



Atributos químicos restritivos de Latossolo Vermelho distrófico e tipos de manejo de solo e rotação de culturas

Restrictive chemical attributes of a dystrophic Haplustox and different modes of soil tillage and crops rotation systems

Silvio Tulio Spera¹, Pedro Alexandre Varella Escosteguy², José Eloir Denardin³, Vilson Antônio Klein², Henrique Pereira dos Santos³

¹Embrapa Agrossilvipastoril. Caixa Postal 343, Sinop, MT, CEP 78550-003. E-mail:

silvio.spera@embrapa.br;

²Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Passo Fundo – UPF. Passo Fundo, RS;

³Embrapa Trigo. Passo Fundo, RS.

Recebido em: 12/05/2011

Aceito em: 30/09/2011

Resumo. O objetivo do trabalho foi avaliar os efeitos de diferentes tipos de manejo de solo e de rotações de culturas nos atributos químicos restritivos de duas camadas de solo na produção vegetal de culturas. O experimento foi conduzido em campo, na Embrapa Trigo, após 22 anos de cultivo sem aplicação de calcário, no solo. O delineamento experimental foi de blocos ao acaso, em esquema de parcelas subdivididas com três tipos de manejo e três rotações de culturas. Foi avaliado o efeito no rendimento de grãos e na matéria seca da parte aérea das culturas, bem como o efeito destes fatores nos atributos químicos dos solos também foi avaliado em função das camadas de 0 a 6,7 cm e de 6,8 a 20 cm. O efeito do manejo de solo e da rotação de culturas influenciou o rendimento de grãos das culturas de trigo e de sorgo, além da matéria da parte aérea destas culturas e da soja. Os atributos químicos do solo não foram afetados pela interação dos fatores estudados, sendo pouco influenciados pela rotação de culturas. Em todos os tratamentos, os resultados indicaram uma camada superficial (0 a 6,7 cm) com concentração de nutrientes e outra subsuperficial (6,8 a 20 cm) mais ácida e compactada. Na camada superficial os valores dos atributos químicos foram adequados para o desenvolvimento das culturas avaliadas nos manejos plantio direto e preparo mínimo. Não houve diferenças entre os valores de matéria orgânica e entre as frações particuladas. Na camada subsuperficial, em todos os tratamentos, os atributos de acidez do solo foram restritivos ao desenvolvimento de plantas.

Palavras-chave. Acidez do solo, culturas de grãos, matéria orgânica particulada, plantio direto.

Abstract. The goal of the work was to evaluate the effects of soil tillage and crop rotation systems in the restrictive chemical attributes and plant production of grain crops of two layers of soil. The experiment was carried out in Passo Fundo, RS, Brazil, after more than two decades without limestone application. The design was randomized blocks, schedule of split plots, with three modes of soil tillage and crop rotations. It was evaluated the effect on grain yield and dry matter of the shoot of winter (*Triticum aestivum*, *Avena sativa* and *Vicia sativa*) and summer (*Glycine max* and *Sorghum bicolor*) crops. The effect of these factors in soil chemical attributes has also been evaluated according to the layer of soil (0 to 6.7 and 6.8 to 20 cm). The effects of soil tillage and crop rotation influenced the grain yields of crops of wheat and sorghum only, in addition to the mass of the shoots of soybean crop. Chemical soil attributes were not influenced by the interaction of factors studied, being little influenced by crop rotation. In all treatments, the results indicated a surface layer (0 to 6.7 cm) with a nutrient concentration, and other subsurface (6.8 to 20 cm) compacted and acid. In the surface layer the values of chemicals attributes were appropriated for the developing cropping evaluated. There were no differences between the amounts of organic matter and the particulate fraction. In the layer subsurface, in all treatments, the attributes of the soil acidity were restrictive to plant development.

Keywords. No-till, grain crop, soil acidity, particulate organic matter.



Introdução

Os Latossolos Vermelhos distróficos são os principais solos agrícolas da região do Planalto Médio sul-rio-grandense que estão sob uso agrícola há mais de cinco décadas. Inicialmente estes solos eram manejados com preparo convencional com arados e grades, a cada safra. A partir do fim dos anos 1980, estes solos passaram a ser, paulatinamente, manejados com plantio direto (Streck et al., 2008).

Nesta mudança de manejo, alterações nos atributos químicos podem ter ocorrido devido às diferenças entre cada tipo de manejo (Oliveira et al., 2004; Almeida et al., 2005; Santos et al., 2008). Estes solos, quando passaram a ser manejados com plantio direto, deixaram de ser revolvidos em toda camada cultivada (0 a 20 cm), ocorrendo mobilização somente na linha de semeadura. O manejo com escarificador de hastes também não mais promoveu revolvimento desta camada (Secco et al., 2009). Assim, relevantes alterações nos atributos químicos destes solos têm sido observadas com o passar dos anos de uso. Santos et al. (2008) observaram, em Latossolo Vermelho distrófico, acumulação de P, K e de matéria orgânica do solo (MOS) na camada superficial de parcelas submetidas aos manejos conservacionistas plantio direto e cultivo mínimo em relação às parcelas manejadas com arados de discos e de aivecas. Verificaram, também, aumento da acidez nas camadas abaixo de 10 cm. Nessas condições, o monitoramento da acidificação, com vistas à correção do solo deve ser mais frequente (Vieira et al., 2008). Costa et al. (2004) encontraram maior teor de MOS em solo manejado sob plantio direto, enquanto Tomm et al. (2007) não observaram diferenças destes teores entre os tipos de manejo.

