

Índice de Qualidade do Manejo Conservacionista do Solo (IQMCS) em Áreas Agrícolas

André Julio do Amaral¹, José Eloir Denardin¹, Vanderlise Giongo¹, Anderson Santi¹, Álvaro Augusto Dossa² e Fabrício Jardim Hennigen³

Resumo – Este trabalho objetivou qualificar o manejo conservacionista do solo em lavouras sob sistema plantio direto, por meio da adaptação de um índice. O estudo foi conduzido a campo, em 12 talhões agrícolas em Latossolos, Nitossolos e Cambissolos com caráter aluminico. O solo foi coletado em minitrincheiras nas camadas de 0-10cm e 10-20cm, em triplicata. Foram analisados a reação do solo (pH-H₂O), os teores de fósforo (P) e potássio (K) trocáveis e a espessura da camada com estrutura granular. Além disso foram levantadas informações qualitativas relacionadas à diversificação de culturas, à conservação do solo e água e ao uso rentável da terra. O índice de qualidade do manejo conservacionista do solo (IQMCS) foi obtido pela soma de cinco subíndices, em cada talhão agrícola, ponderado e multiplicado pelos seus respectivos pesos e classificado em quatro faixas: A, B, C e D, com notas variando de 0 a 10. O IQMCS predominante foi a faixa D com notas <7,00, ocorrendo em 75% das áreas; 17% das áreas na faixa C com notas de 7 a 7,99; 8% das áreas na faixa B, com notas de 8 a 8,99. Não foram encontrados talhões na faixa A. Isso indica que existe a necessidade de aprimoramento dos modelos de produção com destaque para o manejo do solo.

Termos de indexação: Fertilidade do solo; Conservação do solo e água; Compactação; Adensamento; Diversificação de culturas.

Index of Soil Quality to do Conservation Management (ISQCM) in Agricultural Areas

Abstract – This paper aimed to qualify soil conservation management in crops under a no-tillage system, using an index. The study was carried out in the field, in 12 agricultural plots in Oxisols, Nitossols and Cambisols with an aluminium character. The soil was collected in mini-trenches in layers of 0-10 cm and 10-20 cm, in triplicate. The soil reaction (pH-H₂O), the exchangeable phosphorus (P) and potassium (K) contents and the thickness of the layer with the granular structure were analysed. Furthermore, qualitative information on crop diversification and soil and water conservation was collected. The ISQCM was obtained by the sum of five sub-indexes, in each agricultural plot, weighted and multiplied by their respective weights and classified into four ranges: A, B, C and D, with scores ranging from 0 to 10. The highest IQMCS was range D with scores <7.00, occurring in 75% of the areas; 17% of areas in range C with grades from 7 to 7.99; 8% of areas in range B. No plots were found in range A. This indicates a need to improve production models with an emphasis on soil management.

Index terms: Soil fertility; Soil and water conservation; Compaction; Densification; Crop diversification.

Introdução

Estima-se que no Brasil 33,06 milhões de hectares destinados à produção de grãos são manejados sob os pilares do sistema plantio direto (SPD) (Fuentes-Llanillo *et al.*, 2021).

A diversificação de culturas (Hernani, Denardin, 2012; Debiasi *et al.*, 2022), o controle de custos (Telles *et al.*, 2020), a manutenção em níveis adequados dos indicadores químicos da fertilidade do solo (Bellinaso *et al.*, 2021; Amaral

et al., 2024), o aporte contínuo de matéria orgânica ao solo com frequência e qualidade requerida pelo solo em sua ambiência (Hernani, Denardin, 2012) e a qualidade estrutural do solo (Ralisch *et al.*, 2017; Nunes *et al.*, 2019; Tormena *et al.*, 2023) devem estar associados a outras práticas de conservação do solo complementares, como o cultivo em contorno e o uso de terraços agrícolas (Hernani, Denardin, 2012; Hörbe *et al.*, 2021; Back *et al.*, 2022, Debiasi *et al.*, 2022). Estas práticas em conjunto são

fundamentais para garantir sustentabilidade aos modelos de produção agrícola que adotam o SPD no Brasil.

No entanto, como os agricultores acreditavam que os processos de erosão seriam totalmente controlados em áreas de SPD, muitos deles eliminaram todos ou parte dos terraços agrícolas e abandonaram o cultivo em contorno, o que resultou em SPD de baixa qualidade (Hernani, Denardin, 2012). Diante disso, ferramentas para avaliar a qualidade do manejo conservacionista em

Recebido em 14/11/2024. Aceito para publicação em 16/01/2025.

Editora de seção: Marlise Nara Ciotta/ Epagri

¹ Eng.-agr., Pesquisador da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa Trigo. Rodovia BR 285, km 294 Caixa Postal 308199050-970, Passo Fundo, RS. E-mail: andre.amaral@embrapa.br; jose.denardin@embrapa.br; vanderlise.giongo@embrapa.br; anderson.santi@embrapa.br

² Administrador, Analista da Embrapa Trigo. E-mail: alvaro.dossa@embrapa.br

³ Eng.-agr., Gerente de Assistência Técnica da Cooperativa Regional Agropecuária de Campos Novos – Copercampos. Rodovia BR 282 - Km 342 - Nº 23, Bairro Boa Vista - Caixa Postal 161 CEP 89620-000, Campos Novos, SC. E-mail: fabricio.hennigen@copercampos.com.br

DOI: <https://doi.org/10.52945/rac.v38i1.1952>

áreas sob SPD vêm sendo desenvolvidas, aprimoradas e avaliadas (Roloff *et al.*, 2011; Martins *et al.*, 2018; Telles *et al.*, 2020). Em geral, os índices consistem num questionário diagnóstico cujas respostas geram notas para diferentes temas relativos aos princípios do SPD e de boas práticas conservacionistas que qualificam o manejo em talhões agrícolas sob SPD – atualmente este índice para as condições paranaenses já está na sua segunda versão (IQP2). Telles *et al.* (2020) encontraram a necessidade de revisão nos indicadores intensidade da rotação de culturas e conservação de solo e água, pois eles têm apresentado baixa correlação com o IQP2 nas condições edafoclimáticas paranaenses. Portanto, considera-se oportuno adaptar e aprimorar as ferramentas relacionadas à gestão de solo e água, por meio de índices de qualidade do manejo conservacionista do solo, para as condições edafoclimáticas das regiões de clima subtropical no Brasil.

