adoção do Sistema Plantio Direto, capaz de subsidiar estratégias de manejo que resultem em prognósticos eficazes, localmente adaptados e individualizados.

4. Procedimento para diagnosticar indicadores físicos da fertilidade do solo

Os indicadores físicos da fertilidade do solo são expressos, primordialmente, pela qualidade estrutural do solo. A estrutura do solo desempenha papel determinante em múltiplas funções edáficas que

podem impactar diretamente os processos fisiológicos associados ao desenvolvimento das plantas, refletindo na expressão da fertilidade do solo, tais como (Denardin et al., 2014; Nunes et al., 2017):

- Armazenamento e disponibilidade de água: capacidade de reter e fornecer água às raízes;
- Armazenamento e difusão de calor: capacidade de influir processos biológicos no solo;
- Permeabilidade à água e ao ar: capacidade de regular drenagem e aeração do solo;
- Infiltração da água: capacidade de absorver água e minimizar escoamento superficial;
- Resistência mecânica: capacidade de influenciar o aprofundamento e o desenvolvimento de raízes; e
- Reação do solo (pH): capacidade de disponibilizar nutrientes, indisponibilizar elementos tóxicos e favorecer a vida microbiana do solo, com ênfase na estruturação do solo.

Nesse contexto, o adensamento e/ou a compactação do solo constituem os principais fatores físicos limitantes da qualidade estrutural, passíveis de diagnóstico em campo. Para esse fim, a Tabela 1 apresenta um procedimento específico, composto por seis ações acompanhadas de suas respectivas observações e registros, aplicáveis em escala de campo e que, se seguidos, dispensam análises laboratoriais.

A aplicação desse procedimento é recomendada ao longo do ciclo da cultura da soja, espécie que ocupa posição predominante na matriz produtiva de grãos, integrada ou não à produção de forragens nos estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina, cujas raízes apresentam elevada sensibilidade às restrições físicas do solo. A avaliação deve ser conduzida entre os estádios de desenvolvimento V6, caracterizado pelo completo desenvolvimento do sexto nó ou sexto trifólio, e R5.4, definido pela condição em que 50 a 75% das vagens localizadas no terço superior da planta já se encontram cheias.

4.1. Interpretação do diagnóstico dos indicadores físicos da fertilidade do solo

As ações protocolares descritas na Tabela 1 mostram-se eficazes para identificar camadas do solo com diferentes conformações estruturais, capazes de evidenciar estados de adensamento e/ou compactação com potencial para comprometer a expressão da fertilidade. Entre as observações registradas, a constatação recorrente de plantas com sintomas de déficit hídrico após períodos inferiores

a dez dias sem chuva – conforme indicado no item 1.1 da Tabela 1 – e a presença de raízes de soja deformadas, irregularmente distribuídas e com variações abruptas ao longo da parede da trincheira ou do monólito de solo apoiado sobre a lâmina da pá – evidências que compartimentam o perfil em camadas estruturalmente distintas conforme apontada nos itens 5.1 e 6.2 da Tabela 1 –, permitem inferir, com alta confiabilidade, a ocorrência de adensamento e/ou compactação do solo, com impactos diretos sobre o desenvolvimento das plantas.

Observação: os procedimentos analíticos expostos na Tabela 1, destinados ao diagnóstico de indicadores físicos da fertilidade do solo, não se aplicam a perfis que apresentam horizontes pedogenéticos naturais com restrição física ao crescimento radicular – como os horizontes B textural (Bt), coeso (Co), plânico (Pl), fragipã (Fr), duripã (Du), litoplântico (Lp), petroplântico (Pp), vértico (Ve), litólico (Li) e rocha (R).

Adicionalmente, enfatiza-se que o comportamento e a distribuição das raízes no perfil do solo

Tabela 1. Procedimento para diagnóstico dos indicadores físicos da fertilidade do solo em glebas cultivadas com soja.

Ação	Observação e registro
1. Investigar o histórico das glebas a serem diagnosticadas quanto à recorrência de plantas com sintomas de déficit hídrico.	1.1. A constatação recorrente de plantas de soja com sintomas de déficit hídrico após períodos inferiores a 10 dias sem chuva pode indicar a presença de camada adensada e/ou compactada de solo.
2. Realizar uma caminhada de reconhecimento em cada gleba a ser diagnosticada.	2.1. A identificação de processos erosivos entre sulcos, em sulcos e/ou com remoção completa de frações expressivas da camada superficial do solo pode indicar a presença de camada adensada e/ou compactada de solo.
3. Abrir, no mínimo, três trincheiras em cada gleba homogênea a ser diagnosticada, seguindo o conceito de homogeneidade preconizado no <i>Manual de calagem e adubação para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina</i> (Manual..., 2016) – ver Figura 1.	3.1. Utilize pás jardineira ou sete cravos para abrir as trincheiras. 3.2. Posicione as trincheiras nos terços superior, médio e inferior da vertente de cada gleba. 3.3. Abra as trincheiras com 30 cm de lado e 40 cm de profundidade. 3.4. Oriente uma das paredes da trincheira perpendicularmente em relação à linha de semeadura de soja (não de milho) e mantenha a linha de semeadura no centro dessa parede (Figura 1). 3.5. Deposite o solo oriundo da escavação a, no mínimo, 50 cm distantes das bordas da trincheira. 3.6. Evite pisar sobre a borda orientada perpendicularmente em relação à linha de semeadura e as bordas laterais da trincheira. Obs.: A identificação de variações na resistência do solo ao esforço operacional, observadas durante o aprofundamento da trincheira, que a segmentam em camadas distintas, pode indicar a presença de camada adensada e/ou compactada de solo. Se identificada, registre as profundidades de início e fim da camada com maior resistência na Tabela 2.
4. Percorrer a parede da trincheira, orientada perpendicularmente à linha de semeadura, com instrumento pontiagudo, realizando toques sucessivos a intervalos de 1 cm, da superfície do solo ao fundo da trincheira.	4.1. A identificação de variações na resistência do solo ao toque ao longo da parede da trincheira, que a segmentam em camadas distintas, pode indicar a presença de camada adensada e/ou compactada de solo. Se identificadas, registre as profundidades de início e fim de cada camada na Tabela 2.
5. Realizar a toalete da parede da trincheira, orientada perpendicularmente à linha de semeadura, com o auxílio de um instrumento pontiagudo, expondo o sistema radicular da planta posicionada no centro dessa parede.	5.1. A identificação das raízes da planta de soja deformadas, mal distribuídas e com variações bruscas ao longo da parede da trincheira, que a segmentam em camadas distintas, pode indicar a presença de camada adensada e/ou compactada de solo. Se identificadas, registre a profundidade de início da camada na Tabela 2.
6. Extrair da parede da trincheira, orientada perpendicularmente à linha de semeadura, um monólito de solo com estrutura preservada, medindo 5–8 cm de espessura, 10–15 cm de largura e 35 a 40 cm de profundidade, incluindo as raízes da planta presente nesta parede. Após a extração, manter o monólito sobre a lâmina da pá para ser analisado. Utilizar pá tipo jardineira para a extração (Figura 2).	6.1. A identificação de variações na resistência do solo ao toque com instrumento pontiagudo ao longo do monólito, que o segmentam em camadas distintas, pode indicar a presença de camada adensada e/ou compactada de solo. Se identificadas, registre as profundidades de início e fim de cada camada na Tabela 2. 6.2. A identificação de raízes da planta de soja deformadas, mal distribuídas e com variações bruscas ao longo do monólito, que o segmentam em camadas distintas, pode indicar a presença de camada adensada e/ou compactada de solo. Se identificadas, registre a profundidade de início da camada na Tabela 2.