A matéria orgânica particulada (MOP) tem sido estudada por ser um importante indicador de qualidade física e química do solo e ser sensível às modificações induzidas por diferentes tipos de manejo do solo (Cambardella & Elliot, 1992). Debiasi (2008) e Spera (2009), entretanto, não encontraram diferenças entre os teores de MOP de solos sob plantio direto com e sem escarificação.

Apesar de os solos manejados com plantio direto mostrarem, principalmente nas camadas subsuperficiais, atributos químicos restritivos mais relevantes relativos à acidificação, o rendimento de grãos de culturas de verão nestes solos não tem sido

menor que o das parcelas manejadas com preparo convencional (Ernani et al., 2001; Spera et al., 2004; Santos et al., 2008; Spera, 2009). Nestes mesmos tipos de solo e de manejos, Santos et al. (2006) constataram, em algumas safras, maiores rendimentos de grãos de trigo, mas atribuíram a efeitos benéficos da rotação de culturas e não aos tipos de manejo do solo.

O objetivo do trabalho foi avaliar os efeitos de tipos de manejo de solo e de rotações de culturas nos atributos químicos restritivos de duas camadas situadas entre 0 a 20 cm, de um Latossolo Vermelho distrófico com mais de 22 anos sem a reaplicação de calcário, na produção vegetal de culturas.

Material e Métodos

No presente estudo, foram selecionadas parcelas de um experimento instalado sobre um Latossolo Vermelho distrófico, localizado em Passo Fundo, RS. O experimento foi realizado, durante 22 anos, em delineamento de blocos casualizados, com esquema de subparcelas, envolvendo tratamentos de manejo de solo: plantio direto (PD); preparo mínimo de solo com escarificador de hastes (PM) e; revolvimento com arado e grades (PC), uma vez ao ano, antecedendo a cultura de inverno. Em cada um dos tratamentos de manejo de solo, continha, como subparcela, as rotações de culturas trigo/soja (R1), trigo/soja e ervilhaca/sorgo (R2) e, trigo/soja, ervilhaca/sorgo e aveia branca/soja (R3). Amostras de solo também foram coletadas em fragmento de floresta subtropical ao lado do experimento, com o mesmo número de repetições, e nas mesmas camadas dos tratamentos, sendo assumidas como testemunha da condição original do solo. Entretanto, os valores dos atributos químicos da mata diferiram sempre dos valores dos tratamentos, não sendo, portanto, considerados nas comparações do presente trabalho.

Antes da instalação do experimento, a camada de 0 a 20 cm da área total foi amostrada, e os valores médios encontrados foram: $\text{pH}_{\text{água}}$: 4,8; Al^{3+} : 1,2 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; Ca trocável: 3,0 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; Mg trocável: 1,9 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; matéria orgânica: 34,0 g dm^{-3} ; P: 23,0 mg dm^{-3} e, K: 104 mg dm^{-3} . O solo foi escarificado com equipamento de hastes rígidas e, posteriormente, submetido à correção de acidez, com 7,0 t ha^{-1} de calcário dolomítico (PRNT 100 %), visando a elevar o $\text{pH}_{\text{água}}$ a 6,0. As amostras foram coletadas em junho de 2007, em dois ambientes



edáficos representando as camadas de 0 a 6,7 cm e de 6,8 a 20 cm, amostras estas destinadas às análises de rotina. As amostras também foram usadas em análises da MOP. Foram coletadas amostras de plantas para avaliação do rendimento de grãos e matéria seca da parte aérea das culturas de trigo, aveia branca, ervilhaca, soja e sorgo.

As culturas foram semeadas nas épocas, espaçamentos e cultivares recomendadas pela pesquisa e extensão rural, bem como os tratamentos fitossanitários e as demais práticas culturais. As adubações foram feitas segundo o manual de adubação (CQFS-RS/SC, 2004). Entretanto, o presente estudo foi conduzido em um experimento de longa duração cujos tratamentos possuíam como característica peculiar, a não realização da calagem quando as condições edáficas (saturação por alumínio e por bases) estipuladas pela recomendação oficial já estavam ocorrendo, para atender a uma hipótese de Pöttker & Ben (1998).

As amostras foram utilizadas para análises de química de rotina e carbono orgânico, segundo métodos de Tedesco et al. (1995). As análises de MOP foram efetuadas conforme Cambardella &

Elliot (1992). Os resultados das análises dos atributos de solo foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas com o teste Tukey com o programa CoStat (CoHort, 2009), enquanto as médias dos valores das camadas de 0 a 6,7 cm e de 6,8 a 20 cm, comparadas por teste t pareado (Snedecor & Cochran, 1982).

Resultados e Discussão

Os resultados das avaliações estatísticas indicaram diferenças entre as médias dos tratamentos de alguns dos atributos avaliados. As principais diferenças foram observadas quando se comparou as duas camadas estudadas. A Tabela 1 mostra que os valores de pH variaram apenas entre os tipos de manejo na camada de 6,8 a 20 cm, enquanto que os valores de índice SMP variaram em ambas as camadas. Não houve diferenças entre as médias destes atributos nas rotações de culturas. Entretanto, em todos os tratamentos, ocorreram diferenças nos valores de pH e índice SMP entre das camadas avaliadas, sendo os valores de pH e do índice SMP menores na camada de 6,8 a 20 cm.