O objetivo deste estudo foi qualificar o manejo conservacionista do solo em lavouras sob sistema plantio direto por meio da adaptação e proposição de novos indicadores para obter um índice de qualidade do manejo conservacionista do solo (IQMCS) composto por cinco subíndices e 13 indicadores visando ao desenvolvimento de estratégias para monitorar e aprimorar o manejo do solo em áreas agrícolas.

Material e métodos

Este estudo foi implementado em 12 talhões de lavouras no Planalto de Santa Catarina e nos Campos de Cima da Serra do Rio Grande do Sul, pertencentes a produtores rurais associados à Cooperativa Regional Agropecuária de Campos Novos (Copercampos) e distribuídos em quatro polos de produção por ela estabelecidos (Tabela 1).

A classificação climática, conforme Köppen, é do tipo clima mesotérmico úmido com verão fresco (Cfb), com temperaturas média mínima de 13°C, média máxima de 23°C e média anual de 18°C. A precipitação anual é de 1.600mm a 1.920mm, sem estação seca definida (Wrege *et al.*, 2012).

Os 12 talhões foram caracterizados,

conforme Santos *et al.* (2018), quanto: à classificação taxonômica dos solos até o quarto nível categórico; ao manejo de solo; ao relevo; à altitude; à profundidade do solo; ao teor de argila; à classe textural; à CTC_{pH7,0}; e ao teor de matéria orgânica (Tabela 1).

Foram estabelecidos cenários diagnósticos nos talhões quanto à presença de limitações físicas ou químicas na camada superficial do solo, conforme indicações na Tabela 2.

Ao final do ciclo da cultura da soja, ocorrido nos meses de março e abril de 2023, foi realizada a amostragem em cada um dos 12 talhões em três pontos: terço superior, terço médio e terço inferior da topossequência, totalizando 36 pontos de coleta. Em cada um dos pontos georreferenciados foram abertas minitrincheiras com as dimensões de 50cm x 50cm x 50cm (Spera *et al.*, 2018). As amostras de solo foram coletadas diretamente sobre monólitos de solo extraídos das paredes das minitrincheiras com o auxílio de pá-de-corte e enviadas ao laboratório para análises químicas, conforme Teixeira *et al.* (2017).

O índice de qualidade do manejo conservacionista do solo (IQMCS) é composto por cinco subíndices e 13 indicadores, listados a seguir:

- 1) Subíndice de diversificação de culturas (DIV): avaliado pelos indicadores de intensidade da diversificação (ID), presença de gramínea de verão (PGV) e presença de gramínea de inverno (PGI);
- 2) Subíndice uso rentável da terra (URT): avaliado pelos indicadores de histórico de controle de custos (HCC) e de culturas geradoras de renda no inverno (CRI);
- 3) Subíndice conservação do solo e da água (CSA): avaliado pelos indicadores de semeadura em contorno (SC), terraços agrícolas (TA), compactação do solo (CS) e frequência de erosão em sulcos (FE);
- 4) Subíndice química da fertilidade do solo (QFS): avaliado pelo indicador pH-H₂O, teor de fósforo (P) e de potássio (K) nas camadas de 0-10cm e 10-20cm do solo;
- 5) Subíndice qualidade estrutural do solo (QES): avaliado pelo indicador espessura da camada superficial do solo com estrutura em grumos (ECSS) e teor de MO na camada de 0-20cm do solo.

Cada subíndice tem valor crítico e peso ou fator de ponderação. Os valores considerados críticos podem ser usados

para priorizar e direcionar as ações corretivas e devem ser reavaliados periodicamente.

Na sequência, é apresentada a descrição dos subíndices e de seus indicadores que compõem o IQMCS, adaptado de Telles *et al.* (2020), com a proposição de novos indicadores. As fórmulas para o cálculo dos valores de cada subíndice e de cada indicador, bem como a indicação dos valores críticos e máximo (Tabelas 3 a 8).

Fatores de ponderação ou pesos relativizam a importância de cada subíndice. Os indicadores e seus respectivos fatores de ponderação e valores crítico e máximo para cada subíndice são expostos na tabela 8.

Verifica-se na Tabela 8 que 30% do peso de ponderação refere-se ao subíndice de diversificação de cultura (DIV), 30% refere-se ao subíndice de conservação do solo e da água (CSA), 20% refere-se ao subíndice de química da fertilidade do solo (QFS), 10% refere-se ao subíndice de uso rentável da terra (URT) e 10% refere-se ao subíndice de qualidade estrutural do solo (QES).

O índice de qualidade do manejo conservacionista do solo (IQMCS) é obtido, simplesmente, pelo somatório dos valores obtidos para cada subíndice, ou seja:

$$\text{IQMCS} = \text{DIV} + \text{URT} + \text{CSA} + \text{QFS} + \text{QES}$$

A escala de classificação das glebas de lavoura mediante a aplicação do IQMCS considera as seguintes faixas de qualidade: Faixa A: IQMCS igual ou superior a 9,0, sem indicador abaixo do nível crítico; Faixa B: IQMCS de 8,0 a 8,99, com permissividade para apenas um indicador abaixo do nível crítico; FAIXA C: IQMCS de 7,0 a 7,99, com permissividade para até dois indicadores abaixo do nível crítico; Faixa D - < 7,0: necessita de correções e ajustes para ingressar e acessar os benefícios de possível programa de fomento a melhoria da qualidade do manejo conservacionista do solo. Os dados foram analisados com base na estatística descritiva. O coeficiente de variação (CV) de cada subíndice foi classificado de acordo com Gomes (2009), em: baixo CV < que 10%, médio CV entre 10% a 20%, alto CV entre 20% a 30% e muito alto CV > que 30%.

