Capítulo

5

Avaliação de Sistemas de Rotação de Culturas na Fertilidade e na Matéria Orgânica do Solo, nas Décadas de 1980 a 2010

Henrique Pereira dos Santos, Silvio Tulio Spera,
Renato Serena Fontaneli, Anderson Santi

Introdução

As indicações de adubação e calagem, na década de 1980, baseavam-se em estudos onde as culturas eram implantadas com preparo convencional de solo. Nesse método, o revolvimento do solo buscava homogeneizar a distribuição dos nutrientes, enquanto no sistema com plantio direto (SPD), onde o solo é revolvido, apenas na linha de semeadura, os fertilizantes são depositados na linha. Atualmente, os fertilizantes e corretivos são aplicados na superfície, ocorrendo acúmulo, na camada superficial. Além disso, há acúmulo de nutrientes provenientes da decomposição dos resíduos vegetais mantidos sobre o solo (Santos et al., 2001). Entretanto, segundo Denardin et al. (2005), as perdas de solo e de nutrientes tendem a ser menores com sistema plantio direto.

Os resíduos culturais acumulados na superfície e o não revolvimento do solo no sistema plantio direto provocam alterações no solo, resultando em melhorias físicas, químicas e biológicas do solo, que refletem no estado da fertilidade e na eficiência do uso de nutrientes pelas culturas (Santos; Reis, 2003). Essas alterações modificam o movimento e a redistribuição de

compostos mais solúveis, entre os quais se destaca o nitrogênio (N), que além de fósforo (P) e potássio (K) tendem a acumular na camada superficial (Sisti et al., 2004).

Na década de 1960, nos EUA, Blevins et al. (1977, 1978), Shear e Moschler (1969) e Triplett Jr. e Van Doren Jr. (1969) observaram que em relação ao preparo convencional de solo, após seis anos com SPD, havia acúmulo de resíduos vegetais e elevação dos teores de matéria orgânica do solo (MOS), P, Ca, Mg e K na camada de 0-5 cm. Blevins et al. (1977) e Moschler et al. (1973), também verificaram que SPD houve redução do pH na camada de 0-5 cm do solo, requerendo a reaplicação de calcário. Esses mesmos autores observaram redução menos acentuada de pH no preparo convencional de solo. Contudo, não verificaram diferenças de pH entre a aplicação de calcário na superfície ou incorporado, nas camadas de solo de 0-5 cm ou de 0-10 cm.

Na década de 1970, Muzilli (1983), no Estado do Paraná, após três anos com plantio direto, constatou acúmulo de Ca, Mg, P e K nas camadas superficiais, em comparação com o preparo convencional de solo. No entanto, entre os dois sistemas de manejo de solo, não se observaram diferenças nos teores de MOS e na reacidificação do solo. Sidiras e Pavan (1985) verificaram a manutenção ou aumento do pH e dos teores de P, Ca + Mg e K, na camada de solo de 0-10 cm, após quatro anos com plantio direto ou com pastagem permanente, em comparação com os valores do preparo convencional de solo.

Porém, a pesquisa agropecuária tem desenvolvido métodos de manejo de solo que, mediante diminuição do revolvimento do solo, permitem a exploração agrícola com a manutenção da qualidade e da capacidade produtiva dos cereais de inverno (Santos et al., 2005). Sistemas integrados de produção eficientes envolvem a redução do preparo do solo, práticas de rotação de culturas, manejo de resíduos vegetais, manutenção ou melhoria da fertilidade do solo e aspectos fitossanitários das culturas exploradas (Santos; Fontaneli, 2007).

O sistema plantio direto, em relação à ciclagem biológica, tende a propiciar máxima conservação de nutrientes em um agroecossistema (Wisniewski; Holtz, 1997). O não revolvimento do solo e a palhada abundante, reduzem as perdas de nutrientes. A taxa de decomposição da palhada é fundamental no conhecimento da dinâmica da ciclagem de nutrientes. Dependendo do sistema agrícola usado, mantém-se a disponibilidade dos teores de nutrientes e de matéria orgânica. Um dos modos de avaliar a fertilidade do solo e o rendimento de grãos de cereais de inverno é conduzir experimentos com sistemas de produção (Silveira; Stone, 2001; Santos et al., 2003; Spera et al., 2004).

Naquela época, no Sul do Brasil, não havia informações para a cultura de cevada sobre avaliação da fertilidade do solo em sistemas de manejo de solo e de rotação de culturas com cereais de inverno. Da mesma forma, eram escassos os trabalhos sobre a aplicação de calcário na superfície sob sistema plantio direto.

Assim, os objetivos deste capítulo são: 1) avaliar sistemas de rotação de culturas ou de produção de grãos com integração lavoura + pecuária para trigo e cevada na fertilidade e matéria orgânica do solo; 2) avaliar o efeito de sistemas de manejo de solo e de rotação de culturas para cevada na fertilidade e matéria orgânica do solo; e 3) Verificar o efeito da aplicação de calcário na superfície, em sistema plantio direto, em relação ao calcário incorporado sob preparo convencional de solo.

Avaliação da fertilidade e matéria orgânica do solo, no período de 1980 a 1986, em Passo Fundo

Nos trabalhos desenvolvidos na Embrapa Trigo, no período de 1980 a 1986, foram avaliadas a fertilidade e matéria orgânica do solo, nos seguintes sistemas de rotação de culturas para trigo:

Sistema I: trigo/soja;

Sistema II: trigo/soja, colza/soja, cevada/soja e leguminosa/milho;

Sistema III: trigo/soja, aveia branca/soja e leguminosa/milho e;

Sistema IV: trigo/soja, colza/soja, linho/soja e leguminosa/milho.

Os valores de pH do solo em água, verificados após cada cultivo nas diversas sequências de culturas estudadas oscilaram, na camada de 0-20 cm, entre 4,7 e 5,6 no período de 1980 a 1986 (Santos; Roman, 1989). Pode-se constatar que os cultivos de inverno provocaram mudanças significativas no pH do solo, em três dos sete anos estudados (1982, 1984 e 1985), e que, em geral, observaram-se os valores mais elevados após as sequências soja-tremoço, soja-colza e trevo-ervilhaca e, mais baixos, após as gramíneas de inverno.

Quanto aos valores de Al, observaram-se diferenças devido aos tratamentos somente após os cultivos de inverno de 1985, mas a amplitude de variação dos valores médios, após os referidos cultivos (0,3 a 0,6 mmol/dm³) não permite separar efeitos nítidos, em função das várias sequências de culturas.

Os teores de Ca + Mg do solo, nos diferentes tratamentos, em todo o período de estudo, variaram em torno de 50 a 90 mmol/dm³. Somente nas amostragens realizadas no verão de 1983 encontraram-se diferenças entre os efeitos dos tratamentos sobre os teores de Ca + Mg trocáveis, cujo valor mais elevado ocorreu após uma sequência de três cultivos de trevo e um de milho. Em geral, os valores mais elevados de Ca + Mg trocáveis foram observados após as sucessões com leguminosas.

Nesse período de estudo, os teores de matéria orgânica oscilaram entre 32 g/kg e 39 g/kg. Após as culturas de verão, verificaram-se diferenças entre os tratamentos no ano de 1981. Com respeito às culturas de inverno, em geral, ocorreram maiores teores de matéria orgânica no solo após

cultivos de leguminosas, porém não houve repercussão sobre a matéria orgânica à longo prazo (cinco a seis anos). O oposto foi observado, em geral, após duas gramíneas em sequência. Isso, pode ser devido que as leguminosas incorporam mais N ao sistema do que as gramíneas (Rodrigues et al., 1998).

Os teores de P mostraram diferenças depois dos cultivos de inverno de 1980, 1981 e 1985 e de verão de 1982 e 1983. Nestas ocasiões, os teores de P do solo mais elevado foram verificados no sistema de cultivo envolvendo a sucessão trevo-trevo, trigo-soja, tremoço-milho e milho-trigo. Considerando os dados médios, observa-se que os teores de P situaram-se entre 10,9 mg/kg e 23,8 mg/kg, permanecendo, em média, acima dos valores críticos considerados para esse tipo de solo, ou seja, 9,0 mg/kg (Siqueira et al., 1987). As quantidades de P aplicados via fertilizantes foram, portanto, suficientes para manter seus teores no solo em nível adequado.

Nos valores de K, constataram-se diferenças no período de estudo, em 12 das 14 avaliações, predominando depois dos cultivos de inverno, em relação ao verão. Na maioria dos casos, os teores mais baixos de K no solo foram encontrados após cultivo de colza. Considerando-se os dados médios, os teores oscilaram entre 88 mg/kg e 161 mg/kg, mantendo-se em média, acima dos valores críticos para este tipo de solo (Latosolo Vermelho distrófico típico) (80 mg/kg), conforme Siqueira et al. (1987). Os níveis de adubação aplicada foram suficientes para manter os teores de potássio no solo em níveis adequados.

Avaliação da fertilidade e matéria orgânica do solo, no período de 1990 a 1991, em Passo Fundo

No trabalho desenvolvido, no período de 1990 a 1991, em Passo Fundo, RS, com a cultura de cevada, os resultados dos diferentes tipos de manejo

de solo: 1) sistema plantio direto e 2) preparo convencional de solo com arado de discos; e de três sequências de cultura: 1) cevada/soja, 2) ervilhaca/milho e 3) aveia branca/soja sobre a fertilidade e matéria orgânica do solo, serão tratados a seguir. Em todas as camadas avaliadas não se observaram diferenças consistentes (Santos et al., 1995) de pH, Al, Ca + Mg e K, após três anos de cultivo, em sistema plantio direto, com calcário aplicado na superfície, e em preparo convencional de solo, com calcário incorporado. Para pH, Al e Ca + Mg isto poderia ser atribuído à quantidade de calcário aplicado (2,0 t/ha, PRNT 100%), em maio de 1989. Seriam necessários 5,8 t/ha de calcário (PRNT 100%) para elevar o pH a 6,0 na camada de 0-20 cm (Recomendações..., 1989). As diferenças no teor de Al (sequência 2: ervilhaca/milho) e no teor de MOS (sequência 3: aveia branca/soja), verificadas antes do início do experimento (1986), na camada de 0-20 cm, entre as parcelas que receberam os diferentes manejos de solo, influíram, provavelmente, nas diferenças observadas na camada de 0-5 cm em 1992.

