

## Efeitos no solo e nas culturas após vinte anos de cultivo convencional e semeadura direta

Vinicius Brown<sup>1</sup>, Fabrício Tondello Barbosa<sup>2</sup>, Ildegardis Bertol<sup>1</sup>, Álvaro Luiz Mafra<sup>1</sup>, Luran Monteiro Muzeka<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade do Estado de Santa Catarina/Centro de Ciências Agroveterinárias/Departamento de Solos e Recursos Naturais. Lages, SC, Brasil. E-mail: [vinicius131@hotmail.com](mailto:vinicius131@hotmail.com) (ORCID: 0000-0003-3284-8041); [ildegardis.bertol@udesc.br](mailto:ildegardis.bertol@udesc.br) (ORCID: 0000-0003-4396-5382); [alvaro.mafra@udesc.br](mailto:alvaro.mafra@udesc.br) (ORCID: 0000-0002-6751-4837); [luranmuzeka@gmail.com](mailto:luranmuzeka@gmail.com) (ORCID: 0000-0003-2382-7847)

<sup>2</sup> Universidade Estadual de Ponta Grossa/Campus Uvaranas/Departamento de Ciências do Solo e Engenharia Agrícola. Ponta Grossa, PR, Brasil. E-mail: [fabriciotondello@gmail.com](mailto:fabriciotondello@gmail.com) (ORCID: 0000-0002-1724-2327)

**RESUMO:** Com a pesquisa se objetivou avaliar atributos do solo e o desempenho de culturas após 20 anos de condução em dois sistemas de manejo em Cambissolo Húmico no sul do Brasil. Avaliaram-se a semeadura direta (SD) e o preparo convencional (PC) nos cultivos de milho (*Zea mays*), feijão (*Phaseolus vulgaris*) e soja (*Glycine max*), em dois anos agrícolas. Amostras de solo foram coletadas em três camadas ao final do segundo cultivo, enquanto as avaliações das características agrônômicas de plantas foram feitas ao final de cada cultivo. A SD reduziu a densidade do solo e aumentou a porosidade total, estabilidade de agregados e grau de floculação da argila, porém diminuiu a macroporosidade na superfície do solo. Na SD, maiores acúmulos de fósforo ocorreram até 0,05 m, cálcio e magnésio até 0,1 m e potássio e carbono orgânico até 0,2 m de profundidade, em relação ao PC e apresentou gradiente de acidificação do solo a partir da superfície. Diferenças no desempenho das culturas ocorreram no segundo ano, constatando-se no PC redução no rendimento de grãos de soja e milho e na massa de mil grãos de feijão em comparação à SD. Os cultivos de feijão e soja produziram baixa quantidade de biomassa de parte aérea, independente do manejo do solo, enquanto o milho produziu alta quantidade e maior biomassa na SD do que no PC.

**Palavras-chave:** conservação do solo; manejo do solo; plantio direto

## Effects on soil and crops after 20 years of conventional and zero tillage

**ABSTRACT:** The aim of this research was to evaluate soil properties and performance of crops after 20 years of cultivation in two management systems in a Humic Cambisol in the south of Brazil. No-tillage (NT) and conventional tillage (CT) were evaluated during the cultivation of maize (*Zea mays*), bean (*Phaseolus vulgaris*) and soybean (*Glycine max*), in two years. Soil samples were collected in three layers at the end of the second year, while the determinations of agronomic traits were carried at the end of each year. NT decreased soil bulk density and increased total porosity, aggregate stability and clay flocculation degree, however it decreased macroporosity at the soil surface. In NT higher accumulations of phosphorus occurred up to 0.05 m, calcium and magnesium up to 0.1 m and potassium and organic carbon up to 0.2 m depth compared to CT, and it had a gradient of soil acidification from the surface. Differences in the performance of crops occurred in the second year, being verified in CT a reduction of grain yield of soybean and corn and lower thousand-grain mass of beans compared to NT. Bean and soybean produced low amount of above-ground biomass, independent of soil management, while maize produced high amount and higher biomass in NT than CT.

**Key words:** soil conservation; soil management; no-tillage

## Introdução

O solo é considerado recurso natural não renovável na escala de vida humana, sujeito à rápida degradação. Áreas aptas para agricultura são finitas no planeta e sua utilização de maneira inadequada representa riscos à segurança alimentar e a qualidade do ambiente (Lal, 2014).

Os sistemas de manejo do solo praticados até o momento têm sido capazes de atender as demandas crescentes colocadas sobre eles para produção de alimentos, fibras e energia. Isso se tornou possível devido ao aumento do uso de insumos e incorporação de tecnologias. Por outro lado, a produtividade agrícola está diminuindo em áreas onde predominam formas inadequadas de manejo dos solos, ocasionando sua degradação (FAO, 2011).

No Brasil, os sistemas produtivos empregados devem ser ajustados para atender a exploração racional das terras. A semeadura direta tem se destacado positivamente entre os sistemas de manejo, resultando em manutenção e melhoria dos atributos do solo. Fundamenta-se no mínimo revolvimento do solo, em sua cobertura permanente e na rotação de culturas (Denardin et al., 2014).