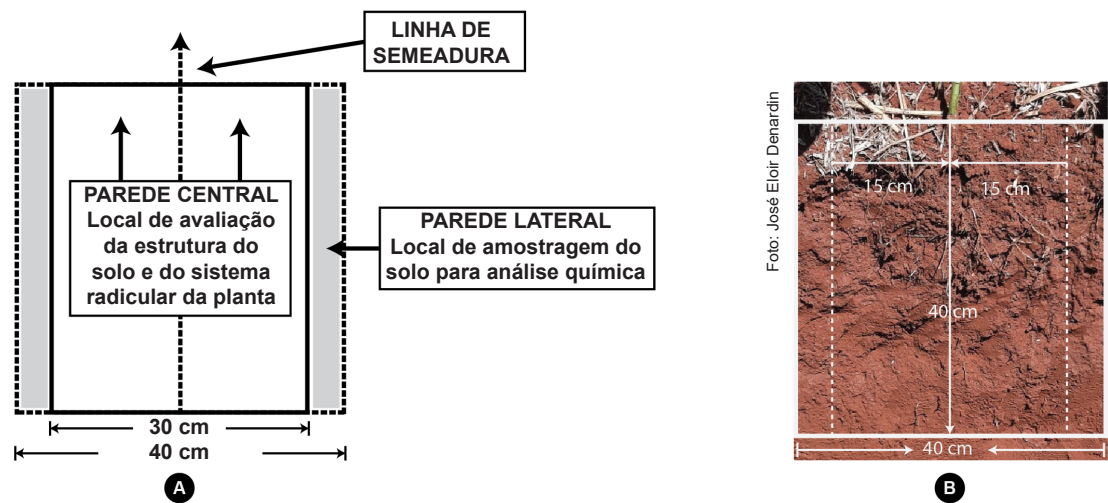


Figura 1. Croqui e imagem da trincheira, destacando a parede posicionada perpendicularmente à linha de semeadura de soja com presença da planta no centro da parede, para realizar os procedimentos analíticos dos indicadores físicos e químicos da fertilidade do solo, expondo, em (A), a vista de topo, destacando as bordas laterais, e em (B) a vista frontal, destacando a parede perpendicular à linha de semeadura.

Elaboradas por José Eloir Denardin (2024).



Figura 2. Monólito de solo mantido sobre a lâmina da pá, evidenciando agregados com diferentes formas e tamanhos.

Elaborada por José Eloir Denardin (2016).

Tabela 2. Formulário de registro das observações referentes ao diagnóstico dos Indicadores físicos da fertilidade do solo, em conformidade com o procedimento exposto na Tabela 1.

Ação	Observação/registro	Não	Sim	Limite da camada	
				Superior (cm)	Inferior (cm)
Histórico da gleba	Recorrência de sintomas de déficit hídrico na soja			X	X
Reconhecimento da gleba	Ocorrência de erosão			X	X
Abertura da trincheira	Variação na resistência do solo à operação				
Toaleta da trincheira	Variação na resistência do solo ao toque				
	Ocorrência de raízes deformadas e mal distribuídas				
Toaleta do monólito	Variação na resistência do solo ao toque				
	Ocorrência de raízes mal distribuídas				

também podem ser modulados pelos indicadores químicos da fertilidade, reforçando a necessidade de uma abordagem integrada. Consequentemente, além do procedimento voltado ao diagnóstico dos atributos físicos, é indispensável avaliar os indicadores químicos em subcamadas do perfil de 0–30 ou 0–40 cm de profundidade (Tabela 3). Diante do exposto, a aplicação do procedimento para diagnóstico dos indicadores físicos em uma

gleba permite a formulação de apenas dois cenários diagnósticos (Tabela 4):

Cenário 1A: indicadores físicos da fertilidade do solo sem limitação ao crescimento radicular das plantas – solo sem adensamento e/ou sem compactação; e

Cenário 2A: indicadores físicos da fertilidade do solo com limitação ao crescimento radicular das plantas – solo com adensamento e/ou compactação.

Tabela 3. Procedimento para diagnóstico dos indicadores químicos da fertilidade do solo.

Ação	Observação e registro
1. Regularizar uma das paredes laterais da trincheira, posicionada na entrelinha de semeadura (Figura 2), e limpar suas bordas superficiais.	1.1. Utilizar pás jardineira ou sete cravos para a regularização da parede da trincheira posicionada na entrelinha de semeadura. 1.2. Remover todo o material solto ou alterado da superfície do solo adjacente à parede da trincheira posicionada na entrelinha de semeadura.
2. Extrair da parede lateral da trincheira um monólito de solo com estrutura preservada, medindo cerca de 5 cm de espessura, 8 a 10 cm de largura e 40 cm de profundidade. Após a extração, manter o monólito apoiado sobre a lâmina da pá.	2.1. Utilizar pá jardineira para a extração do monólito de solo. 2.2. Segmentar o monólito de solo mantido sobre a lâmina da pá, em camadas de 0–10, 10–20 e 20–30, ou alternativamente de 0–10, 10–20, 20–30 e 30–40 cm, ou de 0–5, 5–10, 10–15, 15–20, 20–25, 25–30, 30–35 e 35–40 cm. 2.3. Coletar amostras de solo com 300–500 g. 2.4. Acondicionar e identificar cada amostra. 2.5. Remeter as amostras ao laboratório de solos para análise de rotina da fertilidade.
3. Realizar a amostragem de solo na gleba a ser diagnosticada, conforme recomendada no <i>Manual de calagem e adubação para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina</i> (Manual..., 2016), visando à definição das doses de fertilizantes.	3.1. Coletar uma amostra de solo composta por 10 a 20 subamostras, na camada de 0–20 cm. 3.2. Acondicionar e identificar a amostra. 3.3. Remeter a amostra ao laboratório de solos para análise de rotina da fertilidade.