A ausência de diferenças no pH em água, nas camadas de 0-5 cm ou de 0-10 cm, entre o sistema plantio direto e o preparo convencional de solo também foi verificada nos EUA, por Moschler et al. (1973) e Blevins et al. (1978), cinco anos após a aplicação de 1,0 t/ha (anual) e de 3,4 t/ha (uma só vez) de calcário, respectivamente, na superfície ou incorporado ao solo. Resultados similares foram observados no Brasil (Muzilli, 1983), quatro anos após a aplicação de 2,0 t/ha de calcário na superfície (sistema plantio direto) ou incorporado ao solo (preparo convencional). Entretanto, Blevins et al. (1978) verificaram redução no pH de 5,7 para 5,5, tanto no sistema plantio direto como no preparo convencional de solo.

Os teores de Al do solo, igualmente, foram similares àqueles observados no sexto ano por Moschler et al. (1973), na camada de 0-10 cm, onde a aplicação anual de calcário (1,0 t/ha) não determinou diferença do sistema plantio direto, em relação ao preparo convencional de solo, com uma aplicação de calcário na mesma dosagem. Os mesmos autores não encontra-

ram diferenças entre os dois tipos manejo de solo para os teores de Ca. Blevins et al. (1978) observaram que a aplicação de 3,4 t/ha de calcário na superfície, ou incorporado ao solo, aumentou o Ca na camada de 0-5 cm tanto no sistema plantio direto (de 95 mmol_c/dm³ para 130 mmol_c/dm³), como no preparo convencional (de 95 mmol_c/dm³ para 105 mmol_c/dm³).

Nesta pesquisa, a aplicação de calcário na área com sistema plantio direto foi suficiente para a manutenção do pH, evitando a reacidificação superficial do solo, principalmente em função do uso de fertilizantes nitrogenados. Além disso, não foram observados efeitos negativos da aplicação de calcário na superfície, indicando que a recomendação de aplicar na superfície até duas toneladas de calcário por hectare em sistema plantio direto não resulta em prejuízos às culturas estudadas.

O teor de Al na camada de 0-5 cm foi menor sob sistema plantio direto, em relação ao preparo convencional de solo. Por outro lado, o acúmulo de MOS sob sistema plantio direto, em uma camada de solo aumenta a força iônica da solução do solo (Sisti et al., 2004; Spera, 2009). Esse processo explica, em parte, a menor toxicidade de Al, na camada superficial, em razão da menor atividade iônica do Al. Além disso, esse resultado indica o benefício do sistema plantio direto, pelo acúmulo da matéria orgânica e, provavelmente, pela capacidade de suprimento do N do solo, nutriente mais limitante ao rendimento de grãos da maioria das culturas. Tendência oposta, porém, foi observada na matéria orgânica do solo, nas camadas de 10-15 cm e 15-20 cm, na sequência 3 (aveia branca/soja), onde os teores de MOS foram mais elevados no preparo convencional de solo do que no plantio direto. Isto pode ser devido à incorporação dos resíduos culturais no interior destas camadas. No Brasil, também foram observados teores maiores de MOS na camada de 0-5 cm do que na de 15-20 cm em sistemas de rotação sob sistema plantio direto (Sá, 1993; Santos; Lhamby, 1992; Santos; Siqueira, 1992). Similarmente, Belvins et al. (1977), nos EUA, verificaram teores de MOS mais elevado no sistema plantio direto do que no preparo convencional de solo, na camada de 0-5 cm; entretanto

não encontraram diferenças nos teores de MOS nas camadas de 5-15 cm e 15-30 cm.

Os teores de P, das três sequências estudadas: 1) cevada/soja, 2) ervilha/ca/milho e 3) aveia branca/soja, na camada de 0-5 cm, com sistema plantio direto foram maiores do que os do preparo convencional de solo (37,30 mg/kg versus 16,87 mg/kg; 38,60 mg/kg versus 17,67 mg/kg; 26,47 mg/kg versus 16,50 mg/kg, respectivamente). Esse acúmulo, no tratamento em sistema plantio direto, provavelmente decorre do não revolvimento do solo, dos nutrientes e da baixa mobilidade deste nutriente. Tal resultado sugere a necessidade de estudos com menores aplicações de P em solos com sistema plantio direto, para se verificar a possibilidade de reduzir as doses indicadas para cultivo com sistema plantio direto, principalmente após vários anos da implementação desse sistema de manejo. Nos EUA, Shear e Moschler (1969) e Triplett Jr. e Van Doren Jr. (1969) também observaram teores maiores de P na camada 0-5 cm, em sistema plantio direto do que em preparo convencional, seis anos após a aplicação de calcário.

Os resultados de K também foram similares aos obtidos em outros trabalhos. O calcário deixado na superfície, ou incorporado ao solo, não determinou diferenças nos níveis de K, após seis anos na camada de 0-5 cm, no sistema plantio direto e no preparo convencional de solo (Shear; Moschler, 1969) ou na camada de 0-10 cm também no sistema plantio direto e no preparo convencional de solo (Moschler et al., 1973).

O calcário aplicado na superfície ou incorporado ao solo não promoveu diferenças nos teores de K, após três anos. Por outro lado, houve acúmulo de K em sistemas de rotação de culturas com plantio direto.

Os teores de P e de K encontrados nas diferentes camadas, sequências e tipo manejo de solo, foram acima dos valores considerados críticos para o crescimento e desenvolvimento das culturas (Recomendações..., 1989). Os teores de P, na camada de 0-5 cm e nas três sequências de culturas em sistema plantio direto, foram mais elevados do que observado antes do início do experimento, na camada de 0-20 cm.

Fertilidade e matéria orgânica do solo nos sistemas de rotação de culturas com triticales, sob sistema plantio direto

Em 1992, foi avaliada a fertilidade e matéria orgânica do solo, após cinco anos de cultivo, sob sistema plantio direto, em Passo Fundo, RS, nos seguintes sistemas de rotação de culturas para triticales:

Sistema I: triticales/soja;

Sistema II: triticales/soja e aveia preta rolada com rolo-facas/soja;

Sistema III: triticales/soja e ervilhaca/milho;

Sistema IV: triticales/soja, aveia preta rolada com rolo-facas/soja e ervilhaca/milho; e

Sistema V: triticales/soja, triticales/soja, aveia preta rolada com rolo-facas/soja e ervilhaca/milho.

Os valores de pH do solo não diferiram entre os sistemas com triticales (Santos; Tomm, 1996b). Resultados similares foram encontrados por Santos e Roman (1989), trabalhando com sistemas de rotação de culturas para trigo. Entretanto, observaram-se diferenças de pH do solo entre algumas camadas amostradas, exceto no sistema III (triticales/soja e ervilhaca/milho). Os valores de pH do solo, nos sistemas II (triticales/soja e aveia preta rolada com rolo-facas/soja), III (triticales/soja, e ervilhaca/milho) e V (triticales/soja, triticales/soja, aveia preta rolada com rolo-facas/soja e ervilhaca/milho) foram mais elevados na camada de 0-5 cm do que na camada de 15-20 cm.

O valor médio do pH do solo na camada de 0-5 cm foi praticamente igual ao verificado na época de instalação do experimento, na camada de 0-20 cm (5,5). A aplicação de calcário, em maio de 1989 (2,0 t/ha na superfície), contribuiu para a manutenção de pH mais elevado na superfície, a exemplo do observado por Blevins et al. (1978) e por Sá (1993).

Não houve diferença entre as médias dos distintos sistemas para triticales (Santos; Tomm, 1996b), nos teores de Al. Santos e Roman (1989) não observaram diferenças nos valores de Al, em função dos diversos sistemas de rotação de culturas para trigo. Todavia, registraram-se diferenças de teor de Al, entre algumas camadas amostradas, em todos os sistemas com triticales.

Os menores valores de Al ocorreram na camada de 0-5 cm ($0,8 \text{ mmol/dm}^3$) e os mais elevados, na camada de 15-20 cm ($5,4 \text{ mmol/dm}^3$). Em nenhum dos sistemas com triticales houve diferenças de teor de Al entre as camadas de 0-5 cm e 10-15 cm.

Os valores de Ca + Mg não diferiram entre os sistemas para triticales (Santos; Tomm, 1996b). Resultados semelhantes foram relatados por Santos e Roman (1989) em sistemas de rotação de culturas para trigo. Contudo, foram verificadas diferenças nos teores de Ca + Mg, entre determinadas camadas amostradas, em alguns sistemas para triticales. Os sistemas I, II, IV e V apresentaram maiores valores de Ca + Mg na camada de 0-5 cm do que na camada de 5-10 cm.

Os teores médios de Ca + Mg, a exemplo do pH, reduziram com o aprofundamento da camada do solo. Os valores de Ca + Mg foram mais elevados, na camada de 0-5 cm do que nas inferiores, provavelmente devido ao calcário ter sido aplicado na superfície e não incorporado. Similarmente, Blewins et al. (1978) observaram que os valores de Ca diminuíram da camada de 0-5 cm (60 mmol/dm^3) para a camada de 15-20 cm (40 mmol/dm^3), com aplicação de calcário na superfície do solo.

Os valores de Ca + Mg nas camadas de solo estudadas foram considerados elevados (Recomendações..., 1989). Além disso, os valores da camada de 0-5 cm (83 mmol/dm^3 a 93 mmol/dm^3) foram superiores aos teores encontrados no início do experimento (70 mmol/dm^3).

A monocultura de triticales apresentou, na camada de 10-15 cm, teores de matéria orgânica (23 g/kg) menores do que todos os demais sistemas com

triticale (24 g/kg) (Santos; Tamm, 1996b). Na camada de 5-10 cm, do sistema V (26 g/kg), constatou-se teor de matéria orgânica mais elevada do que no sistema I (triticale/soja - 24 g/kg). A substituição de aveia preta, em 1990, por aveia branca para produção de grãos, no sistema II (triticale/soja e aveia preta rolada com rolo-facas/soja), foi suficiente para determinar acréscimo significativo no teor de matéria orgânica na camada de 10-15 cm. Segundo Roman (1990), a cultura de aveia branca produz mais do que o dobro de biomassa que o triticale (7,4 t/ha e 3,0 t/ha de biomassa na parte aérea da planta, respectivamente). A diferença cumulativa no aporte de biomassa de aveia branca provavelmente tenha contribuído para o acréscimo no teor de matéria orgânica, determinando a diferença nas amostras coletadas de 10-15 cm. Os teores de matéria orgânica na camada superficial (0-5 cm) foram semelhantes nos diferentes sistemas com triticale.