Em solo manejado sob semeadura direta os seus atributos físicos permanecem adequados para o desenvolvimento das plantas (Andrade et al., 2010) e maiores acúmulos de nutrientes e matéria orgânica no solo são observados em comparação ao manejo com preparo convencional (Andrade et al., 2012). Resultados de pesquisa demonstram que a melhor qualidade do solo em semeadura direta pode resultar em maiores rendimentos das culturas (Santos et al., 2006).

Apesar dos benefícios da semeadura direta, tem se observado em determinadas situações, o retorno ao manejo com preparo periódico do solo, motivado por problemas relacionados à compactação dos solos, ocasionada pela ausência de revolvimento combinada com o tráfego de máquinas em condições de umidade do solo inadequadas (Reichert et al., 2003; Drescher et al., 2011). Também tem contribuído para esta decisão, o uso de cultivos com baixa produção de biomassa vegetal para cobertura do solo (Heinrichs et al., 2005; Wolschick et al., 2016) e as dificuldades no manejo de alguns tipos de solo, como Cambissolos com teores expressivos de silte (Bortolini et al., 2016).

Experimentos de longa duração têm papel fundamental na caracterização e escolha de sistemas de manejo que visem conservar o solo e manter a produtividade das culturas. Assim, o tempo de utilização sob determinados sistemas de manejo do solo é uma variável importante a ser considerada para as recomendações técnicas ligadas ao preparo e adoção de sistemas de cultivo, especialmente para solos em ambiente subtropical e localizados em regiões de planalto (Costa et al., 2003). Nestas condições, são comuns solos com elevada acidez, altos teores de matéria orgânica e em muitas regiões predominam solos argilosos com elevados teores de silte, como Cambissolos Húmicos derivados de rochas sedimentares Permeanas, que ocorrem no Planalto Catarinense.

A hipótese nesse estudo é que, o manejo por longo período com preparo convencional degrada o solo e afeta negativamente a produção vegetal, em comparação com a semeadura direta. O objetivo foi avaliar atributos físicos e químicos de um Cambissolo Húmico de textura argilo siltosa e o desempenho de culturas após 20 anos de condução em dois sistemas de manejo do solo.

## Material e Métodos

A pesquisa foi realizada em Lages, SC (coordenadas 27° 47' 13" S e 50° 18' 23" W). O clima é subtropical úmido mesotérmico, do tipo Cfb - Köppen (Alvares et al., 2013), com precipitação média anual de 1.533 mm e altitude de 923 m (Schick et al., 2014). O solo é Cambissolo Húmico aluminico léptico, de textura argilo siltosa, com 142 g kg<sup>-1</sup> de areia, 437 g kg<sup>-1</sup> de silte e 421 g kg<sup>-1</sup> de argila na camada de 0-0,2 m (Almeida et al., 2005).

A área experimental foi conduzida desde 1995 nos métodos de preparo convencional (PC) e semeadura direta (SD) em rotação e sucessão de culturas. Antes da implantação do experimento a área foi revolvida mecanicamente para incorporação de calcário e elevação do pH do solo a 6,0 até a profundidade de 0,2 m. O PC era realizado com uma aração e duas gradagens, uma vez ao ano, antecedendo os cultivos de primavera/verão, enquanto a SD era conduzida com implantação das culturas sem revolvimento do solo (Andrade et al., 2012).

O delineamento foi em blocos ao acaso com quatro repetições, em parcelas subdivididas. A área experimental de 1.872 m<sup>2</sup> era formada por parcelas de dimensões de 6,5 x 36 m (em cada um dos sistemas de manejo) e por subparcelas de 6,5 x 12 m, onde foram avaliadas entre 2013 e 2015 as culturas de milho, soja e feijão. Durante a avaliação destas culturas foi realizado revolvimento do solo duas vezes ao ano no PC, antecedendo os cultivos de outono/inverno e primavera/verão.

Em julho de 2013 toda a área foi cultivada com consórcio de aveia preta (*Avena strigosa*), ervilhaca comum (*Vicia sativa*) e nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.), objetivando a sistematização do ambiente de pesquisa. Em novembro do mesmo ano, após manejo das plantas de cobertura, foi realizado o primeiro cultivo para avaliações (ano agrícola 2013/2014). Foram implantadas as culturas de milho (*Zea mays*), feijão comum (*Phaseolus vulgaris*) e soja (*Glycine max*) com espaçamento entre linhas de 0,45 m e densidade de 65.000, 300.000 e 330.000 plantas ha<sup>-1</sup>, respectivamente. A adubação foi realizada conforme exigência nutricional das culturas, com aplicação de 150, 85 e 90 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 100, 80 e 90 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O respectivamente para milho, feijão e soja. Nos cultivos de milho e feijão foram aplicados 145 e 75 kg ha<sup>-1</sup> de N, respectivamente.

Em maio de 2014, após o primeiro ano agrícola, foi realizada semeadura de aveia preta para cobertura do solo no período de outono/inverno em todos os tratamentos. Foram aplicados respectivamente 60, 45 e 55 kg ha<sup>-1</sup> de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O

e a densidade de sementes foi de 65 kg ha<sup>-1</sup>. Em novembro de 2014, foi feito o manejo da aveia com acamamento das plantas com rolo faca e posterior semeadura de milho, feijão e soja para o segundo período de avaliações (ano agrícola 2014/2015).