Tabela 4. Cenários, diagnósticos e prognósticos da fertilidade do solo embasados em indicadores físicos e químicos do solo.

Diagnóstico	Cenário A Solo sem limitação química	Cenário B Solo com limitação química
Cenário 1 Solo sem limitação física	Cenário 1A Solo sem limitação física e sem limitação química	Cenário 1B Solo sem limitação física e com limitação química
Cenário 2 Solo com limitação física	Cenário 2A Solo com limitação física e sem limitação química	Cenário 2B Solo com limitação física e com limitação química

5. Procedimento para diagnosticar indicadores químicos da fertilidade do solo

A camada de solo utilizada como referência para a recomendação e a dosagem de fertilizantes, conforme definido no *Manual de Calagem e Adubação para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina* (Manual..., 2016), é denominada camada de referência ou camada diagnóstica. Para cultivos anuais conduzidos com mobilização do solo – como no preparo convencional – e para a adubação de correção da fertilidade antes da implementação efetiva do Sistema Plantio Direto, com incorporação de calcário e fertilizantes por meio de aração, essa camada corresponde à profundidade de 0–20 cm. Por outro lado, em áreas manejadas sob Sistema Plantio Direto consolidado, a camada de referência, destacada no referido manual, é reduzida para 0–10 cm, sendo recomendável o monitoramento da camada de 10–20 cm apenas de forma esporádica.

Ainda que inexistam dados estatísticos oficiais, é notório que a adoção do Sistema Plantio Direto permanece incipiente. Na prática, predomina o Plantio Direto sem a adubação de correção química do solo, especialmente associada à ausência de incorporação de calcário e fertilizantes na camada de 0–20 cm.

Essa falha técnica tem ocasionado não apenas a estratificação dos indicadores químicos da fertilidade, com acentuada concentração nos primeiros 0–5 ou 0–10 cm do perfil do solo (Amaral et al., 2024), mas também o adensamento estrutural, decorrente da eluviação de argila da camada superficial para a subsuperficial (Nunes et al., 2017, 2021) e do aporte reduzido de matéria orgânica proveniente das raízes à referida camada subsuperficial.

Diante desse cenário, qualquer decisão voltada à recuperação dos indicadores químicos da fertilidade exige o aprimoramento dos procedimentos de amostragem do solo. Recomenda-se substituir a prática de amostragem única na camada de 0–20 cm ou 0–10 cm, eventualmente complementada por uma coleta adicional entre 10–20 cm, por um protocolo de amostragem estratificada em múltiplas camadas, abrangendo o perfil de 0–30 ou 0–40 cm.

Essa abordagem visa: aprimorar a interpretação dos indicadores químicos da fertilidade do solo; identificar a distribuição vertical dos nutrientes; e

orientar intervenções agronômicas mais específicas e eficazes.

A Tabela 3 apresenta o procedimento específico para o diagnóstico dos indicadores químicos da fertilidade do solo, utilizando a mesma trincheira empregada na avaliação dos indicadores físicos. A metodologia busca identificar: a distribuição vertical dos indicadores químicos; o nível de suficiência ao longo do perfil de 0–20 cm; e a condição complementar até a profundidade de 30 ou 40 cm.

Essa evolução no processo de amostragem encontra justificativa técnica na necessidade de mitigar limitações químicas que podem restringir o crescimento radicular em profundidade – aspecto crítico em ambientes sujeitos à escassez hídrica sazonal, que é característica do clima subtropical predominante nos estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina (Alvares et al., 2013).

5.1. Interpretação do diagnóstico dos indicadores químicos da fertilidade do solo

Os níveis de suficiência de cada indicador químico da fertilidade do solo seguem os parâmetros estabelecidos no *Manual de calagem e adubação para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina* (Manual..., 2016), fundamentados em resultados analíticos obtidos a partir de amostras representativas da camada de 0–20 cm de profundidade. No entanto, a distribuição vertical desses indicadores dentro dessa camada de 0–20 cm pode ser classificada da seguinte forma:

Distribuição gradual ou homogênea: caracteriza-se pela ocorrência de indicadores químicos da fertilidade do solo em níveis suficientes ou insuficientes em todas as subcamadas do perfil de 0–20 cm; e

Distribuição estratificada ou heterogênea: caracteriza-se pela ocorrência de indicadores químicos em níveis suficientes em, ao menos, uma subcamada do perfil de 0–20 cm, e em níveis insuficientes nas demais subcamadas.

A análise detalhada da distribuição dos indicadores químicos da fertilidade do solo no perfil de 0–20 cm tem como objetivo diagnosticar a necessidade de correção da acidez e dos teores de fósforo e potássio, ou, alternativamente, a necessidade de homogeneização desses indicadores ao longo desta camada.

Quando constatada a necessidade de correção da acidez ou dos teores de fósforo e potássio, as doses dos respectivos corretivos devem ser definidas com base nos resultados analíticos da amostra

de solo coletada na camada de 0–20 cm (ver o Tópico 3 da Tabela 3), conforme as técnicas recomendadas no *Manual de calagem e adubação para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina* (Manual..., 2016).

As análises dos indicadores químicos da fertilidade do solo nas subcamadas de 20–30 cm ou 30–40 cm possuem caráter exclusivamente complementar, permitindo verificar a ocorrência ou não de processos de eluviação de partículas de calcário e/ou de fertilizantes, bem como de lixiviação de nutrientes para essas profundidades. Tal abordagem se justifica pela ausência de diretrizes técnicas consolidadas para o manejo da fertilidade do solo em camadas mais profundas do que 20 cm.