Observou-se maior acréscimo nos teores de matéria orgânica, na camada de 0-5 cm, e diminuição gradual na proporção de matéria orgânica, com o aumento da camada profundidade, independente do sistema para triticale. Resultados semelhantes nas variações entre o teor de matéria orgânica da camada de 0-5 cm e o da camada de 15-20 cm foram verificadas por Santos e Lhamby (1992) em sistemas de rotação de culturas para cevada.

Os valores de P não apresentaram diferenças entre os sistemas para triticale (Santos; Tamm, 1996b). Santos e Roman (1989) encontraram resultados semelhantes em sistemas de rotação de culturas para trigo. Todavia, foram verificadas diferenças de P, entre a maioria das camadas amostradas, nos sistemas para triticale. Os sistemas I, II, III, IV e V foram superiores para os valores de P, na camada de 0-5 cm, em relação às camadas de 5-10 cm e 15-20 cm.

Observaram-se teores de P, na camada de 0-5 cm, três a quatro vezes maiores do que os registrados na camada de 15-20 cm (8,0 mg/kg). Resultados similares foram verificados por Santos e Lhamby (1992) (de 13,6 mg/kg para 5,8 mg/kg), em sistemas de rotação de culturas sob sistema plantio direto.

Os teores de P nas três primeiras camadas (0-5 cm, 5-10 cm e 10-15 cm) estiveram acima do valor considerado crítico, nesse tipo de solo (Latosolo Vermelho distrófico típico) (9 mg/kg), para o crescimento e desenvolvimento das culturas (Recomendações..., 1989). Os teores de P na camada de 0-5 cm (27,4 mg/kg a 36,2 mg/kg) e na de 5-10 cm (16,6 mg/kg a 22,7 mg/kg) foram mais elevados do que o medido sob preparo convencional de solo, antes do início do experimento (13,3 mg/kg).

Quanto aos teores de K, foram observadas diferenças entre alguns sistemas com tritcale (Santos; Tamm, 1996b), cujos valores foram mais elevados no sistema I (tritcale/soja; 71 mg/kg), na camada amostrada de 15-20 cm, em relação aos dos sistemas II (tritcale/soja e aveia preta rolada/soja; 54 mg/kg), IV (tritcale/soja, aveia preta rolada com rolo-facas/soja e ervilhaca/milho; 53 mg/kg) e V (tritcale/soja, tritcale/soja, aveia preta rolada com rolo-facas/soja e ervilhaca/milho; 48 mg/kg). Isso pode ser devido à maior quantidade de K aplicada na adubação de manutenção.

Os teores de K decresceram com o aprofundamento da camada amostrada: os da camada de 0-5 cm (200 mg/kg) foram 1,9 a 4,0 vezes maiores que os da camada de 15-20 cm. Acúmulos similares de K, na camada de 0-5 cm, em relação à camada de 15-20 cm, em sistemas de rotação de culturas, sob sistema plantio direto, foram observados por Santos e Lhamby (1992) (de 167 mg/kg para 55 mg/kg).

Os teores de K verificados nas camadas de 0-5 cm e de 5-10 cm foram superiores ao valor considerado crítico (80 mg/kg) para o crescimento e desenvolvimento das culturas (Recomendações..., 1989). Os teores de K das camadas de 0-5 cm (200 mg/kg a 189 mg/kg), de 5-10 cm (127 mg/kg a 102 mg/kg) e de 10-15 cm (89 mg/kg a 61 mg/kg) mantiveram-se iguais ou superiores ao teor observado antes do início do experimento (61 mg/kg), quando o solo era preparado com arado e grade.

Fertilidade e matéria orgânica do solo em sistemas de rotação de culturas para trigo e cevada sob sistema plantio direto

Nos anos de 1988 e 1994, em Guarapuava, PR, a fertilidade e a matéria orgânica do solo foram avaliadas nos seguintes sistemas de rotação de culturas para trigo:

Sistema I: trigo/soja;

Sistema II: trigo/soja e ervilhaca/milho ou aveia branca/soja;

Sistema III: trigo/soja, ervilhaca/milho e aveia branca/soja; e

Sistema IV: trigo/soja, ervilhaca/milho, cevada/soja e aveia branca/soja.

Não foram observadas diferenças entre os valores de pH do solo, na avaliação de 1988, nos quatro sistemas de rotação de culturas avaliados (Santos; Tomm, 1999). Resultados similares foram observados por Santos e Tomm (1996b), trabalhando em sistemas de rotação de culturas para triticales, durante seis anos, sob sistema plantio direto.

Na avaliação de 1994, os maiores valores de pH observados após dez anos de cultivo foram relacionados com a aplicação de 11,7 t/ha de calcário (PRNT 75 %), realizada em abril de 1989, após passados 4,5 anos da primeira aplicação de calcário (Santos; Tomm, 1996a). Por essa razão, esses resultados foram diferentes daqueles verificados por Shear e Moschler (1969), nos EUA, onde o valor de pH na camada 0-5 cm (5,4) foi menor, em comparação ao valor de pH na camada 0-20 cm, antes do estabelecimento do experimento. No trabalho conduzido nos EUA, foi aplicado 1,1 t/ha de calcário, três anos antes da primeira avaliação. Sidiras e Pavan (1985), no Estado do Paraná, após quatro anos sob sistema plantio direto, também observaram valores menores de pH, na camada 0-10 cm (5,4) do que aqueles registrados antes da instalação do experimento (5,6).

Observou-se, de modo geral, em 1994, uma diminuição gradativa do pH do solo com aprofundamento da camada de solo, na camada de 0-5 cm (de 5,86 a 5,94) para a camada de 15-20 cm (5,50-5,64). No mesmo experimento, em novembro de 1988, Santos e Tomm (1996a), observaram ocorrer o inverso com pH da camada de 0-5 cm (4,80-4,90) para a camada de 15-20 cm (5,10-5,20), o que poderia ter sido efeito residual, em profundidade da calagem de abril de 1984.

A redução dos teores de Al deve-se ao calcário aplicado em abril de 1989. Com exceção da camada de 5 cm a 10 cm, nas demais não foram observadas diferenças nos teores de Al entre os sistemas de rotação. Na camada de 5 cm a 10 cm, o sistema I ($0,5 \text{ mmol/dm}^3$) mostrou valor de Al do solo maior do que o dos sistemas II ($0,0 \text{ mmol/dm}^3$), III ($0,1 \text{ mmol/dm}^3$) e IV ($0,1 \text{ mmol/dm}^3$). Contudo, estes valores são baixos e não apresentam risco às plantas. Dados semelhantes foram encontrados por Santos e Tomm (1996b), trabalhando com cinco sistemas de rotação de culturas para tritica-le, após seis anos de cultivo, sob sistema plantio direto.

Comparando-se os teores de Al entre as camadas de um mesmo sistema de rotação, foram registradas diferenças em todos os sistemas. Os valores de Al do solo foram maiores na camada 0 cm a 5 cm em relação à camada de 15 cm a 20 cm (de $0,0$ - $0,1 \text{ mmol/dm}^3$ a $1,6$ - $3,5 \text{ mmol/dm}^3$), em todos os sistemas estudados. Valores contrários (de $9,3 \text{ mmol/dm}^3$ para $5,7 \text{ mmol/dm}^3$), na mesma localidade, foram observados por Santos e Siqueira (1992), avaliando sistemas de rotação de culturas para cevada, sob sistema plantio direto. Na avaliação de fertilidade nesse experimento, em novembro de 1988 (Santos; Tomm, 1996a), os valores de Al do solo foram maiores na camada de 0 cm a 5 cm ($10,7$ - $8,7 \text{ mmol/dm}^3$) em comparação à camada de 15 cm a 20 cm ($4,9$ - $6,7 \text{ mmol/dm}^3$).

Na avaliação realizada 4,5 anos após a implantação do sistema plantio direto (novembro de 1988), ficou caracterizada a redução de pH e incremento de Al na camada de 0 cm a 5 cm, o que suporta a hipótese da formação de uma “frente de acidificação” nos primeiros centímetros do solo, devido

às aplicações de fertilizantes nitrogenados e à mineralização dos resíduos culturais na superfície (Paiva et al., 1996).

O valor médio de Ca + Mg do solo (87 mmol/dm^3 a 146 mmol/dm^3), em todas as camadas, é considerado acima do crítico para o crescimento e desenvolvimento das culturas da região. Isso foi decorrente da aplicação de $3,7 \text{ t/ha}$ de calcário (PRNT 75%) em abril de 1984 (correção da área no início do experimento) e de $11,7 \text{ t/ha}$ de calcário (PRNT 75%), após cinco anos de condução do experimento. A aplicação de calcário do tipo dolomítico contribuiu para que os teores de Ca e Mg ficassem acima dos níveis críticos para as espécies que compuseram os sistemas de rotação (Recomendações..., 1995).

Os sistemas de rotação não diferiram entre si quanto aos teores de Ca + Mg, dentro da mesma camada amostrada, com exceção do sistema II, o qual mostrou teor de Ca + Mg (124 mmol/dm^3) menor do que os sistemas III (137 mmol/dm^3) e IV (141 mmol/dm^3), na camada de 5 cm a 10 cm. Não houve diferenças entre os sistemas de rotação, na avaliação realizada 4,5 anos após a implementação do sistema plantio direto.

Em todos os sistemas de rotação, os teores de Ca + Mg foram maiores na camada de 0 cm a 5 cm ($136\text{-}146 \text{ mmol/dm}^3$) em relação à camada de 15 cm a 20 cm ($87\text{-}101 \text{ mmol/dm}^3$). Dados semelhantes foram obtidos por Sidiras e Pavan (1985), trabalhando com tipos de manejo de solo e com sistemas de rotação de culturas para trigo (74 mmol/dm^3 para 62 mmol/dm^3), e por Santos e Tomm (1996b), com sistemas de rotação de culturas para triticales. Por ocasião da avaliação, em novembro de 1988, Santos e Tomm (1996a) verificaram tendência oposta, ou seja, maiores valores de Ca + Mg trocáveis na camada 15 cm a 20 cm ($84,8\text{-}90,6 \text{ mmol/dm}^3$) em comparação à camada de 0 cm a 5 cm ($66,9\text{-}75,8 \text{ mmol/dm}^3$), provavelmente, em função da falta de aplicação de calcário.