As determinações dos atributos físicos e químicos do solo foram realizadas em abril de 2015. Para isso, foram abertas trincheiras em dois locais distintos em cada subparcela e retiradas amostras de solo em três camadas (0-0,05, 0,05-0,1 e 0,1-0,2 m). Amostras indeformadas coletadas em anéis volumétricos foram saturadas, acondicionadas em mesa de tensão a 6 kPa e secas em estufa a 105°C, obtendo-se a densidade do solo (Ds), porosidade total (Pt), macroporosidade (Ma) e microporosidade (Mi), conforme Embrapa (2011). Em amostras deformadas foram determinadas a densidade de partículas, estabilidade de agregados e grau de flocculação da argila. A densidade de partículas foi obtida pelo método do balão volumétrico e o grau de flocculação pelo método da pipeta, ambos descritos em Embrapa (2011). A estabilidade de agregados foi determinada por peneiramento úmido e obtenção do diâmetro médio ponderado dos agregados (DMP), com metodologia descrita em Nunes & Cassol (2011).

Em parte das amostras deformadas foram determinados o pH em água (relação 1:1); P e K extraídos por solução Mehlich-1 e leitura do P em espectrofotômetro de absorção em 660 nm e do K em espectrofotômetro de emissão atômica; Ca, Mg e Al extraídos com solução KCl e leitura de Ca e Mg em espectrofotômetro de absorção atômica em chama e do Al por titulometria de neutralização; acidez potencial (H + Al) extraída com solução de acetato de Ca e quantificada por

titulometria de neutralização; e carbono orgânico total por digestão sulfocrômica (Tedesco et al., 1995).

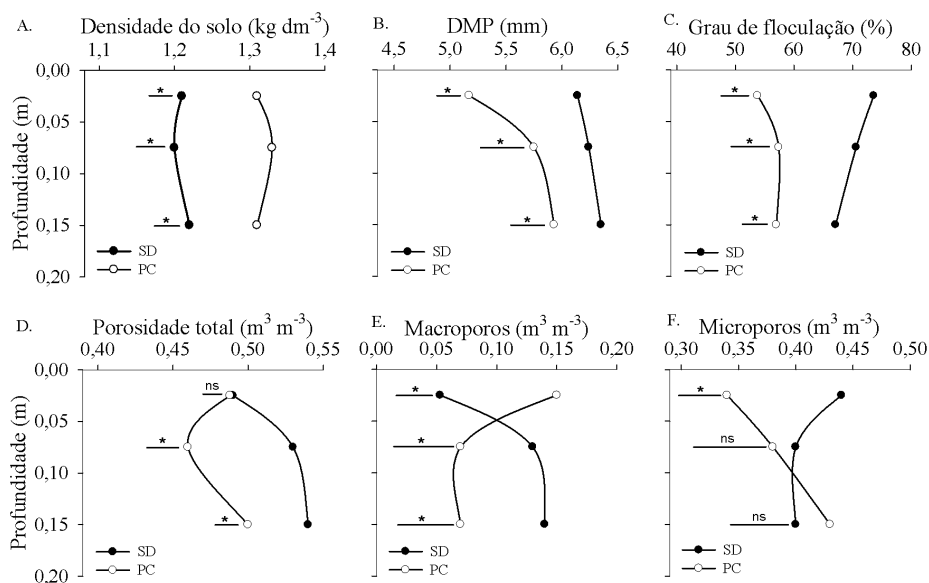
A avaliação das características agrônômicas foi realizada quando as culturas estavam no período de maturação fisiológica, nos anos agrícolas 2013/2014 e 2014/2015, coletando-se plantas em quatro metros lineares em três fileiras centrais de cada subparcela. No milho o material foi ceifado, seco em estufa a 65°C e pesado para determinação da massa seca de parte aérea, incluindo a palha e o sabugo (sem os grãos). As espigas foram debulhadas manualmente para determinação do rendimento e da massa de mil grãos. Na soja e no feijão o material coletado foi seco em estufa a 65°C, trilhado manualmente para separação dos grãos e da palha e quantificado o rendimento e a massa de mil grãos e a produção de massa seca de parte aérea (palha). A umidade dos grãos foi padronizada a 12%.

Os resultados foram submetidos à análise de variância e, quando os tratamentos diferiram, as médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste Tukey ( $p = 0,05$ ).

## Resultados e Discussão

### Atributos físicos do solo

Os atributos físicos do solo foram influenciados pelo sistema de manejo, sem efeito do tipo de cultura e da interação entre manejo e cultura. Na semeadura direta (SD) a densidade do solo (Ds) foi menor do que no preparo convencional (PC) em todas as camadas avaliadas (Figura 1A). Este comportamento se deve ao efeito do revolvimento periódico do solo na deformação estrutural. Após seis anos de cultivo na mesma área experimental, a Ds foi maior na SD



**Figura 1.** Densidade do solo (A), diâmetro médio ponderado dos agregados, DMP (B), grau de flocculação de argila (C), porosidade total (D), macroporos (E) e microporos (F) nos diferentes manejos em três camadas de solo, em Cambissolo Húmico. SD: semeadura direta; PC: preparo convencional. Os pontos representam a média dos tratamentos e as barras horizontais representam a diferença mínima significativa das médias em cada camada de solo pelo teste Tukey ( $p = 0,05$ ). \* significativo ( $p < 0,05$ ) e ns não significativo por Tukey ( $p \geq 0,05$ ). Efeito de cultura e interação entre cultura e manejo não significativo por análise de variância ( $p \geq 0,05$ ).

do que no PC (Bertol et al., 2004). Entretanto, ao longo do tempo de cultivo sob SD, a Ds pode diminuir em relação à condição inicial, em virtude do aumento do teor de matéria orgânica e à melhoria da agregação do solo com o passar do tempo (Silveira et al., 2008).