Diante do exposto, a aplicação do procedimento para diagnóstico dos indicadores químicos da fertilidade do solo em uma gleba homogênea permite a formulação de dois cenários distintos (Tabela 4):

Cenário 1B: indicadores químicos da fertilidade do solo em níveis suficientes ou insuficientes na camada de 0–20 cm, caracterizando ausência de estratificação de indicadores químicos da fertilidade do solo; e

Cenário 2B: indicadores químicos da fertilidade do solo em níveis insuficientes em, ao menos, uma das subcamadas do perfil de 0–20 cm, configurando presença de estratificação de indicadores químicos da fertilidade do solo com restrição ao desenvolvimento das plantas.

6. Interpretação dos diagnósticos dos indicadores físicos e químicos da fertilidade do solo

A análise dos indicadores físicos e químicos da fertilidade do solo – referentes ao grau de adensamento e/ou compactação, bem como à suficiência e à distribuição dos nutrientes na camada de 0–20 cm – permite classificar as glebas avaliadas em quatro cenários distintos (Tabela 4).

Cenário 1A: caracteriza-se pela ausência de limitações físicas e químicas dos indicadores da fertilidade do solo. Não se observa adensamento e/ou compactação do solo, e os nutrientes encontram-se em níveis suficientes e distribuídos de forma gradual ou homogênea ao longo do perfil de 0–20 cm.

Elementos potencialmente tóxicos estão ausentes ou presentes em concentrações toleráveis às plantas (Tabela 4).

Cenário 2A: caracteriza-se pela presença de limitações físicas – adensamento e/ou compactação do solo – e pela ausência de limitações químicas nos indicadores da fertilidade do solo. Os nutrientes encontram-se em níveis suficientes e distribuídos de forma gradual ou homogênea ao longo do perfil de 0–20 cm. Elementos potencialmente tóxicos estão ausentes ou presentes em concentrações toleráveis às plantas (Tabela 4).

Cenário 1B: caracteriza-se pela ausência de limitações físicas – adensamento e/ou compactação do solo – e pela presença de limitações químicas nos indicadores da fertilidade. Os nutrientes encontram-se em níveis insuficientes e/ou distribuídos de forma estratificada ou heterogênea ao longo do perfil de 0–20 cm. Elementos potencialmente tóxicos estão presentes em concentrações intoleráveis às plantas (Tabela 4).

Cenário 2B: caracteriza-se pela presença de limitações físicas e químicas nos indicadores da fertilidade do solo. Observa-se adensamento e/ou compactação do solo, e os nutrientes encontram-se em níveis insuficientes e/ou distribuídos de forma estratificada ou heterogênea ao longo do perfil de 0–20 cm. Elementos potencialmente tóxicos estão presentes em concentrações intoleráveis às plantas (Tabela 4).

7. Procedimentos para a correção dos indicadores físicos e químicos da fertilidade do solo

Cenário 1A: diante da ausência de limitações físicas ou químicas nos indicadores da fertilidade do solo, não se recomenda a adoção de medidas corretivas. A indicação, nesse caso, aponta para a continuidade das práticas atuais de manejo do solo e das culturas (Tabela 4).

Cenário 2A: diante da presença de limitações físicas – adensamento e/ou compactação do solo – e da ausência de limitações químicas nos indicadores da fertilidade do solo, recomendam-se exclusivamente medidas corretivas voltadas à melhoria das condições físicas do solo. A indicação é de mitigação do adensamento e/ou da compactação com

intervenções de natureza mecânica e vegetativa (Denardin et al., 2011; Nunes et al., 2015a, 2015b).

A época mais adequada para a realização dessas intervenções corresponde ao período imediatamente subsequente à colheita da safra de verão, isto é, ao final da estação de verão e início do outono. Em regiões caracterizadas por invernos de temperaturas mais amenas, tais intervenções podem ser conduzidas entre o final de julho e o início de agosto.

A técnica corretiva consiste na escarificação do solo, seguida de forma imediata pela semeadura de uma gramínea anual de verão. A escarificação deve ser executada com equipamento regulado para operar aproximadamente 5 cm abaixo do limite inferior da camada adensada e/ou compactada, conforme identificado na Tabela 1 e registrado na Tabela 2. De modo geral, esse limite inferior situa-se em torno de 20 cm de profundidade, implicando em uma profundidade operacional máxima próxima de 25 cm. Não há fundamento técnico que justifique a escarificação em profundidades superiores a esse valor (Denardin et al., 2011; Nunes et al., 2015a, 2015b).

O espaçamento entre as hastes do escarificador deve ser definido em função da profundidade operacional: para hastes com ponteiros de 6–8 cm de largura, o espaçamento recomendado é obtido pela multiplicação da profundidade operacional pelo fator 1,2. Não se recomenda o uso de escarificadores equipados com hastes desprovidas de ponteiros ou com ponteiros de largura inferior a 6 cm (Denardin et al., 2011).

A gramínea anual de verão indicada – capim-sudão ou outros sorgos, milheto e milho – deve ser semeada em alta densidade populacional e com o menor espaçamento possível entre linhas de semeadura. De modo geral, o espaçamento mínimo ofertado pelas semeadoras disponíveis no mercado é de 17 cm. Em situações específicas de natureza climática, quando as baixas temperaturas no período outonal limitam o desenvolvimento de gramíneas de verão, recomenda-se a substituição por cereais de inverno, seguindo as mesmas diretrizes técnicas de manejo recomendadas para as gramíneas anuais de verão.

A eficácia da medida corretiva está condicionada à execução da escarificação em condição de umidade correspondente ao ponto de friabilidade – estado em que o solo, ao ser mobilizado, fragmenta-se em pequenos agregados (Denardin et al., 2011). Nessa condição, a semeadora, regulada para espaçamento de 17 cm entre as linhas de deposição de sementes, apresenta potencial para atuar simultaneamente como grade niveladora.

Cenário 1B: diante da ausência de limitações físicas – adensamento e/ou compactação do solo – e da presença de limitações químicas nos indicadores da fertilidade de solo, recomendam-se exclusivamente medidas corretivas voltadas à melhoria das condições químicas do solo. A indicação aponta para a necessidade de correção da acidez e/ou dos teores de fósforo e potássio, mediante aplicação e incorporação dos respectivos corretivos no solo, ou pela homogeneização dos indicadores químicos da fertilidade na camada de 0–20 cm, por meio de aração com arado de discos (Plantio..., 1993).