Na avaliação de novembro de 1988, os teores de matéria orgânica, em todas as camadas ($69,0\text{-}71,7 \text{ g/kg}$ a $72,3\text{-}74,0 \text{ g/kg}$), foram maiores do que

na avaliação de maio de 1994 (51-52 g/kg a 57-58 g/kg). Em maio de 1994, não houve diferenças entre os valores dos diferentes sistemas de rotação quanto aos teores de matéria orgânica, na mesma camada amostrada.

Foram verificadas diferenças nos teores de matéria orgânica entre camadas amostradas, em todos os sistemas de rotação. Os valores de matéria orgânica do solo decresceram progressivamente da camada 0 cm a 5 cm (57 g/kg a 58 g/kg) até a camada 15 cm a 20 cm (51 g/kg a 52 g/kg). Tendência semelhante nas variações entre o teor de matéria orgânica na camada de 0-5 cm e na camada de 15-20 cm foi verificada por Santos e Siqueira (1992), por Sá (1993) e por Santos e Tomm (1996b).

Os teores de P do solo (2,6 g/kg a 7,1 mg/kg), observados após dez anos sob sistema plantio direto em todas as camadas nos sistemas II (6,4 mg/kg a 2,6 mg/kg), III (7,0 mg/kg a 3,4 mg/kg) e IV (7,1 mg/kg a 3,4 mg/kg), foram inferiores ao valor considerado crítico (9,0 mg/kg) para o crescimento e desenvolvimento das culturas. Na camada de 0 cm a 5 cm da monocultura de trigo/soja o valor situou-se acima deste teor crítico (12,0 mg/kg).

Todos os sistemas avaliados diferiram quanto aos valores de P, entre determinadas camadas amostradas. Na maioria dos sistemas, os valores de P na camada de 0 cm a 5 cm (6,4-12,0 mg/kg) foram superiores ao dobro dos valores verificados na camada de 15 cm a 20 cm (2,6-3,4 mg/kg). Dados semelhantes foram observados em outros estudos sob sistema plantio direto por Shear e Moschler (1969), por Triplett Jr. e Van Doren Jr. (1969), por Santos; Siqueira (1992) e por Sá (1993).

Após dez anos de SPD, o teor de K, nas camadas até 15 cm, foram superiores ao valor considerado crítico para o crescimento e desenvolvimento das culturas (80 mg/kg). Os valores de K do solo não diferiram entre os sistemas estudados. Porém, entre as camadas, os sistemas I e II mostraram teor de K mais elevado na camada de 0 cm a 5 cm, em relação à camada de 15 cm a 20 cm. Nesse período de estudo, houve acúmulo de K na camada superficial do solo.

Em algumas camadas amostradas de solo, nos sistemas de rotação avaliados, foram verificadas diferenças de K. Nessas observações, os sistemas I e II apresentaram teores de K na camada de 0 cm a 5 cm (de 183 mg/kg a 195 mg/kg) e foram em valores, 2,2 a 2,7 vezes maiores que a concentração observada na camada de 15 cm a 20 cm (de 70 mg/kg a 87 mg/kg). Acúmulos similares de K, na camada 0-5 cm, em relação à camada 15-20 cm, foram relatados por Shear e Moschler (1969), por Triplett Jr. e Van Doren Jr. (1969), por Santos e Siqueira (1992) e por Santos e Tomm (1996b).

Nos anos de 1988 e 1994, em Guarapuava, PR, nos seguintes sistemas de rotação de culturas para cevada, foram avaliadas a fertilidade e a matéria orgânica do solo:

Sistema I: cevada/soja;

Sistema II: cevada/soja e ervilhaca/milho ou aveia branca/soja;

Sistema III: cevada/soja, linho/soja e ervilhaca/milho; e

Sistema IV: cevada/soja, linho/soja, aveia branca/soja e ervilhaca/milho.

Na camada de 0-5 cm não houve diferença para o valor de pH entre os sistemas estudados (Santos; Tomm, 1998). Porém, na camada de 5-10 cm, os sistemas II (5,8) e III (5,86) mostraram valor de pH do solo menor, em comparação ao sistema IV (6,00). Todavia, essas diferenças não são agronomicamente relevantes.

Em 1994, nas camadas de 0-5 cm a 15-20 cm, foram verificadas diferenças de pH, nos sistemas I, II e IV. O pH do solo diminuiu gradativamente com o aumento na camada de amostragem de solo (de 5,8 a 5,9, na camada de 0-5 cm para 5,5-5,6, na camada de 15-20 cm). Na primeira avaliação do mesmo experimento, realizada por Santos e Siqueira (1996), em novembro de 1988, o pH do solo elevou-se gradativamente com o aumento da profundidade de amostragem do solo (4,8 para 5,1). Dados semelhantes foram observados por Santos e Lhamby (1992) (5,2 para 4,9), em 1988, após cinco anos. A adição de fertilizantes nitrogenados, aliada à manutenção

dos resíduos vegetais na superfície, pode gerar acidez, principalmente na primeira camada (0-5 cm).

Não houve diferença entre os valores médios de Al nos diferentes sistemas de rotação (Santos; Tomm, 1998). Isso está relacionado com os dados obtidos para os valores de pH do solo. Na primeira avaliação, em novembro de 1988 (Santos e Siqueira, 1996), o valor de Al do solo ($9,3 \text{ mmol}/\text{dm}^3$) na camada de 0-5 cm foi mais elevada, em relação ao valor obtido por ocasião da segunda leitura, em maio de 1994.

Ao compararem-se os teores de Al entre as camadas de um mesmo sistema de rotação, foram verificadas diferenças. Os valores de Al do solo aumentaram da camada 0-5 cm para a camada de 15-20 cm (de $0,0-0,1 \text{ mmol}/\text{dm}^3$ para $0,8-1,3 \text{ mmol}/\text{dm}^3$). Na primeira avaliação da fertilidade nesse experimento (Santos e Siqueira, 1996), em novembro de 1988, os valores de Al do solo diminuíram da camada 0-5 cm ($9,3 \text{ mmol}/\text{dm}^3$) para a camada de 15-20 cm ($5,7 \text{ mmol}/\text{dm}^3$). Resultado semelhante (de $9,5 \text{ mmol}/\text{dm}^3$ para $6,0 \text{ mmol}/\text{dm}^3$), na mesma localidade, foi observada por Santos e Lhamby (1992), no Estado do Paraná, avaliando sistemas de rotação de culturas para trigo, sob sistema plantio direto. O aumento no teor de Al com o aumento da profundidade está relacionado com a redução no efeito residual da calagem na superfície, ou indica que, eventualmente, na incorporação do calcário, uma maior proporção do corretivo aplicado ficou retida nas camadas próximas à superfície.

O sistema IV apresentou teor de Ca + Mg ($131 \text{ mmol}/\text{dm}^3$) mais elevado do que o sistema II ($116 \text{ mmol}/\text{dm}^3$), na camada 5-10 cm. Para os demais sistemas, não houve diferenças nessa camada de solo. Isso foi igualmente verdadeiro para as demais camadas amostradas, nos diferentes sistemas de rotação, em ambos os períodos estudados. A diferença do teor de Ca + Mg entre os sistemas, pode estar relacionado com as culturas que compõem o sistema IV, dentre as quais o linho que, nesse sistema é a espécie que menos exporta Ca para produzir 1 t/ha de grãos.

Nas comparações dentro de um mesmo sistema de rotação, foram observadas diferenças de Ca + Mg do solo, entre determinadas camadas amostradas, em alguns sistemas de rotação. O teor de Ca + Mg diminuiu da camada 0-5 cm ($126-130 \text{ mmol/dm}^3$) para a camada 15-20 cm ($95-98 \text{ mmol/dm}^3$). Isso pode ter sido reflexo da distribuição do calcário na camada 0-20 cm. Dados semelhantes foram obtidos por Sidiras e Pavan (1985), trabalhando com tipos de manejo de solo e com sistemas de rotação de culturas para trigo (74 mmol/dm^3 para 62 mmol/dm^3), e por Santos e Tomm (1996b), com sistemas de rotação de culturas para triticales. Nesse experimento, por ocasião da primeira avaliação, em novembro de 1988 Santos e Siqueira (1996) verificaram tendência oposta, ou seja, houve aumento nos valores de Ca + Mg da camada 0-5 cm (64 mmol/dm^3) para a camada 15-20 cm (de 71 mmol/dm^3). Resultados similares foram obtidos por Santos e Lhamby (1992).

Na avaliação de novembro de 1988, o teor de matéria orgânica do solo na camada de 0-5 cm dos sistemas de rotação de culturas II, III e IV foram superiores aos encontrados por ocasião da segunda leitura (49 g/kg a 57 g/kg) em maio de 1994, onde o sistema I, como uma exceção, apresentou teores ligeiramente inferiores (64 g/kg a 66 g/kg) nas diferentes camadas amostradas.

Na avaliação de maio de 1994, não houve diferenças entre as médias dos diferentes sistemas de rotação para os valores de matéria orgânica. Santos e Tomm (1996b), trabalhando com sistemas de rotação de culturas para triticales, durante seis anos, sob sistema plantio direto, observaram teor de matéria orgânica do solo menor na monocultura desse cereal do que em todos os demais sistemas de rotação de culturas de inverno, na camada de 10-15 cm.

Foram observadas diferenças nos teores de matéria orgânica entre determinadas camadas amostradas do solo, em três sistemas de rotação. Os teores de matéria orgânica do solo decresceram progressivamente da

camada de 0-5 cm (55 g/kg a 57 g/kg) para a camada de 15-20 cm (49 g/kg a 50 g/kg). Resultados semelhantes nas variações entre teor de matéria orgânica foram verificados por Sá (1993), por Santos e Lhamby (1992) e por Santos e Tomm (1996b), em sistemas de rotação de culturas para trigo e triticales, sob sistema plantio direto.

Os teores de P do solo (2,6 mg/kg a 7,1 mg/kg), em todas as camadas, foram inferiores ao valor considerado crítico, nesse tipo (Latossolo Bruno álico) de solo (9,0 mg/kg), para o crescimento e desenvolvimento das culturas (Reunião..., 1995). Os valores de P do solo, não apresentaram diferenças entre os diferentes sistemas de rotação. Isto tem sido observado nesse tipo de trabalho. Resultados semelhantes foram obtidos por Santos e Tomm (1996b).

Em todos os sistemas avaliados foram verificadas diferenças nos valores de P entre determinadas camadas amostradas. Em todos os sistemas, os teores de P na camada de 0-5 cm (6,1-7,1 mg/kg) foram superiores em dobro aos teores observados na camada de 15-20 cm (2,6-2,9 mg/kg). Dados semelhantes foram verificados por Sá (1993) e por Santos e Lhamby (1992) sob sistema plantio direto.