Tabela 1. Caracterização dos talhões agrícolas estudados com o objetivo de diagnosticar a fertilidade de solos manejados sob sistema planto direto e culturas utilizadas nas safras 2020/2021; 2021/2022 e 2022/2023 no Planalto de Santa Catarina e nos Campos de Cima da Serra do Rio Grande do Sul

Table 1. Characterization of plots in order to diagnose soil fertility under no tillage and crops used in the 2020/2021; 2021/2022 and 2022/2023 in the Santa Catarina and Rio Grande do Sul highlands

Polo de produção	Talhão	Município/UF	Tipo Solo	⁴Manejo do solo	Declividade (%)	Altitude do talhão (m)	Profundidade do solo (cm)	¹Teor de Argila (g kg⁻¹)	¹,²Classe textural	¹,³CTC _{pH7,0} (cmol _c dm⁻³)	¹MO (%)
I	1	Barracão/RS	Latossolo Vermelho aluminico típico	S/T; S/Avbr; S/T	4	780	>250	510	2	21	3,4
	2	Barracão/RS	Latossolo Vermelho aluminico típico	S/Avpr; S/Avpr; S/Avpr.	3	830	>250	610	2	16	3,8
	3	São José do Ouro/RS	Latossolo Vermelho aluminico típico	S/Avpr; S/Avbr; S/T	9	785	>250	500	2	14	3,4
II	4	Zortéa/SC	Cambissolo Hápico aluminico típico	S/Avpr; S/T; S/Avpr	9	792	60 a 150	570	2	22	3,6
	5	Campos Novos/SC	Nitossolo Vermelho aluminico típico	S/Avpr; S/Avbr; S/T	6	857	>150	580	2	13	3,6
	6	Campos Novos/SC	Latossolo Bruno aluminico típico	S/Avpr; S/er+Av; Mi/Milt/T	7	838	>150	430	2	15	3,7
III	7	Brunópolis/SC	Latossolo Bruno aluminico típico	S/Avuc; S/Avuc; S/avuc	10	900	>150	480	2	27	3,6
	8	Brunópolis/SC	Latossolo Bruno aluminico típico	Mi/avuc; S/avuc; S/avuc	5	860	>150	530	2	19	3,5
	9	Curitibanos/SC	Nitossolo Bruno aluminico húmico	S/avuc; S/avuc; Mi/avpr+er+nab	5	930	>150	420	2	25	4,3
IV	10	Cerro Negro/SC	Cambissolo Húmico aluminico léptico	S/Av+Az; S/Av+Az; S/Av+Az	7	1016	60 a 150	510	2	22	4,3
	11	Cerro Negro/SC	Cambissolo Hápico aluminico léptico	S/avpr; S/avpr; S/avpr	8	1003	60 a 150	600	2	19	3,2
	12	Campo Belo do Sul/SC	Nitossolo Vermelho aluminico	S/er; Mi/avpr; S/er	6	834	>150	630	1	16	4,4

¹Valores médios da camada de 0-20 cm do solo; ²Teores de argila: classe 1 > 600g kg⁻¹, nível crítico para fósforo = 9 mg dm⁻³; classe 2 = 600 a 410g kg⁻¹, nível crítico para fósforo = 12mg dm⁻³; classe 3 = 400 a 210g kg⁻¹, nível crítico para fósforo = 18mg dm⁻³; classe 4 ≤ 200g kg⁻¹, nível crítico para fósforo = 30mg dm⁻³. ³Nível crítico para K no solo = 60mg dm⁻³ para CTC_{pH7.0} ≤ 7,5cmol_c dm⁻³; Nível crítico para K no solo = 90mg dm⁻³ para CTC_{pH7.0} 7,6 a 15cmol_c dm⁻³; Nível crítico para K no solo = 120mg dm⁻³ para CTC_{pH7.0} 15,1 a 30cmol_c dm⁻³; e Nível crítico para K no solo = 135mg dm⁻³ para CTC_{pH7.0} >30 cmol_c dm⁻³. Critérios estabelecidos conforme Manual de calagem e adubação para os estados do RS e SC (SBCS, 2016); ⁴S=Soja; Avbr= aveia-branca; T= trigo; Avpr=Aveia-preta; er= ervilhaca; Mi= milho; MilT= milho; avucr= aveia ucraniana; Av+A=aveia + azevém (pastejo). ⁵Average values of the 0-20 cm soil layer; ²Clay content: class 1 > 600 g kg⁻¹, critical level for phosphorus = 9 mg dm⁻³; class 2 = 600 to 410 g kg⁻¹, critical level for phosphorus = 12 mg dm⁻³; class 3 = 400 to 210 g kg⁻¹, critical level for phosphorus = 18 mg dm⁻³; class 4 ≤ 200 g kg⁻¹, critical level for phosphorus = 30 mg dm⁻³. ³Critical level for K in the soil = 60 mg dm⁻³ for CTCpH 7.0 ≤ 7.5 cmol_c dm⁻³; Critical level for K in soil = 90 mg dm⁻³ for CTCpH 7.0 7.6 to 15 cmol_c dm⁻³; Critical level for K in the soil = 120 mg dm⁻³ for CTCpH 7.0 15.1 to 30 cmol_c dm⁻³; Critical level for K in the soil = 135 mg dm⁻³ for CTCpH 7.0 ≥ 30 cmol_c dm⁻³. Criteria established according to the Liming and Fertilization Manual for the states of RS and SC (SBCS, 2016); ⁴S=Soybean; Avbr=white oats; T=wheat; Avpr=black oats; er=vetch; Mi=corn; MilT=pearl millet; avucr=Ukrainian oats; Av+A=oats + ryegrass (grazing)

Tabela 2. Cenários resultantes da associação dos diagnósticos dos indicadores físicos e químicos da fertilidade de solos manejados sob o sistema plantio direto, na camada de 0-20cm de profundidade

Table 2. Scenarios resulting from the association of diagnoses of physical and chemical indicators of soil fertility managed under the no-tillage system, in the 0-20cm depth layer

CENÁRIO	A – Sem limitação química**	B – Com limitação química
1 – Sem limitação física*	CENÁRIO 1A Sem adensamento/compactação de solo Sem limitações de indicadores químicos da fertilidade do solo	CENÁRIO 1B Sem adensamento/compactação de solo Com limitações de indicadores químicos da fertilidade do solo
2 – Com limitação física	CENÁRIO 2A Com adensamento/compactação de solo Sem limitações de indicadores químicos da fertilidade do solo	CENÁRIO 2B Com adensamento/compactação de solo Com limitações de indicadores químicos da fertilidade do solo