Na condição em que os indicadores químicos da fertilidade de solo se apresentem em nível de insuficiência, a indicação consiste na adoção de adubação corretiva, conforme as recomendações técnicas estabelecidas no *Manual de calagem e adubação para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina* (Manual..., 2016). A aplicação dos corretivos, deve ser realizada com base nos resultados da análise de solo coletado na camada de 0–20 cm (Tópico 3 da Tabela 3).

Os corretivos devem ser aplicados por meio de mecanismo gravitacional – não por centrifugação – e, posteriormente, incorporados ao solo na camada de 0–20 cm, utilizando-se arado de discos com diâmetro mínimo de 26 polegadas, regulado para operar a, pelo menos, 25 cm de profundidade. Essa profundidade operacional assegura a adequada incorporação dos insumos na camada de 0–20 cm.

A época ideal para a realização dessas intervenções corresponde ao período imediatamente subsequente à colheita da safra de verão, ou seja, no final da estação do verão e início da estação do outono. Em regiões caracterizadas por invernos de temperaturas mais amenas, tais intervenções podem ser conduzidas entre o final de julho e o início de agosto.

Caso se opte por incorporar os corretivos em profundidades maiores do que 20 cm, as doses deverão ser ajustadas proporcionalmente ao aumento da profundidade de incorporação, pois as recomendações técnicas do *Manual de calagem e adubação para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina* (Manual..., 2016) são para a camada de referência de 20 cm de espessura.

Na condição em que os indicadores químicos da fertilidade de solo se apresentem estratificados ou heterogeneamente distribuídos na camada de 0–20 cm, o procedimento consiste na aração do solo, com arado de discos de diâmetro mínimo de 26 polegadas, regulado para operar à profundidade de, ao menos, 25 cm. O objetivo é promover distribuição gradual ou homogeneizar os indicadores químicos na camada de 0–20 cm. Essa operação é

considerada eficaz apenas quando duas condições ocorrem simultaneamente: a primeira é quando os indicadores químicos apresentam níveis suficientes apenas em uma das subcamadas do perfil de 0–20 cm; e a segunda é quando os indicadores químicos apresentam níveis suficientemente elevados para possibilitar sua diluição e redistribuição ao longo do perfil, resultando em níveis suficientes ao longo da camada de 0–20 cm após a incorporação.

A incorporação dos corretivos e a homogeneização dos indicadores químicos da fertilidade de solo no perfil mínimo até 20 cm de profundidade serão efetivas apenas quando realizadas com o solo na condição de umidade equivalente ao ponto de friabilidade – estado em que o solo, ao ser arado, se fragmenta em agregados pequenos.

Em ato imediato à incorporação dos corretivos ao solo, é exigida a semeadura de uma gramínea anual de verão – como capim-sudão ou outros sorgos, milheto e milho – em alta densidade populacional e com o menor espaçamento possível entre as linhas de semeadura. De modo geral, o menor espaçamento ofertado pelas semeadoras disponíveis no mercado é de 17 cm. Na condição da aração ser realizada em solo com umidade equivalente ao ponto de friabilidade, a semeadora, regulada para espaçamento de 17 cm entre as linhas de deposição de sementes, apresenta potencial para atuar simultaneamente como grade niveladora. Em caso específico de natureza climática, como a ocorrência de temperaturas baixas, que inviabilizem o cultivo de gramíneas anuais de verão como plantas de serviço em ato imediato à aração, indica-se o cultivo de cereais de inverno, seguindo as mesmas orientações técnicas relativas à alta densidade populacional e ao menor espaçamento possível entre linhas de semeadura.

Cenário 2B: diante da presença de limitações físicas – adensamento e/ou compactação do solo – e da presença de limitações químicas nos indicadores da fertilidade, recomendam-se medidas corretivas voltadas à melhoria das condições físicas e químicas do solo. O diagnóstico aponta para a necessidade de correção da acidez e/ou dos teores de fósforo e potássio, mediante aplicação e incorporação dos respectivos corretivos no solo, ou pela homogeneização dos indicadores químicos da fertilidade na camada de 0–20 cm, por meio de aração com arado de discos, operação que, concomitantemente, mitiga o adensamento e/ou a compactação do solo (Plantio..., 1993; Denardin et al., 2011).

A época ideal para a realização dessas intervenções corresponde ao período imediatamente subsequente à colheita da safra de verão, ou seja, no final

da estação do verão e início da estação do outono. Em regiões caracterizadas por invernos de temperaturas mais amenas, tais intervenções podem ser conduzidas entre o final de julho e o início de agosto.

Na condição em que os indicadores químicos da fertilidade de solo não se apresentem em nível de insuficiência, a indicação consiste na adoção de adubação corretiva, conforme as recomendações técnicas estabelecidas no *Manual de calagem e adubação para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina* (Manual..., 2016). A aplicação dos corretivos, deve ser realizada com base nos resultados da análise de solo coletado na camada de 0–20 cm (Tópico 3 da Tabela 4).

Os corretivos devem ser aplicados por meio de mecanismo gravitacional – não por centrifugação – e, posteriormente, incorporados ao solo na camada de 0–20 cm, utilizando-se arado de discos com diâmetro mínimo de 26 polegadas, regulado para operar, ao menos, até 25 cm de profundidade. Essa profundidade operacional assegura a adequada incorporação dos insumos na camada de 0–20 cm.

Caso se opte por incorporar os corretivos em profundidades maiores do que 20 cm, as doses recomendadas deverão ser ajustadas proporcionalmente ao aumento da profundidade de incorporação. Essa adaptação se justifica pelo fato de que as recomendações técnicas do *Manual de calagem e adubação para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina* (Manual..., 2016) são para a camada de referência de 20 cm de espessura.

Na condição em que os indicadores químicos da fertilidade de solo se apresentem estratificados ou heterogeneamente distribuídos na camada de 0–20 cm, o procedimento consiste na aração do solo, com arado de discos de diâmetro mínimo de 26 polegadas, regulado para operar à profundidade de, pelo menos, 25 cm. O objetivo é promover a distribuição gradual ou a homogeneização dos indicadores químicos na camada de 0–20 cm. Essa operação é considerada eficaz apenas quando duas condições ocorrem simultaneamente: a primeira é que os indicadores químicos apresentam níveis suficientes apenas em uma das subcamadas do perfil de 0–20 cm; e a segunda é que os indicadores químicos apresentam níveis suficientemente elevados para possibilitar sua diluição e redistribuição ao longo do perfil, resultando em níveis suficientes ao longo da camada de 0–20 cm após a incorporação.