Tabela 1. Valores médios de pH e índice SMP de duas camadas de Latossolo Vermelho distrófico submetidas a três tipos de manejo e de rotações de culturas, após 22 anos sem calagem.

Médias	Camada, cm		6,8 - 20	CV, %	Valor de t
	0 – 6,7	CV, %			
pH					
PD ⁽¹⁾	4,96	2,0	4,95b	1,6	5,49*
PC	5,08	2,0	5,07a	2,3	4,13*
PM	5,02	2,0	4,97b	2,3	5,00*
Rotações ⁽²⁾	5,02	1,7	5,00	2,2	8,66*
Mata	4,42	4,3	4,17	0,1	3,47*
Índice SMP					
PD ⁽¹⁾	5,37b	1,6	5,33b	1,7	7,62*
PC	5,53a	1,0	5,46a	1,9	4,10*
PM	5,46ab	1,0	5,38ab	2,0	3,33*
Rotações ⁽²⁾	5,45	1,2	5,39	2,3	7,87*
Mata	5,33	2,3	4,97	1,9	2,29 ^{ns}

PD = plantio direto. PC = preparo convencional com arados e grades. PM = preparo com escarificador de hastes. (1) as médias dos manejos, na respectiva camada, diferiram entre si e em (2) as médias das rotações não diferiram entre si ao nível de 5 % de probabilidade de erro pelo teste Tukey. * = houve diferença entre as camadas. ns = não houve diferença entre as camadas.

Santos et al. (2008) e Spera (2009) observaram anteriormente, no experimento do presente trabalho, diferenças entre as camadas superficiais e as subsuperficiais do PD em

comparação ao PC. Porém, observaram dentro de um mesmo tipo de manejo, diferenças entre estas camadas no PC e PD. Tomm et al. (2007) trabalhando com tipos de manejo em um Latossolo



Vermelho distrófico observaram as mesmas diferenças. Em um trabalho conduzido em Latossolo do Cerrado, Siqueira Neto et al. (2009) encontraram diferenças de valor de pH entre as camadas superficiais e as subsuperficiais somente em PD, sendo que, em comparação ao PC, os valores foram menores em ambas as camadas. Vieira et al. (2008) encontraram valores de pH de mesma magnitude, porém, com diferenças entre os tratamentos, na profundidade de até 25 cm de um Argissolo distrófico sob PD no Rio Grande do Sul manejados sob diferentes sequências de cultivos após mais de vinte anos sem calagem. Os autores atribuíram estas diferenças de intensificação de acidificação aos distintos graus de remoção de bases alcalinas pelos grãos. Tal comportamento, porém, não foi constatado no presente trabalho.

Os valores de pH, baixos de acordo com a CQFS-RS/SC (2004), foram atribuídos a não reaplicação de calcário nos últimos 22 anos antes da amostragem. No presente estudo, os valores de pH se estabilizaram próximos de 5,0, pois, de acordo com Ernani (2008), mesmo na ausência de calagem, adições de grande quantidade de fertilizantes salinos ocasionam reações secundárias que afetam os níveis de atividade relativa do H^+ da solução. O critério adotado no início do experimento, de se efetuar calagem quando o pH fosse menor que 5,0 na camada de 0 a 5 cm (Pöttker & Ben, 1998) foi desconsiderado em recomendação posterior da CQFS-RS/SC (2004).

Na Tabela 2 são mostrados os valores médios de Al, Ca e Mg das camadas estudadas. Os valores de Al e de Mg não diferiram, na mesma camada, entre os tratamentos e ocorreram em níveis elevados para o Al, e médios para o Mg, conforme a CQFS-RS/SC (2004). Os teores de Ca variaram entre os tipos de manejo na camada de 0 a 6,7 cm, sendo maior no PD em relação ao PC. Os teores de Al trocável foram maiores que os níveis considerados tóxicos às plantas. Os menores valores de Al coincidiram com os maiores valores de pH, havendo forte correlação inversa entre estes parâmetros ($r = -0,70$; $p < 0,0001$), conforme esperado e também observado por Sousa et al. (2007).

Após vários anos sem calagem foi constatado em ambas as camadas e em todos os tratamentos, valores de saturação por alumínio maiores que 10%, assim, pôde-se especular que o Al neutralizado pelos ânions carbonáticos foi solubilizado (Ernani, 2008).

No presente estudo foi avaliado o teor de Mn no solo, pois, na Região do Planalto Médio, este micronutriente pode ocorrer em níveis tóxicos, conforme Escosteguy et al. (2006).

No presente trabalho foi verificada redução dos valores de pH, do valor V, dos teores de cátions de reação básica e aumento do teor de Al trocável, em função do tempo de cultivo sem reaplicação de calcário. Com base em informações de diversos trabalhos, Oliveira et al. (2002) e Spera (2009) relatam a ocorrência de alterações nos indicadores de acidez das camadas superficiais, principalmente em solos sob PD. Estes autores destacam como determinantes da magnitude dessas mudanças, os teores iniciais dos cátions de reação básica trocáveis, o tempo de cultivo, os teores de cátions e de carbono solúvel dos resíduos culturais em superfície, da capacidade de acidificação das raízes das culturas que compõem as rotações de culturas e do manejo da adubação nitrogenada.