*Indicadores físicos: granulometria, densidade do solo, densidade do solo crítica, resistência mecânica à penetração (teor de água na capacidade de campo), porosidade do solo, morfologia de raízes, estrutura do solo, nas camadas de 0-10cm e 10-20cm;

**Indicadores químicos: pH-H₂O, Al⁺⁺⁺, P, K, MO e V%, nas camadas de 0-10cm e 10-20cm

*Physical indicators: granulometry, soil density, critical soil density, mechanical resistance to penetration (water content at field capacity), soil porosity, root morphology, soil structure, in the 0-10cm and 10-20cm layers;

**Chemical indicators: pH-H₂O, Al⁺⁺⁺, P, K, MO and V%, in the 0-10cm and 10-20cm layers

Tabela 3. Composição e cálculo dos valores crítico e máximo do subíndice diversificação de culturas (DIV), avaliado pelos indicadores intensidade da diversificação (ID), presença de gramínea de verão (PGV) e presença de gramínea de inverno (PGI), para um período de três anos

Table 3. Composition, critical and maximum values to crop diversification subindex (DIV), assessed by indicators diversification intensity (ID), summer grass (PGV) and winter grass (PGI) presence, each three years

Indicador	Dado de entrada	Unidade de medida	Índice máximo	Fórmula	Valor	
					Crítico	Máximo
Intensidade da diversificação (ID)	Número de meses com solo coberto com plantas vivas em três anos, excetuando pousio e plantas espontâneas (NM)	Número de meses (NM)	36			
Presença de gramínea de verão (PGV)	Número de cultivos com gramíneas de verão em três anos (GV)	Número de cultivos (GV)	1	DIV = NM/36 + GV + GI/3	2,5	3
Presença de gramínea de inverno (PGI)	Número de cultivos com gramíneas de inverno em três anos (GI)	Número de cultivos (GI)	3			

Fonte: adaptado de Telles et al., (2020)

Tabela 4. Composição e cálculo dos valores crítico e máximo do subíndice uso rentável da terra (URT), avaliado pelos indicadores de histórico de controle de custos (HCC) e culturas geradoras de renda no inverno (CRI), para um período de três anos

Table 4. Composition, critical and maximum values to profitable land use sub-index (URT), assessed by indicators cost control history (HCC) and income-generating crops in winter (CRI), each three year

Indicador	Dado de entrada	Unidade de medida	Índice máximo	Fórmula	Valor	
					Crítico	Máximo
Histórico de controle de custos (HCC)	Controle de custos das atividades (CC)	Nota 0 = inexistente	1	URT = (CC+RI)/4	0,50	1
		Nota 0,25 = baixo - apenas somatório de gastos				
		Nota 0,50 = médio - somatório de gastos e histórico				
		Nota 0,75 = bom - somatório de gastos e histórico de custo operacional/safra				
		Nota 1,0 = completo - somatório de gastos, histórico de custo operacional/safra e depreciações e correções				
Culturas geradoras de renda no inverno (CRI)	Renda no inverno (RI)	Número de culturas geradoras de renda no inverno em três anos Áreas com pecuária foram computadas como safras	3			

Fonte: autores, nova proposição

Source: authors, new proposal.

Tabela 5. Composição e cálculo dos valores crítico e máximo do subíndice de conservação do solo e da água (CSA), avaliado pelos indicadores de semeadura em contorno (SC), terraços agrícolas (TA), compactação do solo (CS) e frequência de erosão em sulcos (FE)

Table 5. Composition, critical and maximum values to soil and water conservation subindex (CSA), assessed by contour sowing (SC), agricultural terraces (TA), soil compaction (CS) and frequency of erosion in furrows (FE) indicators

Indicador	Dado de entrada	Unidade de medida	Índice máximo	Fórmula	Valor	
					Crítico	Máximo
Semeadura em contorno (SC)	Nota 0 = não Nota 0,75 = em sentido oposto ao declive Nota 1,0 = sim	Nota (SC)	1	CSA = SC + TA+ CS + FE	2,5	3
Terraço Agrícola funcional (TA)	Nota 0: sem terraço agrícola na condição de exigência pelas condições hidrológicas. Nota 1,0: com terraço agrícola	Nota (TA)	1			
Compactação do solo (CS)	Nota 0 = compactado (total restrição ao crescimento radicular) Nota 0,50 = pouco compactado (leve restrição ao crescimento radicular) Nota 1,0 = não compactado (sem restrição ao crescimento radicular)	Nota (CS)	0,5			
Frequência de erosão em sulcos nos últimos três anos (FE)	Nota 1,0 = não observada nos últimos 3 anos Nota 0,5 = uma vez em três anos Nota 0 = duas ou mais vezes em três anos	Nota (FE)	0,5			

Fonte: adaptado de Telles et al., (2020)

Source: adapted from Telles et al. (2020)

Tabela 6. Composição e cálculo dos valores crítico e máximo do subíndice química da fertilidade do solo, avaliado pelos indicadores pH-H₂O (NCpH), teor de fósforo (NCP), teor de potássio (NCK)

Table 6. Composition, critical and maximum values to chemical soil fertility sub-index, assessed by critical levels of soil reaction pH-H₂O (NCpH), phosphorus content (NCP) and potassium content (NCK), indicators

Indicador	Dado de entrada*	Unidade de medida	Índice máximo	Fórmula	Valor	
					Crítico	Máximo
pH em H ₂ O nas camadas de 0-10cm e 10-20cm (NCpH)	Nota 0: pH em H ₂ O < 5,5 em ambas as camadas Nota 0,5: pH em H ₂ O < 5,5 em uma das camadas Nota 1,0: pH em H ₂ O ≥ 5,5 em ambas as camadas	Nota (NCpH)	0,70	QFS = ((NCpH x 0,7) + (NCP x 0,15) + (NCK x 0,15)) x 2	1,0	2
P nas camadas de 0-10cm e 10-20cm (NCP)	Nota 0: teor de P < que o nível crítico* em ambas as camadas Nota 0,5: teor de P < que o nível crítico* em uma das camadas Nota 1,0: teor de P ≥ que o nível crítico* em ambas as camadas	Nota (NCP)	0,15			
K nas camadas de 0-10cm e 10-20cm (NCK)	Nota 0: teor de K < que o nível crítico* em ambas as camadas. Nota 0,5: teor de K < que o nível crítico* em uma das camadas Nota 1,0: teor de K ≥ que o nível crítico* em ambas as camadas	Nota (NCK)	0,15			