Os teores de K do solo, nas camadas de 0-5 cm, 5-10 cm e 10-15 cm, foram inferiores ao valor considerado crítico (80 mg/kg) para o crescimento e desenvolvimento das culturas (Reunião..., 1995).

Em 1994, os teores de K do solo na camada 0-5 cm foi maior no sistema II (187 mg/kg) do que no sistema III (151 mg/kg). Santos e Tomm (1996b) verificaram que os valores de K na camada de 15-20 cm foram maiores no sistema I (71 mg/kg), em comparação aos sistemas II (54 mg/kg), IV (53 mg/kg) e V (48 mg/kg).

Entre a maioria das camadas amostradas, nos sistemas de rotação avaliados, foram observadas diferenças entre os valores de K. Nessas verificações, os sistemas apresentaram teores de K mais elevados na camada

0-5 cm, em relação à camada de 15-20 cm. Os teores de K na camada 0-5 cm (de 166 mg/kg a 187 mg/kg) foram 2,2 a 2,4 vezes maiores que a concentração observada na camada de 15-20 cm. Acúmulos similares de K, na camada 0-5 cm, em comparação à camada 15-20 cm, foram relatados por Santos e Lhamby (1992) e por Santos e Tomm (1996b).

Fertilidade e matéria orgânica do solo em sistemas de produção de grãos com integração lavoura + pecuária sob sistema plantio direto, em Passo Fundo, RS

No período de 1990 a 1995, em Passo Fundo, RS, a Embrapa Trigo desenvolveu trabalho, no Cepagro, da FAMV/UPF, com sistemas de produção integração lavoura + pecuária com pastagens anuais de inverno, sob sistema plantio direto (Santos et al., 2006b). Os tratamentos constaram dos seguintes sistemas:

Sistema I: trigo/soja, pastagem de aveia preta/soja e pastagem de aveia preta/soja;

Sistema II: trigo/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca/milho;

Sistema III: trigo/soja, pastagem de aveia preta + ervilhaca/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca/milho; e

Sistema IV: trigo/soja, aveia branca/soja e aveia branca/soja.

Considerando-se que inicialmente o pH do solo havia sido corrigido para 5,5 em 1990, ocorreu, após seis anos, em maio de 1996, reacidificação do solo, possivelmente devido à mineralização de matéria orgânica e da adubação de culturas com fertilizantes amoniacais e da acidificação provocada pela precipitação. Isso pode ser atribuído à aplicação de fertilizantes amoniacais, duas vezes por ano e à mineralização de resíduos culturais na superfície do solo (Spera, 2009). Nas culturas de inverno e nas pastagens

foi aplicado nitrogênio na adubação de manutenção e de cobertura ou após primeiro pastejo, bem como na cultura de milho, no verão. Embora os sistemas de produção estudados não tenham induzido diferenças significativas nos valores de pH do solo, a possível reacidificação sugere necessidade de reaplicação de calcário, conforme preconizado por Recomendações... (1995). Pelo rendimento médio de grãos de soja (3.240 kg/ha), obtidos em 1995, apesar do pH relativamente baixo, essa leguminosa ainda produziu acima da média da região (1.762 kg/ha) (Reunião..., 1999b). Segundo Edmeades et al. (1981), parte da resposta positiva das culturas à calagem pode ocorrer pelo aumento de absorção de N pelas plantas. Nesse período, isso não foi observado entre os sistemas estudados. A reacidificação do solo tende a alterar a atividade microbiana, a liberação e a absorção de N, que, por sua vez, limita o crescimento de plantas.

Nos sistemas I e III foram observadas diferenças do valor de pH do solo entre camada 0-5 cm (5,0) e 10-20 cm (4,9). O pH do solo, nesses sistemas, apresentou valores mais baixos na profundidade 0-5 cm do que na camada 5-10 cm. A partir da camada de 5-10 cm, os valores de pH diminuíram gradativamente com o aumento da profundidade do solo (10-20 cm). A alteração do pH nesses sistemas pode ser explicada, em parte, pelo retorno dos resíduos vegetais depositados na superfície do solo. Como trata-se de trabalhos conduzidos sob sistema plantio direto, em ambos os casos houve menor mineralização dos resíduos vegetais.

A exemplo do ocorrido para pH do solo, os sistemas de produção estudados não induziram diferenças nos valores de Al trocável do solo. O comportamento do Al está em consonância com os resultados obtidos para pH do solo e associado ao processo de acidificação do solo. O período de seis anos e o estabelecimento das espécies sob sistema plantio direto não foram suficientes para promover mudanças químicas significativas no solo, entre os sistemas estudados. Resultados similares foram observados por Santos e Tomm (1996a), trabalhando com sistemas de rotação de culturas para trigo, após cinco anos de cultivo sob sistema plantio direto, em La-

tossolo Bruno álico, no Paraná. Em todos os sistemas de produção foram verificadas diferenças no nível de Al trocável entre as profundidades de amostragem do solo. O Al trocável aumentou gradativamente da camada 5-10 cm ($6,6 \text{ mmol/dm}^3$ e $8,8 \text{ mmol/dm}^3$) para a camada 20-30 cm ($22,6 \text{ mmol/dm}^3$ e $24,3 \text{ mmol/dm}^3$). Dados similares foram observados por Santos e Tomm (1999) e por Sidiras e Pavan (1985), também trabalhando com sistemas de rotação de culturas para trigo, sob sistema plantio direto, no Paraná.

Os valores de Ca + Mg trocáveis do solo são considerados elevados para desenvolvimento das culturas tradicionais no solo em estudo (Recomendações..., 1995). A aplicação de calcário dolomítico, antes da instalação do experimento, forneceu Ca e Mg em quantidades adequadas, que ultrapassaram o nível crítico exigido pelas espécies vegetais dos sistemas estudados, que são, respectivamente 40 mmol/dm^3 e 10 mmol/dm^3 (Recomendações..., 1995). Em conformidade com o ocorrido com os atributos pH e Al trocável do solo, os sistemas de produção estudados não promoveram efeito significativo nos valores de Ca + Mg trocáveis do solo. Em seis anos não foi verificada mudanças químicas significativas no solo, entre os sistemas estudados. Os menores valores para Ca + Mg trocáveis na camada 20-30 cm, em comparação às camadas superiores, é devido a concentração destes nutrientes nas camadas superficiais. Porém, em alguns trabalhos sob plantio direto têm ocorrido essas mudanças (Sá, 1993; Santos; Tomm, 1996a; Franchini et al., 2000). Santos e Tomm (1996a) obtiveram resultados similares. Sidiras e Pavan (1985) observaram maiores valores de Ca + Mg trocáveis na camada superficial (0-10 cm), em relação à camada mais profunda (10-20 cm).

Nas diferentes camadas de amostragem houve diferenças entre os sistemas quanto aos valores entre os níveis médios de matéria orgânica do solo. O sistema III (trigo/soja, pastagem de aveia preta + ervilhaca/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca/milho - 36 g/ha) apresentou nível de matéria orgânica mais elevada do que o sistema II (trigo/soja e pastagem de aveia

preta + ervilhaca/milho - 32 g/ha), na camada 0-5 cm. Como consequência, o sistema III produziu 3,2 t a 3,3 t mais fitomassa por hectare, em relação à maioria dos sistemas estudados (2,7 t a 2,9 t). Isso pode explicar, em parte, o nível maior de matéria orgânica desse sistema, em relação aos demais. Além disso, o rendimento médio de grãos de trigo do sistema III (2.180 kg/ha) foi mais elevado do que o do sistema II (1.990 kg/ha). Por sua vez, o nível de matéria orgânica do sistema I (trigo/soja, pastagem de aveia preta/soja e pastagem de aveia preta/soja - 29 g/ha) foi superior ao sistema II (26 g/ha), na camada 5-10 cm. O sistema IV (trigo/soja, aveia branca/soja e aveia branca/soja – somente produção de grãos - 27 g/ha) mostrou valor de matéria orgânica maior, em comparação aos sistemas I (25 g/ha) e II (25 g/ha), na camada 10-20 cm. Uma explicação aceitável para essa diferença seria atribuída ao maior volume de raízes de aveia preta remanescente (Calegari et al., 1992). Foram verificadas diferenças no valor de matéria orgânica do solo entre determinadas profundidades de sua amostragem, na maioria dos sistemas de produção. Em todos os sistemas houve redução progressiva da matéria orgânica do solo da camada superficial para as camadas mais abaixo. Resultados semelhantes nas variações entre nível de matéria orgânica da camada de 0-5 cm para a camada 15-20 cm foram verificadas por Sá (1993) e por Santos e Tomm (1996a), em sistemas de rotação de culturas envolvendo trigo. A manutenção do nível de matéria orgânica em valores mais elevados apenas na camada superficial do solo decorre do acúmulo de resíduos vegetais sobre a superfície do solo sob plantio direto, resultante da ausência de incorporação física destes em função do revolvimento, a qual diminui a taxa de mineralização. Conclusões semelhantes foram registradas por Muzilli (1983). No sistema plantio direto, o acúmulo de matéria orgânica do solo e bases trocáveis nas camadas superficiais favorece a complexação do Al (Spera, 2009), o que permite a redução da frequência e da dose de calcário a ser aplicada.

O teor de P extraível do solo mostrou-se superior ao valor considerado crítico (9,0 mg/kg) para crescimento e desenvolvimento de culturas anuais

nesse tipo de solo (Latosolo Vermelho distrófico típico) (Reunião..., 1999a). Portanto, nesse caso, para adubação de manutenção, só deve ser feita a reposição da quantidade desse elemento que for retirada pelas espécies cultivadas, conforme sugerem as indicações técnicas (Reunião..., 1999a, 1999b).

Apenas na camada 0-5 cm foram observadas diferenças entre os sistemas de produção de culturas para o teor de P extraível, sendo maior no sistema IV (28,6 mg/kg) do que nos sistemas II (18,9 mg/kg) e III (20,5 mg/kg). Esse efeito pode ser reflexo do consórcio aveia preta + ervilhaca, que foi pastejado por duas e/ou três vezes por ano, durante o período de estudo nos sistemas II (trigo/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca/milho) e III (trigo/soja, pastagem de aveia preta + ervilhaca/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca/milho). Conseqüentemente houve maior remoção desse elemento do que no sistema IV (trigo/soja, aveia branca/soja e aveia branca/soja), destinados somente para produção de grãos, considerando-se que a dose de fósforo aplicada foi a mesma em todos os tratamentos.