Valores de Ds crítica entre 1,3 a 1,4 kg dm<sup>-3</sup> foram propostos para solos argilosos, como limitantes para desenvolvimento das plantas (Reichert et al., 2003). No PC constatou-se Ds dentro da faixa limitante em todas as camadas de solo (Figura 1A).

O diâmetro médio ponderado dos agregados (DMP) foi maior na SD do que no PC em todas as camadas (Figura 1B), o que indica solo melhor estruturado na SD. O PC proporciona desagregação do solo e fracionamento dos agregados em unidades menores pelo revolvimento mecânico periódico do solo. Em estudo avaliando sistemas de manejo do solo, observou-se que a SD também proporcionou aumento na estabilidade de agregados em superfície quando comparada ao cultivo em solo preparado com arado de discos e grade pesada, após 23 anos de experimento (Hickmann et al., 2011).

O grau de flocculação da argila (Gf) apresentou comportamento similar ao DMP. As maiores diferenças foram encontradas na camada de 0-0,05 m, com Gf 19,8% maior na SD (Figura 1C). As perturbações causadas pelos implementos (arado e grade) e a maior oxidação da matéria orgânica favoreceram a dispersão de argila no PC.

A porosidade total do solo (Pt) foi superior na SD nas camadas de 0,05-0,1 e 0,1-0,2 m, sendo respectivamente 15 e 8% maior em relação ao PC (Figura 1D). Na camada de 0-0,05 m não houve influência do sistema de manejo para esta variável. Já o volume de macroporos (Ma) foi maior no PC na camada de 0-0,05 m e maior na SD nas demais camadas (Figura 1E). O preparo do solo por meio de aração e gradagem aumenta o Ma na camada superficial, sem alterar a Pt. No entanto, o PC é prejudicial sob o aspecto de qualidade estrutural, já que o DMP e o Gf foram menores e a Ds maior neste sistema de manejo. O aumento da Ds no PC sem alteração da Pt (camada de 0-0,05 m) é explicado pelos maiores valores de densidade de partículas sólidas no PC (2,56 Mg m<sup>-3</sup>) em relação à SD (2,38 Mg m<sup>-3</sup>), ocasionado pelo menor teor de matéria orgânica no PC.

O valor crítico de Ma que limita o metabolismo e crescimento das raízes das plantas e diminui a permeabilidade do solo e continuidade dos poros é de 0,10 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup> (Xu et al., 1992). Esta limitação foi observada na SD, na camada de 0-0,05 m, e no PC, na camada entre 0,05 a 0,2 m (Figura 1E). Na SD o menor volume de Ma observado na primeira camada se deve à consolidação natural da superfície devido à ausência de revolvimento do solo e ao tráfego de máquinas.

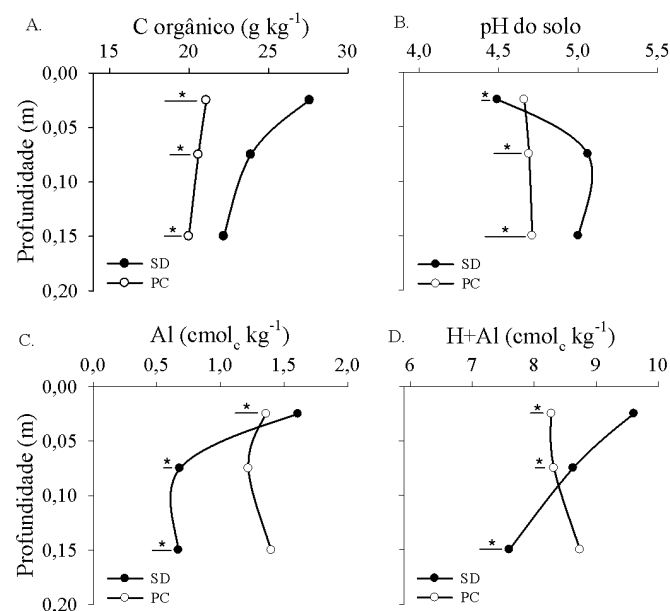
O volume de microporos (Mi) foi 0,10 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup> superior na SD na camada de 0-0,05 m e não diferiu estatisticamente do PC nas demais camadas (Figura 1F). Os valores de Mi são os que apresentam maior aumento em comparação a outros atributos físicos após implantação da SD (Torres et al., 2015). Foi verificado que parte da Mi foi convertida em Ma pela

ação dos implementos, isso porque a ação mecânica do preparo do solo é mais eficiente superficialmente e resulta em alterações mais acentuadas na Ma e Mi do que na Pt (Werner et al., 2016).