Fonte: autores, nova proposição

* Considerar o dado de entrada mais restritivo. ** Níveis críticos (SBCS, 2016): pH em H₂O = 5,5 (nível necessário para a precipitação plena do Al³⁺); P = 9, 12, 18 e 24 mg dm⁻³, respectivamente, para as classes de textura 1, 2, 3 e 4; K = 60; 90; 120; e 135 mg dm⁻³, respectivamente, para as faixas de CTCpH7,0 de ≤ 7,5; 7,6 a 15,0; 15,1 a 30,0; e >30 cmol_c dm⁻³

Source: authors, new proposal.

* Consider the most restrictive input data. ** Critical levels (SBCS, 2016): pH in H₂O = 5.5 (level required for full precipitation of Al³⁺); P = 9, 12, 18 and 24 mg dm⁻³, respectively, for texture classes 1, 2, 3 and 4; K = 60; 90; 120; and 135 mg dm⁻³, respectively, for the CTCpH7.0 ranges of ≤ 7.5; 7.6 to 15.0; 15.1 to 30.0; and >30 cmol_c dm⁻³

Tabela 7. Composição e cálculo dos valores crítico e máximo do subíndice qualidade estrutural do solo (QES), avaliado pelos indicadores de espessura da camada superficial do solo com estrutura em grumos (ECSS) e teor de matéria orgânica na camada de 0-20 cm do solo

Table 7. Composition, critical and maximum values to soil structural quality sub-index (SQI), assessed by surface layer with a granular structure thickness (SLGT) and organic matter content (OM) in the 0-20 cm soil layer

Indicador	Dado de entrada	Unidade de medida	Índice máximo	Fórmula	Valor	
					Crítico	Máximo
Espessura da camada superficial do solo com estrutura em grumos (ECSS)	Medida da espessura da camada superficial do solo com estrutura em grumos	cm	10	QES = ECSS/10*0,7+MO/5*0,3	0,5	1
Matéria orgânica na camada superficial do solo	Teor de MO na camada de 0-20cm do solo	%	5			

Fonte: autores, nova proposição

Source: authors, new proposal.

Tabela 8. Índices e indicadores que integram o índice de qualidade do manejo conservacionista do solo (IQMCS) e seus respectivos fatores de ponderação e valores crítico e máximo

Table 8. Sub-indexes and indicators that integrate soil conservation management quality index (SCMQI) and their respective weighting factors and critical and maximum values

Subíndice	Indicador	Peso (%)	Valor	
			Crítico	Máximo
Diversificação de culturas (DIV)	Intensidade da diversificação (ID)			
	Presença de gramínea de verão (PGV)	30	2,5	3
	Presença de gramínea de inverno (PGI)			
Uso rentável da terra (URT)	Histórico de controle de custos (HCC)	10	0,50	1
	Culturas geradoras de renda no inverno (CRI)			
Conservação do solo e da água (CSA)	Semeadura em contorno (SC)	30	2,50	3
	Terraços agrícolas (TA)			
	Compactação do Solo (CS)			
	Frequência de erosão em sulcos (FE)			
Química da fertilidade do solo	pH em água nas camadas de 0 a 10 cm e 10 a 20 cm (NCpH)	20	1,00	2
	P nas camadas de 0 a 10 cm e 10 a 20 cm (NCP)			
	K nas camadas de 0 a 10 cm e 10 a 20 cm (NCK)			
Qualidade estrutural do solo (QES)	Espessura da camada superficial do solo com estrutura em grumos (ECSS)	10	0,50	1
Índice de Qualidade do Manejo Conservacionista Solo (IQMCS)		100	7,00	10

Fonte: adaptado de Telles *et al.*, (2020)

Source: adapted from Telles *et al.* (2020)

Resultados e discussão

Na Tabela 9 são apresentados os resultados referentes aos cenários com diagnósticos quanto à presença de limitação física e/ou química dos indicadores da fertilidade do solo na camada de 0-20cm em áreas manejadas sob sistema plantio direto.

Com base na síntese dos resultados apresentados na Tabela 9, constata-se que os cenários 1B e 2B foram os que ocorreram com maior frequência, 42% e 50% dos casos, respectivamente e, em apenas 8% ocorreu o cenário 1A, ou seja, sem limitações físicas e/ou químicas

na camada de 0-20cm do solo. Este resultado indica que o sistema plantio direto praticado deve passar por melhorias ou aperfeiçoamento de processos, especialmente com relação a técnicas de correção da acidez e descompactação do solo. Trabalhos recentes apontaram que a estratificação de nutrientes na camada de 0-20cm e o adensamento/compactação do solo em áreas de SPD nas condições de clima tropical e subtropical do Brasil podem limitar o rendimento das culturas (Spera *et al.*, 2018; Nunes *et al.*, 2019; Bellinaso *et al.*, 2021; Amaral *et al.*, 2024).

Em relação ao IQMCS, os valores obtidos para os subíndices e o seu va-

lor global em cada um dos talhões são apresentados na Tabela 10. Quanto ao subíndice diversificação de culturas (DIV), observa-se que ele variou de 2 a 3, com CV=21%, considerado alto e com ocorrência de valor 2 em 58% dos casos e, em 42% dos casos, ocorrendo o valor 3 (valor máximo). Assim, o valor médio (n=12) para o subíndice DIV foi de 2,3±0,49, indicando que está abaixo do nível crítico de 2,5, com espaço para melhorias de seus indicadores, em pelo menos 58% dos talhões estudados. Especialmente nos talhões em que o manejo do solo faz uso do cultivo de soja no verão e aveia-preta no inverno (com ou sem pastejo).