Todos os sistemas avaliados diferiram quanto ao teor de P extraível em todas as camadas de amostragem, exceto no contraste entre as camadas 10-20 cm e 20-30 cm. Em todos os sistemas o teor de P extraível na profundidade 0-5 cm foi de 4,2 a 4,6 vezes maiores do que o teor registrado na profundidade 20-30 cm. Resultados semelhantes foram obtidos em outros estudos em sistema plantio direto (Shear; Moschler, 1969; Triplett Jr.; Van Doren Jr., 1969; Sá, 1993; Santos; Tamm, 1999; Santos et al., 2001).

Apenas no sistema IV o teor de K trocável do solo manteve-se acima do valor considerado crítico (80 mg/kg) para crescimento e desenvolvimento de culturas anuais nesse tipo de solo (Latosolo Vermelho distrófico típico) (Reunião..., 1999a). O valor de K trocável do solo diferiu, significativamente, entre todos os sistemas de produção estudados. O teor de K trocável, nas camadas 0-5 cm a 20-30 cm, foi mais elevado no sistema IV (trigo/soja, aveia branca/soja e aveia branca/soja - 193 mg/kg e 43 mg/kg) do que nos sistemas I (trigo/soja, pastagem de aveia preta/soja e pastagem de aveia

preta/soja - 129 mg/kg e 24 mg/kg), II (trigo/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca/milho - 144 mg/kg e 28 mg/kg) e III (trigo/soja, pastagem de aveia preta + ervilhaca/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca/milho - 142 mg/kg e 26 mg/kg), respectivamente. Isso pode ser devido do pastejo de aveia preta e do consórcio aveia preta + ervilhaca, que ocorreu por duas ou por três vezes por ano, durante esse período de estudo, nos sistemas II e III, que teve como consequência maior remoção desse elemento do que para as culturas do sistema IV, usadas exclusivamente para produção de grãos. Santos e Tomm (1996a), estudando sistemas de rotação de culturas para trigo, não observaram diferenças entre os sistemas avaliados para esse elemento.

Foram verificadas diferenças significativas de K trocável entre todas as camadas de amostragem de solo de todos os sistemas de produção avaliados, exceto no contraste entre 10-20 cm e 20-30 cm. O teor de K trocável na camada 0-5 cm foi de 2,6 a 3,3 vezes maiores que a concentração verificada na camada 10-20 cm. Acúmulos semelhantes de K trocável, na camada 0-5 cm, em relação à camada 15-20 cm, em sistemas de rotação de culturas, sob sistema plantio direto, foram observados por Shear e Moschler (1969), Triplett Jr. e Van Doren Jr. (1969), Santos e Tomm (1999) e Santos et al. (2001).

Fertilidade e matéria orgânica do solo em sistemas de produção de grãos com integração lavoura + pecuária, sob sistema plantio direto, em Coxilha, RS

No período de 1995 a 2000, em Coxilha, RS, foram estudados sistemas de produção com pastagens anuais de inverno e de verão. Os tratamentos foram constituídos por seis sistemas de produção com integração lavoura + pecuária (Santos et al., 2006a):

Sistema I: trigo/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca/milho;

Sistema II: trigo/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca + azevém/milho;

Sistema III: trigo/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca/pastagem de milho;

Sistema IV: trigo/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca + azevém/pastagem de milho;

Sistema V: trigo/soja, aveia branca/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca/pastagem de milho; e

Sistema VI: trigo/soja, aveia branca/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca + azevém/pastagem de milho.

O pH do solo, nas três primeiras camadas estudadas e nos sistemas de produção de grãos com integração lavoura + pecuária, decresceu após sete anos de cultivo, em comparação ao observado antes da instalação do experimento, cujos valores foram 0-5 cm: 5,58; 5-10 cm: 5,65; e 10-15 cm: 5,51. Como o calcário foi aplicado cinco anos antes da instalação do experimento, baseado no método SMP (pH 6,0), isso indica que houve acidificação, principalmente na camada superficial do solo. Em todos os sistemas de produção houve perda gradual do efeito residual da calagem efetuada, em relação ao início do estabelecimento desse experimento. Em todos os sistemas de produção houve acidificação da camada 0-5 cm, necessitando reaplicação de calcário após onze anos, para possibilitar o cultivo eficiente de leguminosas (Manual..., 2004). A acidificação da camada superficial do solo não afetou o rendimento médio de grãos das espécies em cultivo, de 1995 a 2000. Por exemplo, a cultura de soja rendeu 3.162 kg/ha, em 2000, acima da média da região (2.300 kg/ha). Entre sistemas de produção, houve diferença para valor de pH do solo somente na camada 5-10 cm, na qual o Sistema II apresentou pH maior que o verificado no sistema III. Por sua vez, todos os sistemas de produção, em todas as camadas, apresentaram

diferença para valor de pH, em relação à floresta subtropical, que apresenta a condição original de fertilidade do solo. Na camada 0-5 cm, o valor de pH da floresta subtropical foi superior ao dos sistemas de produção, enquanto, nas camadas 10-15 cm e 15-20 cm, foram inferiores. Era de se esperar que a floresta subtropical apresentasse pH menor que os obtidos nos sistemas de produção, pois estes receberam calagem e adubação. Em todos os sistemas de produção e na floresta subtropical foram verificadas diferenças no valor de pH de solo entre as camadas amostradas. O valor de pH dos sistemas de produção aumentou da camada 0-5 cm (de 4,86 a 4,93) para a camada 10-15 cm (de 5,18 a 5,43), enquanto para floresta subtropical ocorreu o inverso (5,45 para 5,03, respectivamente). Além disso, a floresta subtropical continuou apresentando redução no valor de pH até a camada 15-20 cm. Provavelmente, deve estar ocorrendo acúmulo de bases (cálcio + magnésio e potássio) que estão sendo carregadas pelas enxurradas da área do próprio experimento e de lavouras das redondezas, em razão de a floresta subtropical estar localizada paralelamente e no terço inferior da área experimental. Isso pode explicar o maior valor de pH da floresta subtropical. Entre as camadas 10-15 cm e 15-20 cm não houve diferença do valor de pH para sistemas de produção e a floresta subtropical.

O valor de Al trocável de solo, nas duas primeiras camadas e em todos os sistemas de produção, foi mais elevado que o verificado sete anos após a instalação do experimento, cujos valores foram 0-5 cm: 1,00 e 5-10 cm: 1,13 mmol_c/dm³. O aumento no teor de Al é consequência da acidificação. Houve diferença no Al trocável entre as camadas amostradas, para alguns sistemas de produção. Nas camadas de 5-10 cm (4,23 mmol_c/dm³) e 10-15 cm (4,53 mmol_c/dm³), o sistema I (trigo/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca/milho) apresentou maior valor de Al trocável de solo que o sistema II trigo/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca + azevém/milho (2,28 mmol_c/dm³ e 0,44 mmol_c/dm³, respectivamente). Por sua vez, a floresta subtropical apresentou menor valor de Al trocável em comparação ao sistema I, na camada 0-5 cm, enquanto, na camada 10-15 cm esse valor foi

maior para a floresta subtropical, em relação aos sistemas II, III, IV, V e VI. Além disso, a floresta subtropical foi superior ao sistema II para o valor de Al trocável, na camada 15-20 cm. Esses valores de Al estão relacionados diretamente aos valores de pH. Na maioria dos sistemas de produção foi verificada diferença no nível de Al trocável do solo entre as camadas amostradas de solo. Todavia, o sistema III não diferiu entre as camadas amostradas. No sistema I e na floresta subtropical, o teor de Al trocável aumentou da camada 0-5 cm para a camada 15-20 cm. Nos sistemas IV (trigo/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca + azevém/pastagem de milheto) e VI (trigo/soja, aveia branca/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca + azevém/pastagem de milheto) isso não ficou bem definido, pois o valor de Al trocável, da camada 0-5 cm para as camadas de 5-10 cm e 10-15 cm, primeiro diminuiu e depois aumentou, até a camada 15-20 cm. Como o calcário foi aplicado cinco anos, antes da instalação do experimento, isso indica que houve acidificação, principalmente da camada superficial do solo.

Os teores de Ca + Mg trocáveis de solo, em todas as camadas e em todos os sistemas de produção, estão acima do considerado necessário para o crescimento e desenvolvimento das culturas tradicionais da região (Manual..., 2004). Isso pode ser confirmado pelo desempenho das espécies cultivadas tanto no inverno como no verão, de 1995 a 2000. Entretanto, esses valores, nas duas primeiras camadas, foram menores que os observados sete anos após a instalação do experimento, cujos valores foram 0-5 cm: 93 mmol_c/dm³ e 5-10 cm: 94 mmol_c/dm³. A acidez do solo da área experimental havia sido corrigida com calcário dolomítico antes do início do referido experimento. A aplicação de calcário dolomítico forneceu Ca e Mg em quantidades adequadas para que ultrapassassem o nível crítico exigido pelas espécies vegetais dos sistemas de produção, que são 40 mmol_c/dm³ e 10 mmol_c/dm³ (Manual..., 2004). Entre os sistemas de produção não houve diferença quanto aos teores de Ca + Mg trocáveis do solo, em todas as camadas amostradas. Porém a floresta subtropical apresentou valores de Ca + Mg trocáveis maiores que os dos sistemas de produção, para a

camada 0-5 cm, enquanto, para as camadas 10-15 cm e 15-20 cm, ocorreu o contrário. Era de se esperar que, na primeira camada, a floresta subtropical (123 mmol/dm^3) mostrasse valores de Ca + Mg trocáveis menores que os dos sistemas de produção (69 mmol/dm^3 a 72 mmol/dm^3). Para os sistemas de produção, houve diferença entre todas as camadas amostradas quanto aos teores de Ca + Mg trocáveis de solo. Os teores de Ca + Mg trocáveis aumentaram, da camada 0-5 cm para a camada 10-15 cm, no sistema II, enquanto para a floresta subtropical ocorreu o inverso. Nos sistemas IV e VI, depois de aumentarem, da camada 0-5 cm para camada 10-15 cm, os teores de Ca + Mg trocáveis voltaram a diminuir, na camada 15-20 cm, em relação à primeira camada estudada. Os valores maiores de Ca + Mg trocáveis, na primeira camada da floresta subtropical, podem estar relacionados ao acúmulo de bases (cálcio + magnésio e potássio), decorrente do carreamento desses elementos químicos por enxurradas, da área do próprio experimento e de lavouras das redondezas, em virtude de a floresta subtropical estar localizada ao lado e no terço inferior da área experimental. Para o sistema III não foi encontrada diferença entre camadas amostradas e teores de Ca + Mg trocáveis. Os valores de Ca + Mg trocáveis do Sistema II foi semelhante ao obtido para pH.