### Atributos químicos do solo

O sistema de manejo afetou os atributos químicos do solo, entretanto não houve efeito significativo das culturas e da interação entre manejo e cultura. Os teores de carbono orgânico total do solo (Corg) foram maiores na SD até a profundidade de 0,2 m (Figura 2A), concordando com resultados de Andrade et al. (2010). Na camada de 0-0,05 m ocorreu o maior teor e a maior diferença em comparação ao PC, sendo 31% superior. Este comportamento é explicado pela manutenção da biomassa vegetal na superfície do solo na SD. Por outro lado, no PC a biomassa foi incorporada e distribuída até a profundidade de atuação dos implementos. Esta mobilização resulta em maior aeração, aumento da temperatura na camada revolvida e destruição dos agregados, o que expõe a matéria orgânica ao ataque microbiano e causa perda de Corg (Costa et al., 2008; Hickmann & Costa, 2012).

O pH do solo apresentou variação entre os sistemas de manejo ao longo do perfil do solo (Figura 2B). Decorridos 20 anos desde a correção da acidez do solo com aplicação de calcário, constatou-se na SD valor de pH menor do que no PC na camada de 0-0,05 m. Entretanto, entre 0,05 a 0,2 m



**Figura 2.** Carbono orgânico total do solo (A), pH do solo (B), Al (C) e H + Al (D) nos diferentes manejos em três camadas de solo, em Cambissolo Húmico. SD: semeadura direta; PC: preparo convencional. Os pontos representam a média dos tratamentos e as barras horizontais representam a diferença mínima significativa das médias em cada camada de solo pelo teste Tukey ( $p = 0,05$ ). \* significativo ( $p < 0,05$ ). Efeito de cultura e interação entre cultura e manejo não significativo por análise de variância ( $p \geq 0,05$ ).



o comportamento foi inverso. A maior acidez em superfície na SD é atribuída à aplicação superficial de fertilizantes com natureza acidificante e ao acúmulo de biomassa vegetal com liberação de ácidos orgânicos, associados à ausência de revolvimento do solo (Almeida et al., 2005).

De forma semelhante ao ocorrido para os valores de pH do solo, verificou-se teores de Al superiores na primeira camada (0-0,05 m) em SD (Figura 2C). Já os teores de H + Al foram maiores neste sistema de manejo até a profundidade de 0,1 m, e maiores no PC na camada de 0,1-0,2 m (Figura 2D). Isto sugere que o sistema de manejo SD apresenta gradiente de acidificação a partir da superfície do solo.

Os teores de Ca e Mg foram maiores até a profundidade de 0,1 m na SD, sem diferenças para o PC na camada de 0,1-0,2 m (Figuras 3A,B). Maiores teores destes elementos em SD ocorrem pelos maiores acúmulos de matéria orgânica do que o PC, o que aumenta a adsorção de cátions e reduz as perdas por erosão e lixiviação (Andrade et al., 2012). Para Mg, foi observado aumento dos teores em profundidade a partir dos 0,05 m nos dois sistemas de manejo (Figura 3B). O Mg possui menor energia de ligação com as cargas negativas do solo comparativamente ao Ca, devido ao seu maior raio iônico hidratado, o que favorece a uma maior mobilidade vertical do Mg no perfil do solo (Oliveira et al., 2002).

O teor de P no solo foi em média 309% maior na SD do que no PC na camada de 0-0,05 m, sem diferença estatística entre 0,05 a 0,2 m (Figura 3C). Este comportamento é

explicado pelo fato do elemento P ser pouco móvel no solo e, aliado a ausência de revolvimento e ao longo tempo de adoção da SD, proporcionou acúmulo de P em superfície. Na SD, a adubação ocorre na camada superficial do solo e, associada à ciclagem de P pelas plantas possibilita a formação de gradiente de P no perfil do solo, ou seja, maior variabilidade vertical em relação ao PC (Zanão Júnior et al., 2010).

Os teores de K no solo foram maiores na SD até a profundidade de 0,2 m (Figura 3D). Isto se deve à maior mobilidade no solo deste elemento. Entretanto, maiores teores foram observados na camada de 0-0,05 m, sendo 206% maior na SD. Este resultado está de acordo com os obtidos por Andrade et al. (2012). No geral, no PC, com revolvimento do solo, ocorre incorporação dos nutrientes e diluição de sua concentração ao longo do perfil, o que diminui a formação de gradiente dos nutrientes no solo.