Os teores de Ca, em todos os tratamentos, foram ligeiramente menores que os da condição inicial do experimento. Isso indica que a reacidificação do solo dos tratamentos testados não se deveu somente a perdas de Ca. Os teores de Ca foram maiores na camada 0 a 6,7 cm em comparação ao PC. Constatou-se, também, nas rotações, maior teor de Ca nessa camada. Os teores de Ca trocáveis foram menores na camada 6,8 a 20 cm do que nas camadas superficiais, em todos os tipos de manejo de solo, ou seja, na camada compactada. Em todos os tratamentos, os valores de Ca foram menores que o valor crítico conforme CQFS-RS/SC (2004) ($2,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$), enquanto que os valores de Mg foram ligeiramente maiores que o valor crítico estabelecido ($0,5 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$).

Os maiores teores de Mg do solo foram observados na camada de 0 a 6,7 cm (Tabela 1). Em razão da pouca solubilidade do calcário, quando este é aplicado em superfície, e da pouca estabilidade de ânions carbonáticos derivados da dissolução do calcário, não é esperado que ocorra correção da acidez, e aumento da disponibilidade de Ca e Mg nas camadas subsuperficiais, principalmente, aquelas situadas abaixo de uma camada compactada (Miyazawa et al., 2000). Isso explica o fato da correção da acidez e o suprimento de Ca e Mg, mesmo no solo com revolvimento, ser restrita às camadas superficiais do solo, quando o calcário é



aplicado em superfície e não há revolvimento imediato do solo, como no PC (Oliveira et al., 2002).

Tabela 2. Valores médios de alumínio, cálcio, magnésio, saturação por bases (V), saturação por alumínio (m) e manganês de duas camadas de Latossolo Vermelho distrófico, submetido a três tipos de manejo e de rotações de culturas, após 22 anos sem calagem.

Médias	Camada, cm				Valor de t
	0 – 6,7	CV, %	6,8 - 20	CV, %	
	Al, cmol _c kg ⁻¹				
Tratamentos ⁽¹⁾	0,96	5,2	1,39	5,5	11,61*
Mata	1,24	12,8	2,71	3,9	3,17*
	Ca, cmol _c kg ⁻¹				
PD ⁽¹⁾	2,91a	9,2	2,51	6,9	6,15*
PC	2,49b	8,7	2,49	12,6	2,83*
PM	2,69ab	8,6	2,35	9,0	6,38*
Rotações ⁽²⁾	2,70	8,0	2,45	9,6	6,93*
Mata	2,03	14,5	1,01	17,7	3,18*
	Mg, cmol _c kg ⁻¹				
Tratamentos ⁽¹⁾	1,24	11,8	1,02	13,6	7,41*
Mata	1,17	5,4	0,84	16,3	4,83*
	V, %				
Tratamentos ⁽¹⁾	37	8,1	32	14,5	10,56*
Mata	29	9,4	12	17,7	3,10*
	m, %				
Tratamentos ⁽¹⁾	17	5,2	26	5,5	13,66*
Mata	27	22,5	59	7,1	3,48*
	Mn, mg kg ⁻¹				
PD	49a	6,3	42a	6,3	0,77 ^{ns}
PC	28b	5,3	42a	5,8	2,41*
PM	42ab	6,2	31b	5,9	5,00*
R1	35b	7,0	35	5,9	2,24 ^{ns}
R2	40ab	6,7	39	6,5	1,74 ^{ns}
R3	44a	6,1	41	6,2	2,43*
Mata	92	7,7	68	16,7	2,83*

PD = plantio direto. PC = preparo convencional com arados e grades. PM = preparo com escarificador de hastes. R1 = trigo/soja. R2 = trigo/soja e ervilhaca/sorgo. R3 = trigo/soja, ervilhaca/sorgo e aveia branca/soja. *= indica diferença entre as camadas pelo teste t pareado. ns = não houve diferença entre as camadas.

Os maiores teores de Mn do solo foram observados na camada de 0 a 6,7 cm dos manejos PD e PM e da mata (Tabela 2), os quais também têm menores valores de pH. Houve também diferença dos teores de Mn na camada 6,8 a 20 cm entre o manejo PM e os demais estudados. A rotação trigo/soja mostrou menor teor de Mn na camada de 0 a 6,7 cm. Os teores de Mn não diferiram entre as camadas no manejo PD e nas rotações R2 e R3.

O Mn, embora considerado um micronutriente, pode ocorrer em níveis tóxicos em Latossolos de Passo Fundo (Escosteguy et al., 2006). O solo do experimento, de origem basáltica, contém teores elevados de Mn em sua composição (Pérez et al., 1997). Estes aspectos explicam os teores maiores que o nível considerado alto (5,0 mg dm⁻³) pelos critérios da CQFS-RS/SC (2004).

A tendência do teor de Mn trocável ser mais elevado em solos com PD, em relação ao PC, não



pode ser explicada apenas pelos valores de pH do solo. No PD, a aplicação superficial de calcário resulta em valores de pH mais elevados em superfície, o que em consequência, deveria diminuir e não aumentar o teor desse micronutriente. As maiores quantidades de Mn no PD têm sido atribuídas ao teor mais elevado de MOS existente nos solos com este manejo (Moreira et al., 2006). Borkert (1991) cita ocorrência de toxidez de Mn em solos do RS. No presente trabalho, apesar dos teores elevados de Mn, sintomas de toxidez não foram observados em plantas de soja. No entanto, como os sintomas se manifestam em situação de estresse causado por este cátion, isto não significa que o rendimento das plantas não possa ser limitado pelo alto teor de Mn.

Na Tabela 2 constam também os resultados dos valores de saturação por bases em função dos fatores avaliados no experimento. Os valores médios de saturação por bases dos tratamentos, em ambas as camadas, foram menores que os valores críticos de 80% e 65%, indicados pela CQFS-RS/SC (2004), para se proceder a calagem, tanto em solo manejados com PC, como com PD, respectivamente.