O nível de matéria orgânica do solo, em todas as camadas e em todos os sistemas de produção, foi igual ou superior ao registrado sete anos antes da instalação do experimento, cujos valores foram 0-5 cm: 41 g/kg; 5-10 cm: 36 g/kg; 10-15 cm: 33 g/kg; e 15-20 cm: 32 g/kg. Nos sistemas de produção, em todas as camadas amostradas, não houve diferença entre o nível médio de matéria orgânica. Porém o nível de matéria orgânica da floresta subtropical, na camada 5-10 cm (44 g/kg), foi superior ao dos sistemas IV (37 g/kg), V (36 g/kg) e VI (37 g/kg). Por sua vez, na camada 15-20 cm, em todos os sistemas de produção, ocorreu maior nível de matéria orgânica que na floresta subtropical. Houve, em todos os sistemas de produção, acúmulo de matéria orgânica nas camadas próximas à superfície do solo, indicando que esse modo de manejo de solo pode contribuir para o

aumento do nível de matéria orgânica de solo e conseqüentemente, da fertilidade química do solo. Foram observadas diferenças no nível de matéria orgânica em todas as camadas amostradas de solo, em todos os sistemas de produção e na floresta subtropical. O nível de matéria orgânica diminuiu da camada superficial para as camadas mais profundas entre todos os sistemas de produção e a floresta subtropical. Em todos os sistemas de produção, o valor de matéria orgânica, na camada 0-5 cm, foi 1,5 a 2,2 vezes maior que o nível registrado na camada 15-20 cm. A manutenção do nível de matéria orgânica de solo em valores mais elevados apenas na camada superficial do solo decorre da permanência de resíduos vegetais sobre a superfície do solo sob sistema plantio direto, resultante da ausência de incorporação física destes através do revolvimento, que é praticado no preparo convencional de solo, a qual diminui a taxa de mineralização (Santos et al., 2003). Deve ser considerado que, nas espécies destinadas à produção de grãos e nas forrageiras, foi aplicada a dose indicada de nitrogênio como adubação de manutenção e de cobertura, exceto para soja que foi inoculada com rizóbio específico. Isso, por sua vez, repercutiu no nível de matéria orgânica, na camada 0-20 cm, em todos os sistemas estudados.

O teor de P extraível de solo, nas camadas 0-5 cm (22,1 mg/kg a 28,7 mg/kg) e 5-10 cm (12,9 mg/kg a 20,5 mg/kg), em todos os sistemas de produção, foi superior ao valor considerado crítico (9,0 mg/kg) nessa classe de textura (Latosolo Vermelho distrófico típico), para o crescimento e desenvolvimento de culturas tradicionais (Manual..., 2004). Isso pode ser confirmado pelo rendimento das espécies cultivadas, de 1995 a 2000. O teor de P extraível, observado em 2001, em três das quatro camadas estudadas e em todos os sistemas de produção, foi mais elevado que o teor avaliado sete anos antes da instalação do experimento, cujos valores foram 0-5 cm: 13,7 mg/kg; 5-10 cm: 10,5 mg/kg; e 15-20 cm: 3,8 mg/kg. O sistema plantio direto provoca alterações nas propriedades químicas de solo, as quais, por sua vez, refletem-se na fertilidade e na eficiência de uso de nutrientes pelas espécies. A rotação de culturas tem importante papel na ciclagem de

nutrientes, uma vez que as espécies vegetais diferem entre si no que se refere à quantidade e à qualidade de resíduos fornecidos, à eficiência de absorção de íons e à exploração de diferentes profundidades de solo pelo sistema radicular. Pode ser que a quantidade de adubo fosfatado aplicado na adubação de manutenção, de 1995 a 2000, tenha sido maior que a necessidade de cada cultura. Em algumas camadas amostradas, houve diferenças entre os sistemas de produção para o valor de P extraível do solo. O sistema III foi superior aos sistemas II, V e VI para teor de P extraível, na camada 5-10 cm. Além disso, o sistema III mostrou maior teor de P extraível que o sistema V, na camada 10-15 cm. Ademais, na maioria das camadas estudadas, os sistemas de produção apresentaram maior valor de P extraível, em relação à floresta subtropical. Os sistemas de produção e a floresta subtropical diferiram quanto ao teor de P extraível, em todas as camadas amostradas. Provavelmente, a concentração mais elevada do P nos sistemas de produção, em comparação com a floresta subtropical, esteja relacionada ao P no sedimento do que em solução refletindo sua forte adsorção específica e sua baixa solubilidade (Hernani et al., 1999). O valor de P extraível, em todos os sistemas de produção, na camada 0-5 cm foi, 4,2 e 6,8 vezes maior que o teor verificado na camada 15-20 cm.

O teor de K trocável de solo nas camadas 0-5 cm e 5-10 cm, em todos os sistemas de produção e na floresta subtropical, foi superior ao valor considerado crítico (80 mg/kg) para o crescimento e desenvolvimento das culturas tradicionais (Manual..., 2004). Além disso, o teor de K em 2001, em todas as camadas de solo e em todos os sistemas de produção, manteve-se acima do teor encontrado sete anos após a instalação do experimento, cujos valores foram 0-5 cm: 158 mg/kg; 5-10 cm: 77 mg/kg; 10-15 cm: 51 mg/kg; e 15-20 cm: 36 mg/kg. Para os sistemas de produção e para a floresta subtropical, não houve diferenças entre o teor de K trocável. Além disso, a floresta subtropical tendeu a apresentar teor de K trocável relativamente elevado, principalmente nas duas primeiras camadas. Houve diferenças

em teor de K trocável entre todas as camadas amostradas de solo de todos os sistemas de produção e a floresta subtropical. A exemplo do verificado com P extraível, também houve acúmulo de K trocável na camada próxima à superfície nos sistemas de produção. O teor de K trocável, na camada 0-5 cm, foi 3,2 a 5,9 vezes maior que a concentração observada na camada 15-20 cm. Acúmulo semelhante de K trocável, na camada 0-5 cm, em relação à camada 15-20 cm, foi como o verificado para Ca + Mg trocáveis, ou seja, o valor maior de K trocável, nas duas primeiras camadas da floresta subtropical, pode estar relacionado ao acúmulo de bases (Ca + Mg e K), decorrente do carreamento desses elementos químicos, por enxurradas, da área do próprio experimento e de lavouras das redondezas, em razão de a floresta subtropical estar localizada ao lado e no terço inferior da área experimental. Nos sistemas conservacionistas, os fertilizantes à base de K são depositados na superfície ou na linha de semeadura e, além disso, os resíduos vegetais são deixados na superfície, o que faz com que esse elemento se acumule nas camadas mais superficiais do solo. Os resultados observados indicam que poderá haver redução na quantidade de fertilizantes à base de P e de K aplicado no sistema plantio direto.

Fertilidade e matéria orgânica do solo em sistemas de produção de grãos com integração lavoura + pecuária, com culturas de cobertura do solo e de duplo propósito, sob sistema plantio direto, em Coxilha, RS

No período de 2003 a 2009, houve mudanças nos tratamentos dos sistemas de produção com integração lavoura + pecuária, conduzidos em Coxilha, RS, nos quais foram introduzidas culturas de cobertura de solo e de duplo propósito (Santos et al., 2009):

Sistema I: trigo/soja e ervilhaca/milho;

Sistema II: trigo/soja e pastagem de aveia preta/milho;

Sistema III: trigo/soja e pastagem de aveia preta/soja;

Sistema IV: trigo/soja e ervilha/milho;

Sistema V: trigo/soja, triticale duplo propósito/soja e ervilhaca/soja; e

Sistema VI: trigo/soja, aveia branca de duplo propósito/soja e trigo duplo propósito/soja.

Na avaliação de 2008, o pH do solo, em todas as camadas e sistemas de produção com integração lavoura-pecuária, apresentou valores menores do que os observados nas camadas estudadas em 2005, exceto no sistema V. Como o calcário foi aplicado cinco anos antes da instalação do experimento, isso indica que houve acidificação, principalmente na camada superficial do solo. Em todos os sistemas de produção com integração lavoura-pecuária houve perda gradual do efeito residual da calagem efetuada. Em todos os sistemas de produção com integração lavoura-pecuária, houve acidificação da camada de 0 cm a 5 cm (pH: 4,87 a 5,05), demandando de reaplicação de calcário, após quinze anos da última calagem, visando inclusive viabilizar o cultivo eficiente de espécies leguminosas incluídas nos sistemas de produção (Manual..., 2004). Resultados comparáveis de pH do solo foram encontrados por De Maria et al. (1999) e Franchini et al. (2000).

Mesmo havendo acidificação da camada superficial do solo, a soja produziu 2.432 kg/ha em 2006, ou seja, acima da média da região (2.300 kg/ha) (Reunião..., 2006). Paiva et al. (1996), Santos e Tomm (1996a), Ciotta et al. (2002) e Santos et al. (2006b, 2007) também observaram baixo valor de pH e acidificação, em solo manejado com sistema plantio direto.

A dissolução dos fertilizantes fosfatados e a nitrificação dos nitrogenados amoniacais ou amídicos podem ter contribuído para acidificação da camada superficial de solo, principalmente quando se considerar que houve lon-

go período de cultivo sem aplicação de calcário ou quando alta quantidade de fertilizante foi aplicada, conforme já havia relatado Ernani et al. (2001).