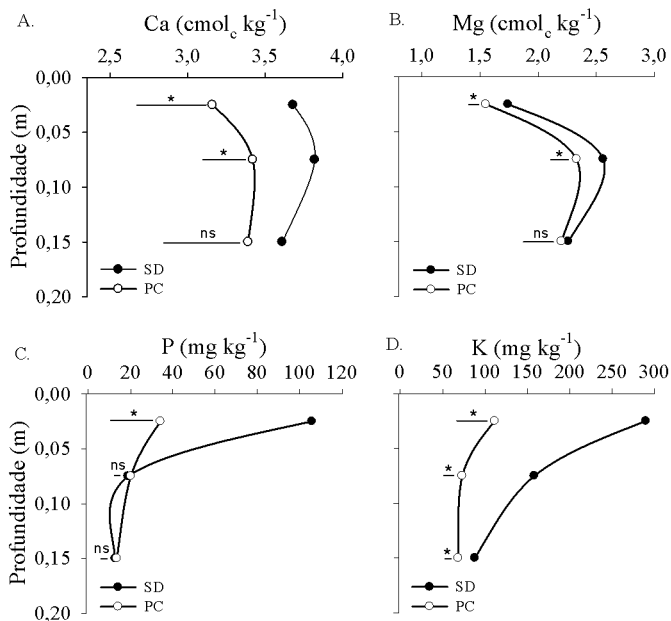
### Características agrônomicas

As características agrônomicas foram influenciadas pelo sistema de manejo do solo e pelo ano agrícola. Para rendimento de grãos (Rg), foram encontradas diferenças no segundo ano nos cultivos de soja e milho (Tabela 1). Tais rendimentos foram respectivamente 35,2 e 9,2% superiores na SD em comparação ao PC. Assim como observado neste estudo, Costa et al. (2003) constataram maiores diferenças no Rg de soja do que de milho entre os manejos SD e PC. Isso indica que a cultura da soja é mais sensível às alterações no solo provocadas pelo manejo.

O baixo Rg observado na cultura do feijão pode ser devido ao baixo valor de pH do solo em ambos os manejos, ao maior estado de degradação física do solo no PC e ao valor limitante de Ma na superfície em SD, já que esta cultura caracteriza-se por apresentar sistema radicular superficial e muito sensível à acidez (Silva et al., 2014) e à impedimentos físicos no solo. Por outro lado, constatou-se diferença na massa de mil grãos (Mmg) do feijão para o segundo ano agrícola, sendo maior na SD em comparação ao PC (Tabela 1). Para esta variável não houve diferença entre os manejos nos cultivos de milho e soja, independente do ano.

A produção de massa seca de resíduos da parte aérea (Ms) foi afetada pelo tipo de cultura, manejo do solo e ano agrícola. O cultivo do milho em SD aumentou a produção de Ms em 30,8 e 56,2% em relação ao PC, respectivamente no primeiro e segundo ano. Nas demais culturas não houve diferença entre os manejos (Tabela 1). Na média geral, o milho apresentou maior produção de Ms (7,07 Mg ha<sup>-1</sup>), significativamente superior à soja (2,86 Mg ha<sup>-1</sup>) e feijão (1,56 Mg ha<sup>-1</sup>).

Os resultados reforçam a necessidade de utilização do milho como cultura essencial em sistemas de manejo conservacionista, visto que o feijão e a soja têm menor capacidade de produção de resíduos vegetais, além de apresentarem decomposição mais acelerada. Em estudos conduzidos por Sá et al. (2008) no sul do Brasil, em região de mesma classificação climática da presente pesquisa (tipo



**Figura 3.** Teores de Ca (A), Mg (B), P (C) e K (D) nos diferentes manejos em três camadas de solo, em Cambissolo Húmico. SD: semeadura direta; PC: preparo convencional. Os pontos representam a média dos tratamentos e as barras horizontais representam a diferença mínima significativa das médias em cada camada de solo pelo teste Tukey ( $p = 0,05$ ). \* significativo ( $p < 0,05$ ) e ns não significativo por Tukey ( $p \geq 0,05$ ). Efeito de cultura e interação entre cultura e manejo não significativo por análise de variância ( $p \geq 0,05$ ).

**Tabela 1.** Massa de mil grãos, rendimento de grãos e massa de resíduos de parte aérea de milho, feijão e soja, nos sistemas de manejo convencional e semeadura direta em dois anos agrícolas, em Cambissolo Húmico.

Cultura	Manejo							
	SD		PC		SD		PC	
	Massa de mil grãos (g)		Rendimento de grãos (Mg ha <sup>-1</sup> )		Massa de resíduos de parte aérea (Mg ha <sup>-1</sup> )			
Ano agrícola 2013/2014								
Feijão	161,0 <sup>ns</sup>	156,3	1,33 <sup>ns</sup>	1,21	1,64 <sup>ns</sup>	c	1,57	c
Soja	174,0 <sup>ns</sup>	169,1	3,23 <sup>ns</sup>	2,98	2,55 <sup>ns</sup>	b	2,62	b
Milho	194,1 <sup>ns</sup>	193,9	6,24 <sup>ns</sup>	6,31	8,69 <sup>*</sup>	a	6,64	a
Ano agrícola 2014/2015								
Feijão	175,3 <sup>*</sup>	150,3	1,34 <sup>ns</sup>	1,24	1,51 <sup>ns</sup>	c	1,53	c
Soja	174,1 <sup>ns</sup>	162,8	3,07 <sup>*</sup>	2,27	2,88 <sup>ns</sup>	b	3,37	b
Milho	188,9 <sup>ns</sup>	187,9	6,40 <sup>*</sup>	5,86	7,89 <sup>*</sup>	a	5,05	a

SD: Semeadura direta; PC: Preparo convencional. Efeito do manejo dentro de cada cultura (linha): \* significativo ( $p < 0,05$ ) e <sup>ns</sup> não significativo pelo teste Tukey ( $p \geq 0,05$ ). Médias seguidas por mesma letra minúscula (coluna), para massa de resíduos de parte aérea, não diferem entre si pelo teste Tukey ( $p \geq 0,05$ ).