A saturação por Al nos tratamentos foi maior que o valor crítico de 10 %, que é um dos critérios secundários de decisão de calagem (CQFS-RS/SC, 2004), em solos sob PD, quando a interpretação do valor do pH em água discorda do valor V. Mesmo na camada 0 a 6,7 cm, onde geralmente há maior acúmulo de material orgânico e de cátions de reação básica trocáveis, que são os principais responsáveis pela menor expressão do Al tóxico (Anghinoni & Salet, 2000; Oliveira et al., 2002), a saturação por Al também foi maior que 10 %. Os valores de Al, saturação por bases e saturação por Al diferiram entre as camadas de 0 a 6,7 e de 6,8 a 20 cm. Em ambas as camadas foram constatadas, em todos os tratamentos, valores de saturação por alumínio maior que 10 %, isso indica que, após vários anos sem calagem, o Al neutralizado pelos ânions carbonáticos, foi solubilizado.

Os teores de P do solo foram maiores nos manejos PD e PM em relação ao PC, mas não houve diferenças entre ambas as camadas (Tabela 3). Não houve diferenças entre os teores deste nutriente em função das rotações de culturas. Na camada de 0 a 6,7 cm o teor de P no PD foi o dobro do PC, sendo interpretado como muito altos ($> 18 \text{ mg dm}^{-3}$) (CQFS-RS/SC, 2004).

Em ambas as camadas, o teor de P nos sistemas de manejo conservacionistas foram maiores que no PC. Em todos os tipos de manejo de solo e de rotações de culturas avaliadas, até a profundidade de 20 cm, o teor de P foi maior que $9,0 \text{ mg dm}^{-3}$, considerado o valor crítico, na classe de textura do solo estudado (CQFS-RS/SC, 2004).

O teor muito alto de P na camada superficial indica que os níveis biodisponíveis desse nutriente foram afetados pelo acúmulo na superfície devido à ausência de incorporação. A elevação da disponibilidade de P, promovida por adubações sucessivas, que também foi verificada no presente estudo, também melhorou as condições de solo que promovem o crescimento e desenvolvimento de plantas (Ernani et al., 2001; Ernani, 2008). Os maiores valores de P foram constatados no PD e no PM, onde também foram observados maiores teores de Ca em superfície, embora não tenha sido observadas diferenças nos valores de pH (Tabela 1). Apesar de não ter sido constatada diferenças entre as camadas pelo teste t pareado, os resultados confirmaram a tendência de acúmulo de P na superfície de solos sob manejo conservacionistas, que também foi verificada em outros trabalhos (Moreira et al., 2006; Oliveira et al., 2002; Spera, 2009).

O teor K extraído do solo foi maior na camada de 0 a 6,7 cm, independente do tipo de manejo do solo ou de rotação de culturas (Tabela 3). Porém, diferiu entre as duas camadas avaliadas e a interpretação desse nutriente correspondeu, nas duas camadas, à classe de K muito alto ($> 120 \text{ mg dm}^{-3}$: CQFS-RS/SC, 2004). Os resultados da também mostram que os teores de K foram muito maiores que o teor considerado crítico, o que indica que o K não necessita ser aplicado, ao menos na safra seguinte, nestes tratamentos. Em todos os tratamentos avaliados, o teor de K foi maior que 60 mg dm^{-3} , considerado que a CTC se situa entre 5 a $15 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ (CQFS-RS/SC, 2004).

Assim como verificado com o P, os níveis de K obtidos nos tratamentos avaliados também foram muito altos, até a profundidade de 20 cm. O excesso de K, além de favorecer perdas do nutriente por transporte pelo deflúvio, dissolvido na água da enxurrada e por lixiviação, afetou a relação entre K e Ca+Mg, uma vez que os teores destes dois cátions bivalentes foram baixos ou médios. Os valores da relação Ca+Mg:K indicam que o valor desta relação



é menor do que aqueles relatados em Embrapa Soja (1999), que sugerem a faixa de 12 a 20. Os valores da relação (Tabela 4), em ambas as camadas solos

do experimento, foram baixos (< 12), indicando excesso de K no solo.

Tabela 3. Valores médios do teor de fósforo e de potássio de duas camadas de Latossolo Vermelho distrófico submetidas a três tipos de manejo e de rotações de culturas.

Médias	Camada, cm		Camada, cm		Valor de t
	0 – 6,7	CV, %	6,8 – 20	CV, %	
	P, mg kg ⁻¹				
PD ⁽¹⁾	50a	10,6	36a	5,8	1,76 ^{ns}
PC	24b	12,5	21b	5,7	0,23 ^{ns}
PM	44a	15,5	34a	5,3	0,07 ^{ns}
Rotações ⁽²⁾	40	13,5	39	5,9	0,79 ^{ns}
Mata	7	13,4	5	1,0	2,43 ^{ns}
	K, mg kg ⁻¹				
Tratamentos ⁽¹⁾	356	5,4	209	12,6	7,36*
Mata	88	19,2	44	16,6	1,33 ^{ns}

(1) as médias dos tratamentos, na respectiva camada, não diferiram entre si e em (2) as médias das rotações não diferiram entre si ao nível de 5 % de probabilidade de erro pelo teste Tukey. * = houve diferença entre as camadas. ns = não houve diferença entre as camadas.