A incorporação dos corretivos e a homogeneização dos indicadores químicos da fertilidade de solo no perfil mínimo até 20 cm de profundidade será efetiva apenas quando realizada com o solo

em condição de umidade equivalente ao ponto de friabilidade – estado em que o solo, ao ser arado, se fragmenta em agregados pequenos.

Nota: em determinadas situações, o adensamento e/ou a compactação do solo poderá exigir a escarificação prévia, antecedendo a aração destinada à incorporação e à homogeneização dos indicadores químicos de fertilidade na camada de 0–20 cm, favorecendo a eficiência do arado e prevenindo a formação de torrões de grandes dimensões.

Em ato imediato à incorporação dos corretivos ao solo, é exigida a semeadura de uma gramínea anual de verão – como capim-sudão ou outros sorgos, milheto e milho – em alta densidade populacional e com o menor espaçamento possível entre as linhas de semeadura. De modo geral, o menor espaçamento ofertado pelas semeadoras disponíveis no mercado é de 17 cm. Na condição da aração ser realizada em solo com umidade equivalente ao ponto de friabilidade, a semeadora, regulada para espaçamento de 17 cm entre as linhas de deposição de sementes, apresenta potencial para atuar simultaneamente como grade niveladora. Em caso específico de natureza climática, como a ocorrência de temperaturas baixas, que inviabilizem o cultivo de gramíneas anuais de verão como plantas de serviço em ato imediato à aração, indica-se o cultivo de cereais de inverno, seguindo as mesmas orientações técnicas relativas à alta densidade populacional e ao menor espaçamento possível entre linhas de semeadura.

8. Indicações para a manutenção da fertilidade do solo após correções físicas e químicas

Concluídas as ações voltadas à recuperação dos indicadores físicos e químicos da fertilidade do solo, têm início as práticas destinadas à manutenção da fertilidade do solo já corrigido. Essa etapa compreende:

- Manejo da diversificação de culturas;
- Manejo da correção da reacidificação do solo;
- Manejo da adubação de manutenção ou de reposição, aplicada às culturas produtoras de renda direta; e
- Manejo do monitoramento calendarizado dos indicadores físicos e químicos da fertilidade.

8.1. Diversificação de culturas

O primeiro passo consiste no planejamento do modelo de produção, isto é, na definição do arranjo temporal e espacial da diversidade de espécies a serem inseridas no sistema produtivo do estabelecimento rural. A diversificação de culturas caracteriza-se como prática agrícola que envolve o cultivo de diferentes famílias e espécies vegetais, com múltiplas finalidades e funções, integradas ao contexto do sistema de produção (Denardin et al., 2011).

A diversidade de espécies cultivadas pode ser organizada por meio de rotação, sucessão e consorciação de culturas, ou pela combinação desses processos no espaço e ao longo do tempo.

O objetivo central da estruturação do modelo de produção é intercalar às espécies geradoras de renda direta – como grãos, fibras, pastagens, feno e biomassa energética – aquelas que desempenham funções de suporte ao sistema, promovendo serviços específicos ou integrados, tais como: formação, manutenção e estabilização da estrutura do solo, cobertura vegetal, aporte e ciclagem de nutrientes, além do controle de fitopatógenos, insetos-praga e plantas daninhas, entre outros (Lal, 2025; Loganathan et al., 2020).

Assim como as espécies destinadas à geração de renda direta são selecionadas com base nas oportunidades de mercado e na rentabilidade que conferem ao sistema produtivo, as espécies de serviço devem ser escolhidas de acordo com a demanda funcional específica e sua aptidão para atendê-la.

No contexto do Sistema Plantio Direto, o serviço agronomicamente essencial, prioritário e indispensável é a formação, manutenção e estabilização da estrutura do solo (Denardin et al., 2012). A efetividade desse processo, precedido pela descompactação mecânica e correção química do solo, é assegurada pelo cultivo sistemático e calendarizado de plantas de serviço com capacidade funcional para cumprir essa finalidade.

Com base nas funções agrônômicas desejadas, a seleção das plantas de serviço a serem intercaladas às culturas destinadas à geração de renda direta, no contexto de sistemas agrícolas manejados sob o Sistema Plantio Direto, requer a consideração dos aspectos técnicos apresentados a seguir.

– **Características morfológicas da planta:** incluem a abundância e o tipo de sistema radicular; a relação carbono/nitrogênio (C/N); o volume e a natureza dos exsudatos radiculares liberados; e o teor de lignina presente nos tecidos das raízes.

BENEFÍCIOS ESPERADOS DAS PLANTAS DE SERVIÇO

– **Formação, manutenção e estabilização da estrutura granular do solo:** processo físico-biológico constituído pela associação da matéria orgânica às partículas minerais do solo, promovida por substâncias aglutinantes liberadas por plantas e organismos edáficos. No contexto do Sistema Plantio Direto, esse processo corresponde ao amanho do solo, ou seja, ao seu condicionamento para a produção vegetal sem mobilização mecânica.

– **Cobertura ou proteção física do solo:** processo promovido por espécies vegetais, que envolve a dissipação da energia cinética das gotas de chuva; a conservação da umidade pela redução da evaporação; a regulação térmica mediante a atenuação da amplitude das variações de temperatura; e o controle de plantas daninhas, dificultando sua emergência e estabelecimento.

– **Ciclagem de nutrientes:** processo biológico e bioquímico promovido por espécies vegetais, por meio do qual os nutrientes são mobilizados, absorvidos, translocados, redistribuídos e disponibilizados no solo em formas assimiláveis pelas plantas, contribuindo para sua reintegração ao sistema produtivo. Esse processo ocorre tanto pela extração de nutrientes das camadas mais profundas do solo quanto pela liberação de exsudatos radiculares e pela decomposição de resíduos vegetais.

– **Fixação biológica de nitrogênio:** processo microbiológico realizado por microrganismos simbióticos ou de vida livre, por meio do qual o nitrogênio atmosférico é convertido em formas assimiláveis pelas plantas. Essa função contribui diretamente para a nutrição vegetal e para a redução da dependência de fertilizantes nitrogenados sintéticos no sistema produtivo.

– **Controle de pragas:** função agrônoma desempenhada por espécies vegetais, fundamentada na estratégia de alternância ou consorciação de culturas, com o objetivo de reduzir a incidência de fitopatógenos, insetos-praga e plantas daninhas no ambiente agrícola.