Tabela 9. Síntese do diagnóstico físico e químico do solo com os respectivos cenários e recomendações para a correção nas áreas estudadas

Table 9. Summary of the physical and chemical diagnosis of the soil with the respective scenarios and recommendations for correction in the studied areas

Polo de Produção	Talhão	Município/UF	Presença de limitação		Cenário	Recomendação
			Física	Química		
I	01	Barracão, RS	Sim	Sim	2B	Correção química e descompactação do solo
	02	Barracão, RS	Não	Sim	1B	Correção química do solo
	03	São José do Ouro, RS	Não	Sim	1B	Correção química do solo
II	04	Zortéa, SC	Sim	Sim	2B	Correção química e descompactação do solo
	05	Campos Novos, SC	Não	Sim	1B	Correção química do solo
	06	Campos Novos, SC	Sim	Sim	2B	Correção química e descompactação do solo
III	07	Brunópolis, SC	Sim	Sim	2B	Correção química e descompactação do solo
	08	Brunópolis, SC	Não	Sim	1B	Correção química do solo
	09	Curitibanos, SC	Não	Sim	1B	Correção química do solo
IV	10	Cerro Negro, SC	Sim	Sim	2B	Correção química e descompactação do solo
	11	Cerro Negro, SC	Sim	Sim	2B	Correção química e descompactação do solo
	12	Campo Belo do Sul, SC	Não	Não	1A	Sem limitações

A diversificação de culturas – em rotação, sucessão ou consorciação de culturas – é de fundamental importância para sustentabilidade das lavouras em sistema plantio direto, a partir da cobertura do solo com plantas vivas ou resíduos culturais durante o ano todo, com aporte de fitomassa aérea e de raízes ao solo (>10t ha⁻¹ ano⁻¹), aporte contínuo de matéria orgânica ao solo, proteção da superfície do solo contra os agentes erosivos, estruturação do solo, aumento da capacidade de armazenamento e infiltração de água e biodiversidade do solo (Hernani, Denardin, 2012; Ralisch *et al.*, 2017; Debiasi *et al.*, 2022).

O subíndice uso rentável da terra

(URT) variou de 0,1 a 0,9, com valor médio (n=12) de 0,46±0,29 e coeficiente de variação muito alto (CV=63%) (Tabela 10). Desse modo, o valor médio ficou abaixo do nível crítico de 0,5. Dentre os talhões avaliados cerca de 66% apresentaram URT ≤ 0,4 (T2, T4, T5, T7, T8, T9, T11 e T12) e 33% apresentaram URT ≥ 0,7 (T1, T3, T6 e T10). Isto indica que há necessidade de melhorar o URT, principalmente, o indicador controle de custos e, também, o uso de culturas geradoras de renda no inverno nos talhões destinados à produção de grãos, especialmente na estação de outono-inverno.

Em relação ao subíndice conserva-

ção do solo e água (CSA), este variou de 1,3 a 1,8, com valor médio (n=12) de 1,54±0,17 e médio coeficiente de variação (CV=11%) (Tabela 10). Portanto, os valores em média ficaram bem abaixo do nível crítico de 2,5. Embora os produtores reconheçam e preocupem-se com a CSA de suas lavouras, em praticamente todas as áreas há ausência de práticas conservacionistas de suporte, tais como o cultivo em contorno e os terraços agrícolas. Assim, este subíndice apresentou apenas 51% do valor potencial, mas pode ser significativamente melhorado. Isso, seguramente, traria benefícios diretos e indiretos para as lavouras avaliadas, considerando que as

Tabela 10. Valores dos subíndices e do índice de qualidade do manejo conservacionista do solo (IQMCS) em área submetidas ao sistema plantio direto no Planalto de Santa Catarina e nos Campos de Cima da Serra do Rio Grande do Sul

Table 10. Values of the sub-indexes and the soil conservation management quality index (IQMCS) in areas subject to no tillage system in the Santa Catarina and Rio Grande do Sul highlands

Polo de produção	Talhão	Município/UF	Tipo Solo	² Manejo do solo	¹ Subíndices					Índice	Faixa
					DIV	URT	CSA	QFS	QES		
I	1	Barracão/RS	Latossolo Vermelho aluminico típico	S/T; S/Avbr; S/T	2	0,9	1,5	1,3	0,7	6,5	D
	2	Barracão/RS	Latossolo Vermelho aluminico típico	S/Avpr; S/Avpr; S/Avpr.	2	0,1	1,8	1,0	0,7	6,1	D
	3	São José do Ouro/RS	Latossolo Vermelho aluminico típico	S/Avpr; S/Avbr; S/T	2	0,7	1,4	1,0	0,7	5,8	D
II	4	Zortéa/SC	Cambissolo Háplico aluminico típico	S/Avpr; S/T; S/Avpr	2	0,4	1,5	1,3	0,6	5,8	D
	5	Campos Novos/SC	Nitossolo Vermelho aluminico típico	S/Avpr; S/Avbr; S/T	2	0,3	1,6	1,8	0,7	6,4	D
	6	Campos Novos/SC	Latossolo Bruno aluminico típico	S/Avpr; S/er+Av; Mi/Milt/T	3	0,8	1,3	1,3	0,7	7,1	C
III	7	Brunópolis/SC	Latossolo Bruno aluminico típico	S/Avucr; S/Avucr; S/avucr	2	0,4	1,4	0,7	0,8	5,3	D
	8	Brunópolis/SC	Latossolo Bruno aluminico típico	Mi/avucr; S/avucr; S/avucr	3	0,4	1,5	1,7	0,8	7,4	C
	9	Curitibanos/SC	Nitossolo Bruno aluminico húmico	S/avucr; S/avucr; Mi/avpr+er+nab	3	0,2	1,5	1,3	0,9	6,9	D
IV	10	Cerro Negro/SC	Cambissolo Húmico aluminico léptico	S/Av+Az; S/Av+Az; S/Av+Az	2	0,9	1,8	0,5	0,7	5,9	D
	11	Cerro Negro/SC	Cambissolo Háplico aluminico léptico	S/avpr; S/avpr; S/avpr	2	0,2	1,4	0,7	1,0	5,3	D
	12	Campo Belo do Sul/SC	Nitossolo Vermelho aluminico	S/er; Mi/avpr; S/er	3	0,2	1,8	2,0	1,0	8,0	B
Média					2,3	0,46	1,54	1,22	0,78	6,4	
³ DP					0,49	0,29	0,17	0,46	0,13	0,87	
⁴ CV(%)					21	63	11	38	17	14	

¹DIV= diversificação de culturas; URT= uso rentável da terra; CSA= conservação do solo e da água; QFS= química da fertilidade do solo; QES= qualidade estrutural do solo. ²S=Soja; Avbr= aveia branca; T= trigo; Avpr=Aveia preta; er= ervilhaca; Mi= milho; Milt= milheto; avucr= aveia ucraniana; Av+Az=aveia + azevém (pastejo). ³DP= desvio padrão; ⁴CV= coeficiente de variação (DP/Média)*100.