Cfb), a quantidade mínima de Ms anual necessária para manter o PC em equilíbrio, em relação aos estoques de Corg no solo é de 13,8 Mg ha<sup>-1</sup>, enquanto na SD este valor é de 8,0 Mg ha<sup>-1</sup>. Do mesmo modo, conforme Alvarenga et al. (2001), a quantidade mínima anual de resíduos vegetais mantidos na superfície do solo para proporcionar adequada cobertura é de 6 Mg ha<sup>-1</sup>.

## Conclusões

O manejo do solo em condição de semeadura direta proporciona maior qualidade estrutural do solo, com redução da densidade e aumentos da porosidade total, estabilidade de agregados e grau de floculação da argila, porém com menor volume de macroporos na superfície do solo.

No sistema de semeadura direta há maior acúmulo de fósforo até 0,05 m, cálcio e magnésio até 0,1 m e potássio e carbono orgânico até 0,2 m de profundidade no solo, em relação ao preparo convencional e desenvolve gradiente de acidificação do solo a partir da superfície.

No preparo convencional do solo há redução no rendimento de grãos de soja e milho e na massa de mil grãos de feijão em um ano agrícola de um total de dois avaliados.

Feijão e soja produzem baixa quantidade de massa seca de resíduos da parte aérea, independente do sistema de manejo, enquanto o milho produz alta quantidade e maior na semeadura direta do que no preparo convencional.

## Literatura Citada

- Almeida, J.A.; Bertol, I.; Leite, D.; Amaral, A.J.; Zoldan Junior, W.A. Propriedades químicas de um Cambissolo Húmico sob preparo convencional e semeadura direta após seis anos de cultivo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.29, n.3, p.437-445, 2005. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832005000300014>.
- Alvarenga, R.C.; Cabezas, W.A.L.; Cruz, J.C.; Santana, D.P. Plantas de cobertura de solo para sistema plantio direto. *Informe Agropecuário*, v.22, n.208, p.25-36. 2001. <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/50687/1/Plantas-cobertura.pdf>. 03 Dez. 2016.
- Alvares, C.A.; Stape, J.L.; Sentelhas, P.C.; Gonçalves, J.L.M.; Sparovek, G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v.22, n.6, p.711-728, 2013. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>.
- Andrade, A.P.; Mafra, A.L.; Baldo, G.R.; Picolla, C.D.; Bertol, I.; Albuquerque, J.A. Physical properties of a Humic Cambisol under tillage and cropping systems after twelve years. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.34, n.1, p.219-226, 2010. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832010000100022>.
- Andrade, A.P.; Mafra, A.L.; Picolla, C.D.; Albuquerque, J.A.; Bertol, I. Atributos químicos de um Cambissolo Húmico após 12 anos sob preparo convencional e semeadura direta em rotação e sucessão de culturas. *Ciência Rural*, v.42, n.5, p.814-821, 2012. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782012005000013>.
- Bertol, I.; Albuquerque, J.A.; Leite, D.; Amaral, A.J.; Zoldan Junior, W.A. Propriedades físicas do solo sob preparo convencional e semeadura direta em rotação e sucessão de culturas, comparadas às do campo nativo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.28, n.1, p.155-163, 2004. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832004000100015>.
- Bortolini, D.; Albuquerque, J.A.; Rech, C.; Mafra, A.L.; Ribeiro Filho, H.M.N.R.; Pértile, P. Propriedades físicas do solo em sistema de integração lavoura-pecuária em Cambissolo Húmico. *Revista de Ciências Agroveterinárias*, v.15, n.1, p.60-67, 2016. <https://doi.org/10.5965/223811711512016060>.
- Costa, F.S.; Albuquerque, J.A.; Bayer, C.; Fontoura, S.M.V.; Wobeto, C. Propriedades físicas de um Latossolo Bruno afetadas pelos sistemas plantio direto e preparo convencional. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.27, n.3, p.527-535, 2003. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832003000300014>.
- Costa, F.S.; Bayer, C.; Zanatta, J.A.; Mielniczuk, J. Estoque de carbono orgânico no solo e emissões de dióxido de carbono influenciadas por sistemas de manejo no sul do Brasil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.32, n.1, p.323-332, 2008. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000100030>.
- Denardin, J.E.; Kochhann, R.A.; Faganello, A.; Cogo, N.P. Agricultura conservacionista no Brasil: uma análise do conceito à adoção. In: Leite, L.F.C.; Maciel, G.A.; Araújo, A.S.F. (Orgs.). *Agricultura conservacionista no Brasil*. Brasília: Embrapa, 2014. p.23-41.