Tabela 4. Valores médios da Relação Ca+Mg:K de duas camadas de Latossolo Vermelho distrófico submetidas a três tipos de manejo e de rotações de culturas, após 22 anos sem calagem.

Médias	Camada, cm		Camada, cm		Valor de t
	0 – 6,7	CV, %	6,8 - 20	CV, %	
	Ca+Mg:K				
Tratamentos ⁽¹⁾	7,3	5,8	6,8	3,8	0,87 ^{ns}
Mata	18,0	20,5	16,9	9,1	2,61 ^{ns}

(1) as médias dos tratamentos, na respectiva camada, não diferiram entre si ao nível de 5 % de probabilidade de erro pelo teste Tukey. * = houve diferença entre as camadas. ns = não houve diferença entre as camadas.

Houve interação entre o tipo de manejo e de rotação de culturas, nos valores da relação Ca+Mg:K das duas camadas avaliadas. Em todas as rotações, os valores foram inferiores ao valor 12 de referência, indicando excesso de K no solo. Os valores foram menores na camada de 0 a 6,7 cm, na qual houve maior acúmulo de K. As rotações mostraram resultados distintos, conforme o tipo de manejo, sem uma tendência clara, refletindo talvez, diferenças na ciclagem pelas distintas espécies das rotações (Malavolta, 2006).

Os altos teores de P e K que acumularam na camada superficial dos tratamentos avaliados podem estar relacionados a um menor nível de absorção destes nutrientes pelas plantas. A elevada acidez, a baixa disponibilidade de Ca, o excesso de Al e inadequada quantidade de fertilizantes aplicados, podem ter promovido este acúmulo (Bernardi et al., 2009). O excesso de Al provoca inibição não

competitiva do P (Floss, 2006). Por outro lado, isto poderia ter sido evitado, com o monitoramento destes atributos no solo e a utilização do sugerido em CQFS-RS/SC (2004), pois ao menos uma vez deve ter ocorrido aplicação de fertilizantes em quantidade maiores que as recomendadas, ao longo do experimento (Spera, 2009).

A matéria orgânica do solo (MOS) determinada pelo método de rotina (Tedesco et al., 1995) não mostrou diferenças entre os fatores estudados. A Tabela 5 mostra que os maiores teores de MOS foram observados na camada de 0 a 6,7 cm, e que houve diferenças entre as camadas. Os teores de MOS observados indicaram que, após 22 anos de cultivo sem reaplicação de calcário, independente do tipo de manejo ou de rotação, mantiveram-se estáveis, não havendo incrementos em relação aos teores do início do experimento. Nas camadas avaliadas, o conteúdo de MOS foi maior nas



camadas de 0 a 6,7 cm de todos os tratamentos. Entretanto, tem sido constatado na maioria dos trabalhos realizados sobre o PD (Costa et al., 2004; Oliveira et al., 2004; Almeida et al., 2005; Loss et

al., 2009), que os valores de MOS são geralmente maiores neste tipo de manejo.

Tabela 5. Valores médios do teor de matéria orgânica do solo (MOS) e das respectivas frações particulada (MOP) e associada aos minerais (MOM) de duas camadas de Latossolo Vermelho distrófico submetidas a três tipos de manejo e de rotações de culturas.

Médias	Camada, cm		Camada, cm		Valor de t
	0 - 6,7	CV, %	6,8 - 20	CV, %	
	MOP, g kg ⁻¹				
Tratamentos ⁽¹⁾	8,3	8,7	7,2	7,3	4,17*
Mata	14,2	15,8	10,2	14,6	8,52*
	MOM, g kg ⁻¹				
Tratamentos ⁽¹⁾	21,2	5,2	19,7	4,1	3,21*
Mata	32,3	16,4	23,6	13,0	8,88*
	MOS, g kg ⁻¹				
Tratamentos ⁽¹⁾	29,4	5,5	26,8	4,5	30,42*
Mata	46,5	15,8	33,8	13,5	8,86*

(1) as médias dos tratamentos, na respectiva camada, não diferiram entre si ao nível de 5 % de probabilidade de erro pelo teste Tukey. * = houve diferença entre as camadas. ns = não houve diferença entre as camadas.

Os rendimentos de grãos e de matéria seca das culturas, de acordo com os tipos de manejo do e de rotações estão apresentados na Tabela 6. Somente a cultura do sorgo mostrou diferenças entre os tipos de manejo. Os maiores rendimentos de grãos e de matéria seca do sorgo ocorrem em manejos conservacionistas. Rodrigues & Santos (2007) destacam que o sorgo tem apresentado maiores

rendimentos quando cultivados sob sistema plantio direto. Os maiores rendimentos de grãos e de matéria seca do trigo na rotação em que o cereal é cultivado a cada três anos podem ser explicados pela redução no potencial de inóculo de doenças do cereal, que é menor nestas condições, conforme avaliou Santos et al. (2006).

Tabela 6. Médias de valores rendimento de grãos e matéria seca de culturas em três tipos de manejo de solo e de rotação. Passo Fundo (RS) 2009.