¹DIV= crop diversification; URT= profitable land use; CSA= soil and water conservation; QFS= soil fertility chemistry; QES= soil structural quality. 2S=Soybean; Avbr= white oats; T= wheat; Avpr= black oats; er= vetch; Mi= corn; Milt= millet; avucr= Ukrainian oats; Av+Az=oats + ryegrass (grazing). 3SD= standard deviation; 4CV= coefficient of variation (SD/Mean)*100

condições de relevo e clima exigem tais práticas (Tabela 1). Hörbe *et al.* (2021) alcançaram maiores taxas de água disponível no ciclo da soja (14%) e no ciclo do milho (8%). Encontraram incrementos no rendimento de grãos de soja (12%) e no milho (10%), em uma bacia hidrográfica em SPD, com terraços agrícolas de base larga, comparada a uma área pareada, sem terraços agrícolas, em um Nitossolo Vermelho Distrófico típico, no município de Júlio de Castilhos no Rio Grande do Sul.

Em relação ao subíndice química da fertilidade do solo (QFS), este variou de 0,5 a 2,0, com valor médio ($n=12$) de $1,22 \pm 0,46$ e coeficiente de variação muito alto ($CV=38\%$), (Tabela 10). Portanto, os valores em média ficaram acima do nível crítico de 1,0. Isso indica que o subíndice QFS apresentou desempenho variando de 25% (0,5) abaixo do nível crítico a 100% (2,0) valor máximo, ou seja: quanto mais próximo de zero, maior a necessidade de correções dos indicadores químicos pH-H₂O, fósforo (P) e potássio (K), especialmente na camada de 10-20cm. Já o valor observado igual a 2,0 denota não haver limitação de ordem química na camada de 0-20cm do solo para os indicadores pH-H₂O, P e K. Autores apontam que estas limitações químicas estão relacionadas à forma de aplicação do calcário e fertilizantes em superfície em lavouras manejadas sob SPD, o que eleva a concentração de nutrientes (P e K) e do pH-H₂O na camada de 0-10cm, porém, apresentam níveis insuficientes destes indicadores, em função do adensamento e/ou compactação na camada de 10-20cm do solo (Spera *et al.*, 2018; Nunes *et al.*, 2019; Amaral *et al.*, 2024).

A qualidade estrutural do solo (QES), cujos valores podem variar de 0 a 1, avaliada pelos indicadores teor de matéria orgânica no solo (MOS) e espessura da camada com estrutura granular, na camada de 0-20cm do solo, apresentando valores variando de 0,7 a 1,0, com valor médio ($n=12$) de $0,78 \pm 0,13$ e coeficiente de variação médio ($CV=17\%$), (Tabela 10). Portanto, os valores ficaram em

média acima do nível crítico de 0,5.

Observa-se que este apresentou um desempenho na ordem de 78%, ou seja, é possível melhorá-lo em média, em pelo menos 22% nos talhões estudados, especialmente a espessura da camada com estrutura granular que foi, em geral, menor do que 10 cm. Em relação aos teores de MO, em função de haver uma correlação positiva com a agregação e estruturação do solo (RALISCH *et al.*, 2017), também foi incluída como indicador da QES. Constatou-se que em média os valores de MO na camada de 0-20 cm do solo foram de 3,73 %, considerado um valor médio de acordo com a SBCS (2016), suficiente para manter a QES.

Telles *et al.*, (2020), utilizando o índice de qualidade participativo do sistema de plantio direto (IQP2), adaptado e aprimorado de Roloff *et al.*, (2011) e Martins *et al.*, (2018), nas condições de solo e clima paranaenses, concluíram que a intensidade da rotação de culturas (IR) e a avaliação dos indicadores de conservação do solo (CA) devem ser revisados, pois eles são fracamente correlacionados com o IQP2. O IQP2 é composto por 8 indicadores e não considera diretamente os fatores: uso rentável da terra, indicadores químicos da fertilidade e a qualidade estrutural do solo. Além disso, não está alicerçado em uma ferramenta baseada nos cenários diagnósticos na camada de 0-20cm do solo. Assim, o IQMCS proposto pode trazer benefícios ao produtor, pois estabelece as diretrizes e especifica o indicador mais restritivo que deve ser corrigido, implementado ou aprimorado nos modelos de produção em SPD.

Conclusões

- O diagnóstico físico e químico do solo identificou a necessidade de correções em 92% dos talhões estudados;
- O IQMCS predominante foi a faixa D, com valores menores do que 7,0;
- Os subíndices URT, CSA e QFS foram os que apresentaram menores desempenhos, na ordem de 46%, 51%

e 61%, indicando que estes devem ser priorizados em um programa de aperfeiçoamento dos modelos de produção em lavouras manejadas sob o sistema plantio direto nas condições edafoclimáticas deste estudo.

Contribuição dos autores

André Julio do Amaral: Escrita – primeira redação, validação, metodologia, investigação, análise formal, curadoria de dados, conceituação, captação de financiamento. **José Eloir Denardin:** Investigação, análise formal, curadoria de dados, conceituação. **Vanderlise Giongo:** investigação, análise formal, curadoria de dados, conceituação. **Anderson Santi:** Escrita – revisão e edição, investigação. **Alvaro Augusto Dossa:** Escrita – revisão e edição, metodologia, investigação. **Fabício Jardim Hennigen:** Metodologia, conceituação, aquisição de financiamento.

Conflito de interesses

Os autores declaram não ter conflitos de interesses neste trabalho.