– **Formação de cordões vegetados:** prática conservacionista constituída pelo cultivo de espécies herbáceas ou arbustivas, dispostas de forma linear e em contorno sobre áreas inclinadas, com o objetivo de reduzir a velocidade do escoamento superficial, favorecer a infiltração de água no solo e, conseqüentemente, mitigar os processos erosivos.

– **Propriedades decorrentes da interação planta-ambiente:** abrangem a taxa de mineralização da biomassa; a capacidade de promover a agregação e a estabilização da estrutura do solo; a taxa de liberação de nutrientes; e a concentração e a natureza dos nutrientes recicláveis.

– **Técnicas de cultivo requeridas:** envolvem a definição da época de cultivo; a disponibilidade de sementes; a acessibilidade às sementes; a densidade populacional e o espaçamento entre linhas de semeadura admissíveis; e o ciclo vegetativo, necessário para que a planta atinja o ápice da produção de biomassa aérea e radicular, ideal para intervenções de manejo, como a dessecação química ou a rolagem mecânica, de modo que se encaixe em uma janela de cultivo compatível com o calendário das culturas de renda direta.

Diante do exposto, o foco do cultivo de plantas de serviço é desenvolver e manter o solo com estrutura granular de consistência solta, em substituição à estruturação efêmera resultante do revolvimento mecânico, como a aração e a gradagem.

No contexto da heterogeneidade dos ambientes edafoclimáticos dos estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina, destacam-se como espécies aptas ao cumprimento dessas funções

e finalidades agrônomicas as gramíneas de verão – como capim-sudão ou outros sorgos, milheto e milho – cultivadas de forma calendarizada, ao menos uma vez a cada dois anos, preferencialmente após a colheita da safra de verão e antes do início da safra de inverno, ou entre o final de julho e o início de agosto, nas regiões em que o regime térmico possibilite o desenvolvimento dessas espécies.

Em situações específicas de natureza climática, como a ocorrência de temperaturas baixas que inviabilizem o cultivo de gramíneas anuais de verão como plantas de serviço nessas épocas, recomenda-se o cultivo de cereais de inverno, seguindo as mesmas orientações técnicas relativas à alta densidade populacional e ao menor espaçamento possível entre linhas de semeadura.

A braquiária (*Brachiaria ruziziensis*), quando utilizada como planta de serviço com a finalidade de promover a formação, manutenção e estabilização da estrutura do solo sob as condições edafoclimáticas dos estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina, pode ser consorciada à cultura do milho, mediante semeadura realizada nas entrelinhas.

8.2. Correção da reacidação do solo

A calagem, destinada à correção da reacidação do solo, deve seguir rigorosamente as recomendações técnicas estabelecidas no *Manual de Calagem e Adubação para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina* (Manual..., 2016). Assim, uma nova aplicação de calcário, após a correção realizada conforme esse procedimento, somente será indicada quando a análise de amostras coletadas na camada de 0–10 cm revelar pH inferior a 5,5, saturação por bases abaixo de 65% e saturação por alumínio superior a 10% (Manual..., 2016).

Quando houver necessidade de nova calagem, a dose de calcário deverá corresponder, no máximo, a $\frac{1}{4}$ da quantidade recomendada pelo Índice SMP para elevar o pH do solo a 6,0. A aplicação deve ser realizada por meio de mecanismo gravitacional – e não por centrifugação –, dispensando a incorporação do corretivo ao solo (Manual..., 2016).

Essa recomendação fundamenta-se no princípio de que, em sistemas sem revolvimento – como o Sistema Plantio Direto –, a reacidação do solo ocorre predominantemente a partir da superfície (Wiethölter, 2011).

8.3. Adubação de manutenção ou de reposição

A adubação de manutenção ou reposição, de modo semelhante à calagem para correção da reacidação do solo, deve seguir rigorosamente as recomendações técnicas estabelecidas no *Manual de Calagem e Adubação para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina* (Manual..., 2016). O propósito é manter os indicadores químicos da fertilidade do solo na faixa ‘Alta’ ou de ‘suficiência’ – considerada a mais adequada para assegurar a disponibilidade de nutrientes ao pleno desenvolvimento das plantas.

Para garantir a permanência nessa faixa, as doses de fertilizantes recomendadas devem ser equivalentes à reposição dos nutrientes exportados pelos produtos agrícolas (grãos, fibras, pastagens, feno, biomassa energética etc.), acrescidas de uma fração adicional destinada a compensar perdas inerentes ao sistema, como aquelas decorrentes da adsorção por coloides e da erosão.

No contexto do Sistema Plantio Direto, em que a mobilização do solo é significativamente reduzida, a retenção de nutrientes na superfície dos coloides argilominerais e dos óxidos de ferro e alumínio

torna-se tecnicamente desprezível (Pereira, 2009). Além disso, a adoção de práticas conservacionistas complementares – como a semeadura em contorno e o terraceamento agrícola – reduz substancialmente o escoamento superficial, tornando-o difuso, de baixa energia cinética e praticamente inócuo no transporte de partículas e nutrientes. Dessa forma, as perdas por erosão podem ser drasticamente minimizadas ou até mesmo praticamente eliminadas.

Como consequência do manejo aplicado à adubação de manutenção ou reposição em culturas de interesse econômico direto, observa-se o acúmulo gradual de nutrientes na camada superficial do solo (0–20 cm), resultante da reposição sistemática dos elementos exportados pelas colheitas e da mitigação das perdas por fixação e erosão (Wiethölter, 2011). Essa dinâmica permite a reavaliação das recomendações de adubação, com a exclusão progressiva das frações anteriormente destinadas à compensação da fixação de nutrientes nos coloides do solo e das perdas associadas à erosão hídrica.

Esse diagnóstico técnico reforça a necessidade de monitoramento contínuo da fertilidade por meio de análises químicas periódicas, que subsidiam decisões agronômicas mais precisas, evitam desequilíbrios nutricionais e promovem a sustentabilidade do sistema produtivo.

8.4. Monitoramento calendarizado dos indicadores físicos e químicos da fertilidade do solo

A agricultura, sob o significado linguístico da palavra, é definida como *a arte milenar de cultivar plantas e criar animais na forma que o clima e o solo possibilitem* – não se trata de uma prática em si, mas do campo em que práticas são aplicadas. Enquanto campo de aplicação de práticas produtivas, exercido de modo ininterrupto por milhares de anos e, certamente, assim continuará indefinidamente, a agricultura é sustentável por suas características intrínsecas: manteve-se, mantém-se e manter-se-á ao longo do tempo como espaço de transformação de recursos naturais em bens úteis. Entretanto, a agricultura nem sempre apresenta caráter de sustentabilidade – entendido como a capacidade de gerar impactos positivos nos âmbitos econômico, ambiental e social. A sustentabilidade da agricultura depende do comportamento das práticas aplicadas diante dos condicionantes de clima e solo. Infere-se, portanto, que a agricultura é sustentável por definição, mas o caráter de sustentabilidade emerge da manifestação das práticas nela aplicadas.