Cultura	PD	PC	PM	R1	R2	R3	CV %
Rendimento de grãos (kg ha ⁻¹)							
Trigo	2.964 ^{ns}	2.965	3.021	2.643c	2.960b	3.308a	11,7
Soja	2.434 ^{ns}	2.443	2.442	2.414 ^{ns}	2.471	2.435	12,4
Aveia branca	3.149 ^{ns}	3.121	2.997	-	-	3.089	6,4
Sorgo	6.053a	5.522b	6.083a	-	5.933 ^{ns}	5.838	12,5
Matéria seca (kg ha ⁻¹)							
Trigo	7.330 ^{ns}	7.007	7.465	6.466c	7.267b	8.064a	14,9
Soja	4.779a	4.265b	4.987a	4.390 ^{ns}	4.864	4.778	11,4
Aveia branca	7.735 ^{ns}	7.761	7.617	-	-	7.671	11,6
Sorgo	15.605a	13.877b	15.688a	-	15.075 ^{ns}	15.038	15,2
Ervilhaca	3.913 ^{ns}	3.845	3.974	-	3.833 ^{ns}	3.989	14,9

PD: plantio direto; PC: preparo convencional com arado de discos e grades; PM: preparo mínimo com escarificador de hastes; R1: rotação trigo/soja; R2: rotação trigo/soja e ervilhaca/sorgo; R3: rotação trigo/soja, ervilhaca/sorgo e aveia branca/soja. Valores seguidos de letras diferentes, na horizontal, indicam



diferenças entre os tipos de manejo e rotação de culturas pelo teste Tukey, ns: indica diferenças não significativas.

Conclusões

Os atributos químicos relativos à acidez indicaram que o solo de todos os tratamentos, após duas décadas sem calagem, acidificou-se intensamente, em níveis restritivos ao desenvolvimento das plantas, independente do tipo de manejo do solo ou de rotação de culturas.

Após duas décadas sem calagem, os teores de Ca foram médios e os de Mg acima do crítico, sendo porém, que os de Ca se concentraram na camada superficial dos manejos PD e PM, em níveis que favorecem a concentração de sistemas radiculares na camada superficial. Os teores de Al, entretanto, não atingiram níveis críticos.

O P e o K acumularam nas camadas superficiais dos tipos de manejo conservacionista (PD e PM), entretanto, os teores destes nutrientes no solo foram muito altos, caracterizando acumulação superficial.

Os teores de MOS, da fração MOP e da fração MOM não foram afetadas pelos tratamentos e o teor de MOS dos tratamentos não mostrou acréscimos e, após mais de duas décadas, reduziram-se quase à metade em relação à mata.

Referências

ALMEIDA, J.A.; BERTOL, I.; LEITE, D.; AMARAL, A.J.; ZOLDAN JR., 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, p.437-445, 2005.

ANGHINONI, I.; SALET, R.L. Reaplicação de calcário no sistema plantio direto consolidado. In: KAMINSKI, J. (coord.). **Uso de corretivos da acidez do solo no plantio direto**. Pelotas: SBCS-NRS, 2000, p.41-59. (SBCS – Núcleo Regional Sul. Boletim Técnico n, 4).

BERNARDI, A.C.C.; OLIVEIRA JR., J.P.; LEANDRO, W.M.; MESQUITA, T.G.S.; FREITAS, P.L.; CARVALHO, M.C.S. Doses e formas de aplicação da adubação potássica na rotação soja, milho e algodão em sistema plantio direto. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v.39, p.158-167, 2009.

BEUTLER, J.F. **Parâmetros de solo e máquinas na semeadura direta de milho e soja em duas coberturas de solo sobre campo natural**. Porto Alegre: UFRGS, 2005. 107p. Tese de Doutorado.

BORKERT, C.M. Manganês. In: FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P. **Micronutrientes na agricultura**. Piracicaba: POTAFÓS, 1991. p.173-188.

CALEGARI, A.; HARGROVE, W.L.; RHEINHEIMER, D.S.; RALISCH, R.; TESSIER, D.; TOURDONNET, S.; GUIMARÃES, M.F. Impact of long-term no-tillage and cropping system management on soil organic carbon in an Oxisol: a model for sustainability. *Agronomy Journal*, v.100, p.1.013-1.019, 2008.

CAMBARDELLA, C.A.; ELLIOT, E.T. Particulate soil organic-matter changes across a grassland cultivation sequence. *Soil Science Society of America Journal*, v.56, p.777-783, 1992.

COHORT SOFTWARES. **Free Trial Version of CoStat 6.4**. Monterrey, 2009. Disponível em: <<http://www.cohort.com>>. Acesso em: 02/10/2009.

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

COSTA, F.S.; BAYER, C.; ALBUQUERQUE, J.A.; FONTOURA, S.M.V. Aumento de matéria orgânica num latossolo bruno em plantio direto. *Ciência Rural*, v.34, p.587-589, 2004.

DEBIASI, H. **Recuperação física de um Argissolo compactado e suas implicações sobre o sistema solo-máquina-planta**. Porto Alegre: UFRGS, 2008. 263p. Tese de Doutorado.

EMBRAPA SOJA. **Recomendações técnicas para a cultura da soja no Paraná 1999/2000**. Londrina, 1999. 236p. (Embrapa Soja. Documentos, 131).