Dados de pesquisa

Dados serão disponibilizados pelo autor por solicitação

Financiamento

Este trabalho recebeu financiamento mediante o acordo de cooperação técnica e financeira firmado entre a Embrapa, a Cooperativa Regional Agropecuária de Campos Novos – Copercampos e a Fundação de Apoio à Pesquisa e Desenvolvimento Agrícola Edmundo Gastal – FAPEG, conforme o Projeto Embrapa SAIC: 21100.22/0108-0, registro IDEARE: 20.23.00.053.00.00

Agradecimentos

Aos produtores associados e aos técnicos de campo da Cooperativa Regional Agropecuária de Campos Novos

– Copercampos, pelo acesso as áreas e apoio logístico para a caracterização, amostragem de solo nos talhões e levantamento de informações, aos técnicos da Embrapa Trigo Darci Luiz Veronese, Telles Dall Agnol e Cristiano Albino Tomasi, pelo apoio aos trabalhos de campo e de laboratório.

Referências

AMARAL, A. J., 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.

BACK, A.; WILDNER, L. P. **HidroTerraço 1.0 – Programa para cálculos hidrológicos e dimensionamento de estruturas de conservação do solo e da água em áreas agrícolas**. Florianópolis: Epagri, 124p., 2022. (Documentos, 348).

BELLINASSO, R. J. S.; TIECHER, T.; VARGAS, J.P.R.; RHEINHEIMER, D. S. Crop yields in no-tillage are severely limited by low availability of P and high acidity of the soil in depth. **Soil Research**, p.1-17, 2021.

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

FUENTES-LLANILLO, R.; TELLES, T. S.; SOARES JUNIOR, D.; MELO, T. R. de; FRIEDRICH, T.; KASSAM, A. Expansion of no-tillage practice in conservation agriculture in Brazil. **Soil & Tillage Research**, v. 208, 104877, 2021.

GOMES, F. P. **Curso de estatística experimental**. 15 th ed. FEALQ, Piracicaba. 2009

HERNANI, L. C.; DENARDIN, J. E. Sementeira direta e plantio direto. In: HERNANI, L. C. (Ed.). **Sistema Plantio Direto**. Brasília, DF: Embrapa, 2012.

HÖRBE T.; MINELLA J.P.G.; SCHNEIDER F.J.A.; LONDERO, A.L.; GUBIANI, P.I.; MERTEN, G.H.; SCHLESNER, A. Managing runoff in rainfed agriculture under no-till system: potential for improving crop production. **Rev Bras Cienc Solo**, v.45, 2021. DOI : <https://doi.org/10.36783/18069657rbcs20210015>

MARTINS, A.L.S.; CONTE, O.; OLIVEIRA, P.; DOSSA, A.A.; DEBIASI, H.; FRANCHINI, J.; HERNANI, L.C.; RALISCH, R.; LEONARDO, H.C.L.; LUNARDI, L. ; SALTON, J.; TOMAZI, M.; PITOL, C.; BONA, F.D.; BOEIRA, R.B. **Avaliação “ex ante” do Índice de Qualidade Participativo do Plantio Direto (IQP) com produtores do Centro-Sul do Brasil**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2018. 52 p. (Embrapa Solos. Documentos, 203).

NUNES, M.R.; DENARDIN, J.E.; VAZ, C.M.P. KARLEN, D.L.; CAMBARDELLA, C.A. Lime movement through highly weathered soil profiles. **Environmental Research Communications**, v.1, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1088/2515-7620/ab4eba>

RALISCH, R.; DEBIASI, H.; FRANCHINI, J. C.; TOMAZI, M.; HERNANI, L. C.; MELO, A. da S.; SANTI, A.; MARTINS, A. L. da S.; BONA, F. D. de. **Diagnóstico rápido da estrutura do solo - DRES**. Londrina: Embrapa Soja 63 p. 2017. (Documentos, 390).

ROLOFF, G.; RAMIRO, A. T.; MELLO, I. Índice de qualidade participativo do plantio direto. Ponta Grossa: FEBRAPDP, 2011. 5p. **Boletim Técnico**, 2011.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO (SBCS). **Manual de Adubação e de calagem para os Estados do rio Grande do Sul e Santa Catarina**. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo - Núcleo Regional Sul: Comissão de Química e Fertilidade do Solo - RS/SC, 2016. 316p.

SANTOS, H.G., JACOMINE, P.K.T., ANJOS, L.H.C. dos, OLIVEIRA, V.A. de, LUMBRE-RAS, J.F., COELHO, M.R., ALMEIDA, J.A. de, ARAÚJO FILHO, J.C. de, OLIVEIRA, J.B. de; CUNHA, T.J.F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5 ed. Brasília, DF: Embrapa. 2018. 356p.

SPERA, S.T., MAGALHÃES, C.A.D.S., DENARDIN, J.E., ZOLIN, C.A., MATOS, E. D.S., SOUZA, L.G.A.D.; SHIRATSUCHI, L.S. **Estratificação química e física em solos manejados com sistema plantio direto em mato grosso - entraves à produção das culturas**. Embrapa, Sinop, MT: 2018. (Embrapa. Documentos, n. 7).

TELLES, T. S.; RIGHETTO, A. J.; LOURENÇO, M. A. P.; BARBOSA, G. M. C. No-tillage system participatory quality index. **Rev Bras. Eng. Agric. e Amb.**, v.24, n.2, p.128-133, 2020.

TORMENA, C. A.; SÁ, J. C. M.; FIGUEIREDO, G. C.; SEVERIANO, E.C.; GUIMARÃES, R. M. L.; LIMA, R. P. Relações da matéria orgânica com atributos físicos de solos de regiões subtropicais e tropicais brasileiras, p.85-125. In.: **Entendendo a matéria orgânica do solo em ambientes tropical e subtropical** / Wagner Bettiol ... [et al.], editores técnicos. – Brasília, DF: Embrapa, 2023. 788p.

WREGE, M. C.; STEINMETZ, S.; REISSER JÚNIO, C.; ALMEIDA, I. R. **Atlas climático da região Sul do Brasil: estados do Paraná, Santa Catarina e do Rio Grande do Sul**. Brasília, DF: Embrapa, 2012.