Do exposto, o monitoramento dos indicadores físicos e químicos da fertilidade do solo constitui um procedimento diagnóstico da forma como as práticas agrícolas estão sendo manejadas ou aplicadas. Nesse contexto, os procedimentos técnicos e analíticos aqui descritos e sistematizados – referentes à coleta, preparo e análise de amostras de solo, bem como à interpretação dos resultados – têm como objetivo subsidiar a adoção criteriosa do Sistema Plantio Direto.

Esses procedimentos devem ser reaplicados, ao menos, uma vez a cada três anos, contemplando o perfil do solo até, pelo menos, 30 a 40 cm de profundidade, assegurando, assim, a manutenção da produtividade e da rentabilidade da matriz produtiva de grãos, integrada ou não à produção de forragens, nos estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina.

Referências

- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. de M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.
- AMARAL, A. J. do; DENARDIN, J. E.; SANTI, A.; GIONGO, V.; HENNINGEN, F. J. Diagnóstico físico e químico do solo em lavouras sob sistema plantio direto no Planalto Serrano de Santa Catarina e nos Campos de Cima da Serra do Rio Grande do Sul. **Agropecuária Catarinense**, v. 37, n. 2, p. 38-44, 2024.
- DENARDIN, J. E.; FAGANELLO, A.; DENARDIN, N. D. Pilar 2: conservação do solo: gestão da água no sistema plantio direto. In: BÜNDCHEN, V. R. (org.). **Projeto água limpa: uma mudança de cultura**. Porto Alegre: Critério: Safe Web, 2014. p. 212-236. Disponível em: <http://www.baas.com.br>. Acesso em: 4 out. 2025.
- DENARDIN, J. E.; KOCHHANN, R. A.; FAGANELLO, A.; SANTI, A.; DENARDIN, N. D'A.; WIETHÖLTER, S. **Diretrizes do sistema plantio direto no contexto da agricultura conservacionista**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2012. 15 p. (Embrapa Trigo. Documentos Online, 141). Disponível em: http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/do/p_do141.htm. Acesso em: 7 nov. 2025.
- DENARDIN, J. E.; KOCHHANN, R. A.; SILVA JUNIOR, J. P. da; WIETHÖLTER, S.; FAGANELLO, A.; SATTLER, A.; SANTI, A. Sistema plantio direto: evolução e implementação. In: PIRES, J. L. F.; VARGAS, L.; CUNHA, G. R. da (ed.). **Trigo no Brasil: bases para produção competitiva e sustentável**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2011. p. 185-215.
- LAL, R. Soil organic matter: the heart of soil health. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 80, n. 4, p. 320-326, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1080/00224561.2025.2572280>.
- LOGANATHAN, N.; FERGUSON, B. O.; AREY, B.; ARGERSINGER, H. E.; BOWERS, G. M. A mechanistic exploration of natural organic matter aggregation and surface complexation in smectite mesopores. **The Journal of Physical Chemistry A**, v. 124, n. 47, p. 9832-9843, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.jpca.0c08244>.
- 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, Comissão de Química e Fertilidade do Solo – RS/SC, 2016. 376 p. Disponível em: [https://www.sbcs-nrs.org.br/docs/Manual de Calagem e Adubação para os Estados do RS e de SC-2016.pdf](https://www.sbcs-nrs.org.br/docs/Manual%20de%20Calagem%20e%20Adubacao%20para%20os%20Estados%20do%20RS%20e%20de%20SC-2016.pdf). Acesso em: 23 out. 2025.
- NUNES, M. R.; DENARDIN, J. E.; PAULETTO, E. A.; FAGANELLO, A.; PINTO, L. F. S. Effect of soil chiseling on soil structure and root growth for a clayey soil under no-tillage. **Geoderma**, v. 259-260, p. 149-155, Dec. 2015a.
- NUNES, M. R.; DENARDIN, J. E.; PAULETTO, E. A.; FAGANELLO, A.; PINTO, L. F. S. Mitigation of clayey soil compaction managed under no-tillage. **Soil and Tillage Research**, v. 148, p. 119-126, May 2015b.
- NUNES, M. R.; VAZ, C. M. P.; DENARDIN, J. E.; VAN ES, H. M.; LIBARDI, P. L.; SILVA, A. P. da. Physicochemical and structural properties of an oxisol under the addition of straw and lime. **Soil Science Society of America Journal**, v. 81, n. 6, p. 1328-1339, Nov./Dec. 2017.
- NUNES, M. R.; VAZ, C. M. P.; PESSOA, T. N.; DENARDIN, J. E.; KARLEN, D. L.; GIAROLA, N. F. B.; LIBARDI, P. L. Inherent and dynamic effects on the structural stability of Brazilian Oxisols. **Geoderma Regional**, v. 27, e00426, Dec. 2021.
- PEREIRA, H. S. Fósforo e potássio exigem manejos diferenciados. **Visão Agrícola**, v. 9, p. 43-46, jul./dez. 2009. Disponível em: <https://www.esalq.usp.br/visaoagricola/sites/default/files/VA9-Fertilidade04.pdf>. Acesso em: 20 out. 2025.
- PLANTIO direto no Brasil. Passo Fundo: Aldeia Norte, 1993. 166 p.
- REICHERT, J. M.; ROSA, V. T. da; VOGELMANN, E. S.; ROSA, D. P. da; HORN, R.; REINERT, D. J.; SATTLER, A.; DENARDIN, J. E. Conceptual framework for capacity and intensity physical soil properties affected by short and long-term (14 years) continuous no-tillage and controlled traffic. **Soil and Tillage Research**, v. 158, p. 123-136, May 2016.
- WIETHÖLTER, S. Fertilidade do solo e a cultura do trigo no Brasil. In: PIRES, J. L. F.; VARGAS, L.; CUNHA, G. R. da (ed.). **Trigo no Brasil: bases para produção competitiva e sustentável**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2011. p. 135-184.