- EMBRAPA SOLOS. **Manual de métodos de análise de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro, 1997, 212p. (Embrapa-CNPS. Documentos, 1).
- ERNANI, P.R.; STECKLING, C.; BAYER, C. Características químicas de solo e rendimento de massa seca de milho em função do método de aplicação de fosfatos, em dois níveis de acidez. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, p.939-946, 2001.
- ERNANI, P.R. **Química do solo e disponibilidade de nutrientes**. Lages: o Autor, 2008. 230p.
- ESCOSTEGUY, P.A.V.; KLEIN, V.A.; CERINI, J.B.; MACHADO, M.E. Toxidez de manganês em soja. **Revista Plantio Direto**, v.95, p.28-37, 2006.
- FLOSS, E.L. **Fisiologia das plantas cultivadas: o estudo do que está por trás do que se vê**. 3. ed. atual. e ampl. Passo Fundo: UPF Editora, 2006. 751p.
- LOSS, A.; PEREIRA, M.G.; SCHULTZ, N.; ANJOS, L.H.C.; SILVA, E.M.R. Carbono e frações granulométricas da matéria orgânica do solo sob sistemas de produção orgânica **Ciência Rural**, v.39, p.1.077-1.082, 2009.
- MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 638p.
- MIYAZAWA, M.; PAVAN, M.A.; FRANCHINI, J.C. Resíduos vegetais: influência na química de solos ácidos. In: SIMPÓSIO SOBRE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS NO SPD, 1. Ponta Grossa, 2000. **Anais...** Ponta Grossa, IAPAR, 2000, p.82-94.
- MOREIRA, S.G.; PROCHNOW, L.I.; KIEHL, J.C.; MARTIN NETO, L.; PAULETTI, V. Formas químicas, disponibilidade de manganês e produtividade de soja em solos sob semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.30, p.121-136, 2006.
- OLIVEIRA, F.H.T.; NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; CANTARUTTI, R.B.; BARROS, N.F. Fertilidade do solo no sistema plantio direto. In: ALVAREZ-VENEGAS, V.H.; SCHAEFER, C.E.G.R.; BARROS, N.F.; MELLO, J.W.V.; COSTA, L.M. (Eds.). **Tópicos de ciência do solo**. Viçosa: SBCS, v.2, p.393-486, 2002.
- OLIVEIRA, G.C.; DIAS JR., M.S.; RESCK, D.V.S.; CURI, N. Caracterização química e físico-hídrica de um Latossolo Vermelho após vinte anos de manejo e cultivo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, p.327-336, 2004.
- PÉREZ, D.V.; SALDANHA, M.F.C.; MENEGUELLI, N.A.; MOREIRA, J.C.; VAITSMAN, D.S. **Geoquímica de alguns solos brasileiros**. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS. 1997. 14p. (EMBRAPA CNPS. Pesquisa em andamento, 4).
- POTTKER, D.; BEN, J.R. Calagem para uma rotação de culturas no plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.22, p.675-684, 1998.
- RODRIGUES, J.A.S.; SANTOS, F.G. (Eds.). **Cultivo do sorgo**. 3ed. Embrapa Milho e Sorgo: Sete Lagoas (Sistemas de Produção, 2. Versão eletrônica) 2007.
- SANTOS, H.P.; LHAMBY, J.C.B.; SPERA, S.T.; ÁVILA, A. Efeito de práticas culturais sobre o rendimento e outras características agrônômicas de trigo. **Bragantia**, v.65, p.669-677, 2006.
- SANTOS, H.P.; SPERA, S.T.; TOMM, G.O.; KOCHHANN, R.A.; ÁVILA, A. Efeito de sistemas de manejo de solo e de rotação de culturas na fertilidade do solo, após vinte anos. **Bragantia**, v.67, p.441-454, 2008.
- SECCO, D.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M.; SILVA, V.R. Atributos físicos e rendimento de grãos de trigo, soja e milho em dois Latossolos compactados e escarificados. **Ciência Rural**, v.39, p.58-64, 2009.
- SIQUEIRA NETO, M.; PICCOLO, M.C.; SCOPEL, E.; COSTA JR., C.; CERRI, C.C.; BERNOUX, M. Carbono total e atributos químicos com diferentes usos do solo no Cerrado. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v.31, p.709-717, 2009.



SNEDECOR, G.W.; COCHRAN, W.G. **Statistical methods**. 7.ed. Ames: ISU Press. 507p. 1982.

SOUSA, D.M.G.; MIRANDA, L.N.; OLIVEIRA, S.A. Acidez do solo e sua correção. In: NOVAIS, R.F.; ALVÁREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. (Eds.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: SBCS, 2007, p.205-274.

SPERA, S.T. **Atributos físicos e químicos de um latossolo e produtividade de culturas, em função de manejo de solo e de rotação de culturas**. Passo Fundo: UPF, 2009. 228p. Tese de Doutorado.

SPERA, S.T.; SANTOS, H.P.; FONTANELI, R.S.; TOMM, G.O. Efeitos de sistemas de produção de grãos envolvendo pastagens sob plantio direto nos atributos físicos de solo e na produtividade. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v.28, p.533-542, 2004.

STRECK, E.V.; KÄMPF, N.; DALMOLIN, R.S.D.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, P.C.; SCHNEIDER, P.; GIASSON, E.; PINTO, L.F.S. **Solos do Rio Grande do Sul**. 2.ed. rev. e ampl. Porto Alegre: EMATER/RS 2008. 222p.

TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S.J. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. 2.ed. rev. Porto Alegre: UFRGS. 1995. 174p. (Boletim Técnico, 5).

TOMM, G.O.; SANTOS, H.P.; SPERA, S.T.; KOCHHANN, R.A. Efeito de sistemas de manejo de solo em atributos químicos do solo. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, v.13, p.47-59, 2007.

VIEIRA, F.C.B.; BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; ZANATTA, J.; BISSANI, C.A. Long-term acidification of a Brazilian Acrisol as affected by no till cropping systems and nitrogen fertilizer. **Australian Journal of Soil Research**, v.46, p.17-26, 2008.