- Drescher, M.S.; Eltz, F.L.F.; Denardin, J.E.; Faganello, A. Persistência do efeito de intervenções mecânicas para a descompactação de solos sob plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.35, n.5, p.1713-1722, 2011. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832011000500026>.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230p.
- Food and Agriculture Organization of United Nations - FAO. The state of the world's land and water resources for food and agriculture: managing systems at risk. London: Earthscan, 2011. 285p.
- Heinrichs, R.; Vitti, G.C.; Moreira, A.; Figueiredo, P.A.M.; Fancelli, A.L.; Corazza, E.J. Características químicas de solo e rendimento de fitomassa de adubos verdes e de grãos de milho decorrentes do cultivo consorciado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.29, n.1, p.71-79, 2005. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832005000100008>.
- Hickmann, C.; Costa, L.M. Estoque de carbono no solo e agregados em Argissolo sob diferentes manejos de longa duração. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.16, n.10, 1055-1061, 2012. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662012001000004>.
- Hickmann, C.; Costa, L.M.; Schaefer, C.E.G.R.; Fernandes, R.B.A. Morfologia e estabilidade de agregados superficiais de um Argissolo Vermelho-amarelo sob diferentes manejos de longa duração e mata atlântica secundária. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.35, n.6, p.2191-2198, 2011. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832011000600034>.
- Lal, R. Soil conservation and ecosystem services. *International Soil and Water Conservation Research*, v.2, n.3, p.36-47, 2014. [https://doi.org/10.1016/S2095-6339\(15\)30021-6](https://doi.org/10.1016/S2095-6339(15)30021-6).
- Nunes, M.C.M.; Cassol, E.A. Produção de sedimentos pela erosão em entressulcos em três Latossolos do Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.15, n.6, p.541-547, 2011. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662011000600001>.
- Oliveira, H.J.; Ernani, P.R.; Amarante, C.V.T. Alteração na composição química das fases sólida e líquida de um solo ácido pela aplicação de calcário e gesso agrícola. *Revista de Ciências Agroveterinárias*, v.1, n.2, p.93-101, 2002. <http://www.revistas.udesc.br/index.php/agroveterinaria/issue/view/issue/395/10>. 22 Out. 2017.
- Reichert, J.M.; Reinert, D.J.; Braida, J.A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. *Ciência & Ambiente*, v.27, n.1, p.29-48, 2003. [http://www.fisicadosolo.ccr.ufsm.whoos.com.br/downloads/Producao\\_Artigos/5.pdf](http://www.fisicadosolo.ccr.ufsm.whoos.com.br/downloads/Producao_Artigos/5.pdf). 02 Dez. 2016.
- Sá, J.C.M.; Sá, M.F.M.; Santos, J.B.; Oliveira, A. Dinâmica da matéria orgânica nos Campos Gerais. In: Santos, G.A.; Silva, L.S.; Canellas, L.P.; Camargo, F.A.O. (Orgs.). *Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais & subtropicais*. Porto Alegre: Metrópole, 2008. p.443-461.
- Santos, H.P.; Lhamby, J.C.B.; Spera, S.T. Rendimento de grãos de soja em função de diferentes sistemas de manejo de solo e de rotação de culturas. *Ciência Rural*, v.36, n.1, p.21-29, 2006. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782006000100004>.
- Schick, J.; Bertol, I.; Cogo, N.P.; González, A.P. Erosividade das chuvas de Lages, Santa Catarina. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.38, n.6, p.1890-1905, 2014. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832014000600024>.
- Silva, L.M.; Lemos, L.B.; Crusciol, C.A.C.; Feltran, J.C. Sistema radicular de cultivares de feijão em resposta à calagem. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.39, n.7, p.701-707, 2014. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2004000700012>.
- Silveira, P.M.; Stone, L.F.; Alvez Júnior, J.; Silva, J.G. Efeitos do manejo do solo sob plantio direto e de culturas na densidade e porosidade de um Latossolo. *Bioscience Journal*, v.24, n.3, p.53-59, 2008. <http://www.seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/6787>. 02 Dez. 2016.
- Tedesco, M.J.; Gianello, C.; Bissani, C.A.; Bohnen, H.; Volkweiss, S.J. Análises de solo, plantas e outros materiais. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174p.
- Torres, J.L.R.; Pereira, M.G.; Assis, R.L.; Souza, Z.M. Atributos físicos de um Latossolo vermelho cultivado com plantas de cobertura, em semeadura direta. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.39, n.2, p.428-437, 2015. <https://doi.org/10.1590/01000683rbcs20140597>.
- Werner, R.S.; Barbosa, F.T.; Bertol, I.; Wolschick, N.H.; Santos, K.F.; Mota, J.M. Soil properties and plant biomass production in natural rangeland management systems. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.40, e0150117, 2016. <https://doi.org/10.1590/18069657rbcs20150117>.
- Wolschick, N.H.; Barbosa, F.T.; Bertol, I.; Santos, K.F.; Werner, R.S.; Bagio, B. Cobertura do solo, produção de biomassa e acúmulo de nutrientes por plantas de cobertura. *Revista de Ciências Agroveterinárias*, v.15, n.2, p.134-143, 2016. <https://doi.org/10.5965/223811711522016134>.
- Xu, X.; Nieber, J.L.; Gupta, S.C. Compaction effect on the gas diffusion coefficient in soils. *Soil Science Society of America Journal*, v.56, n.6, p.1743-1750, 1992. <https://doi.org/10.2136/sssaj1992.03615995005600060014x>.
- Zanão Júnior, L.A.; Lana, R.M.Q.; Guimarães, E.C.; Araújo, J.M. Variabilidade espacial dos teores de macronutrientes em Latossolos sob sistema plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.34, n.2, p.389-400, 2010. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832010000200012>.