Em 2008, não foram constatadas diferenças de pH entre os sistemas de produção com integração lavoura-pecuária, nas camadas de 0 cm a 5 cm (4,87 a 5,05) e de 15 cm a 20 cm (3,37 a 5,55). Mas, na floresta subtropical observou-se maior pH do que os sistemas de produção com integração lavoura-pecuária, nas camadas de 0 cm a 5 cm e de 5 cm a 10 cm, exceto no sistema I, na camada de 5 cm a 10 cm. Os sistemas de produção com integração lavoura-pecuária manifestaram maior pH, em comparação à floresta subtropical, na camada de 15 cm a 20 cm. Os valores de pH dos sistemas de produção com integração lavoura-pecuária foram maiores na camada de 15 cm a 20 cm. E no sistema plantio direto, de 2005 a 2008, ocorreu acidificação da camada superficial. Resultados equivalentes de pH foram encontrados por Santos et al. (2007) que estudaram outros sistemas de produção com integração lavoura-pecuária no mesmo tipo de solo (Latosolo Vermelho distrófico típico) e município do experimento em estudo, ambos sob plantio direto. Os autores observam que pH foi maior na camada de 10 cm a 15 cm. A floresta subtropical mostrou menor valor de pH com aumento da profundidade, ao contrário dos sistemas de produção com integração lavoura-pecuária.

O valor de Al do solo, em 2008, nas camadas de 5 cm a 10 cm, 10 cm a 15 cm e 15 cm a 20 cm, em todos sistemas de produção com integração lavoura-pecuária foi mais elevado que o verificado em 2005, enquanto que, na camada de 0-5 cm, ocorreu o inverso. O aumento no teor de Al foi, portanto, consequência da acidificação.

Em, 2008, os sistemas II (13,75 mmol/dm³) e III (13,34 mmol/dm³) apresentaram maior valor de Al do que os sistemas I (8,26 mmol/dm³), IV (10,10 mmol/dm³), V (8,79 mmol/dm³), VI (9,91 mmol/dm³) e floresta subtropical (10,28 mmol/dm³), na camada de 0 cm a 5 cm. Nas demais camadas estudadas, não houve diferença entre os sistemas de produção com integração

lavoura-pecuária e, nem destes e a floresta subtropical. Esses valores de Al, em grande parte, estão relacionados diretamente aos valores de pH. Em alguns sistemas de produção com integração lavoura-pecuária, o teor de Al foi maior na camada de 5 cm a 10 cm e reduzindo a partir desta com a profundidade. Resultados similares para o teor de Al foram encontrados por Santos et al. (2006b), estudando sistemas de produção com integração lavoura-pecuária, em um Latossolo Vermelho distrófico típico.

Os teores de Ca e de Mg de solo, de 2008, na camada superficial e em alguns sistemas de produção com integração lavoura-pecuária, são maiores ou próximos dos teores críticos ao crescimento e desenvolvimento das culturas tradicionais da região (Manual..., 2004), que não afetaram desfavoravelmente o rendimento de grãos das espécies cultivadas no inverno e no verão de 2005 a 2008. Na avaliação de 2008, os valores de Ca e Mg nas camadas estudadas foram menores que o observado em 2005, ainda que a acidez do solo da área experimental tenha sido corrigida com calcário dolomítico quinze anos antes do início do referido experimento.

Em 2008, o sistema I ($41 \text{ mmol}/\text{dm}^3$) mostrou, na camada de 0 cm a 5 cm, maior teor de Ca do que os sistemas II ($32 \text{ mmol}/\text{dm}^3$) e III ($32 \text{ mmol}/\text{dm}^3$). Nas demais camadas estudadas, não houve diferença entre os sistemas de produção com integração lavoura-pecuária quanto aos teores de Ca e Mg. Resultados semelhantes de Ca e Mg foram obtidos por Santos et al. (2006b). A floresta subtropical mostrou valor de Ca mais elevado em relação aos sistemas de produção com integração lavoura-pecuária, nas camadas de 0 cm a 5 cm ($99 \text{ mmol}/\text{dm}^3$) e de 5 cm a 10 cm ($50 \text{ mmol}/\text{dm}^3$), enquanto que, o sistema I ($20 \text{ mmol}/\text{dm}^3$) manifestou, na camada de 0 cm a 5 cm, maior valor de Mg que o sistema II ($15 \text{ mmol}/\text{dm}^3$). O solo da floresta subtropical, entretanto, mostrou, nas camadas de 0 cm a 5 cm ($41 \text{ mmol}/\text{dm}^3$) e de 10-15 cm ($25 \text{ mmol}/\text{dm}^3$), maior valor de Mg do que os dos sistemas de produção com integração lavoura-pecuária. Era esperado que a floresta subtropical mostrasse, na camada superficial, valores de Ca e Mg menores que os sistemas de produção com integração lavoura-

-pecuária, em razão de não ter recebido correção de solo. Os maiores valores de Ca e Mg, nestas camadas da floresta subtropical, podem estar relacionados ao acúmulo de bases, decorrente de erosão do solo agrícola, cujos sedimentos foram carregados por enxurrada até a floresta subtropical.

Em 2008, no sistema II, aumentou o teor de Ca da camada de 0 cm a 5 cm (32 mmol/dm^3) para a camada de 15 cm a 20 cm (37 mmol/dm^3). Resultados semelhantes para Ca trocável foram encontrados por Santos et al. (2007), com sistemas de produção com integração lavoura-pecuária, para as mesmas camadas estudadas e tipo de solo (Latosolo Vermelho distrófico típico). Nesse estudo, pode ter havido maior extração destes nutrientes nas camadas superficiais, conforme sugeriram De Maria et al. (1999) ou percolação dos referidos elementos químicos, para as camadas subseqüentes. Nos demais sistemas de produção com integração lavoura-pecuária não houve diferença do Ca entre as camadas estudadas. O mesmo foi constatado com os valores de Mg.

O teor de matéria orgânica de solo (MOS), de 2008, em todos os sistemas de produção com integração lavoura-pecuária, nas camadas de 0 cm a 5 cm, 5 cm a 10 cm, e 10 cm a 15 cm, foram superiores aos encontrados em 2005. Isso pode ser devido às adequadas quantidades de biomassa produzidas desde aquele ano em todos os sistemas de produção com integração lavoura-pecuária, mesmo naquelas parcelas que haviam sido pastejadas. As quantidades de biomassa produzida foram suficientes para manter estáveis os teores de MO no solo.

Em 2008, o sistema VI (53 g/kg) mostrou teor de MOS maior do que o sistema III (47 g/kg), na camada de 0 cm a 5 cm. Nas camadas de 5 cm a 10 cm e 10 cm a 15 cm, não houve diferenças entre os sistemas de produção com integração lavoura-pecuária e a floresta subtropical, confirmando a eficiência dos referidos sistemas de produção em acumular carbono em níveis próximos dos solos na condição original (Bayer et al., 2000; Ciotta et al., 2002; Sisti et al., 2004). De acordo com Spera (2009), o acúmulo de maté-

ria orgânica do solo sob sistema plantio direto aumenta o teor de carbono orgânico dissolvido na solução de solo da camada superficial, complexando mais Al tóxico. Isso explica, em parte, a não ocorrência de toxicidade de Al, em razão da menor atividade iônica do Al. Porém, na camada de 0 cm a 5 cm, a floresta subtropical mostrou valor mais elevado de MOS, em relação a todos os sistemas de produção com integração lavoura-pecuária.

O teor de MOS, também foi maior na camada superficial (47 g/kg a 53 g/kg) de todos os sistemas de produção com integração lavoura-pecuária, em relação às camadas 5-10 cm (37 g/kg a 41 g/kg), 10-15 cm (32 g/kg a 34 g/kg) e 15-20 cm (29 g/kg a 31 g/kg). A manutenção do teor de MOS ou valores mais elevados na camada superficial do solo, decorre da permanência de resíduos vegetais sobre a superfície do solo. A ausência de incorporação física destes resíduos, mediante o revolvimento, diminui a taxa de mineralização (Santos et al., 2003). Deve ser considerado que, nas espécies destinadas à produção de grãos e nas forrageiras, foram aplicadas as doses indicadas de nitrogênio, como adubação de manutenção e de cobertura, com exceção da soja que foi inoculada com rizóbio específico, o que repercutiu no teor de MOS, na camada de 0 cm a 20 cm, em todos os sistemas estudados.

O teor de P encontrado em 2008, nas camadas de 0 cm a 5 cm (38,3 mg/kg a 48,5 mg/kg), 5 cm a 10 cm (30,0 mg/kg a 36,2 mg/kg) e 10 cm a 15 cm (11,5 mg/kg a 29,1 mg/kg), em todos os sistemas de produção com integração lavoura-pecuária, foi superior ao valor considerado crítico (9,0 mg/kg) conforme a classe de textura do solo estudado (Latosolo Vermelho distrófico típico), ao crescimento e desenvolvimento de culturas tradicionais (Manual..., 2004). Em 2008, teor de P, em três das quatro camadas (0 cm a 5 cm, 5 cm a 10 cm e 10 cm a 15 cm) e em todos os sistemas de produção com integração lavoura-pecuária, foi mais elevado que o avaliado em 2005, permitindo inferir que os sistemas de integração lavoura e pecuária também favorecem a acúmulo de P na camada superficial do solo,

em razão da adição deste nutriente pela adubação na qual se usam doses superiores à quantidade exportada pelas culturas.

Em 2008, nas camadas de 0 cm a 5 cm e de 5 cm a 10 cm, não foram observadas diferenças no teor de P entre os sistemas de produção com integração lavoura-pecuária. Entretanto, o sistema II mostrou, nas camadas de 10 cm a 15 cm (29,1 mg/kg) e de 15 cm a 20 cm (9,7 mg/kg), maior teor de P do que os sistemas IV (11,5 mg/kg e 6,2 mg/kg, respectivamente) e V (16,4 mg/kg e 6,2 mg/kg, respectivamente). Os sistemas de produção com integração lavoura-pecuária mostraram teor de P mais elevado, em comparação à floresta subtropical, nas camadas de 0 cm a 5 cm e de 5 cm a 10 cm. A concentração elevada do P nos sistemas de produção com integração lavoura-pecuária, em comparação com a floresta subtropical, está relacionada a pouca disponibilidade natural desse nutriente nos solos não cultivados (Hernani et al., 1999). O teor de P em todos os sistemas de produção com integração lavoura-pecuária, na camada de 0-5 cm foi 4,3 e 6,6 vezes maior que o teor verificado na camada de 15-20 cm. Matowo et al. (1999) e Santos et al. (2001, 2003, 2006b) encontraram resultados semelhantes. O acúmulo de P na superfície do solo é decorrente das aplicações anuais de fertilizantes fosfatados, da liberação de P durante a decomposição de resíduos vegetais, sendo que a não incorporação destes favorece menor contato com os colóides do solo, evitando desta maneira menor fixação deste elemento no solo (Wisniewski; Holtz, 1997).

Os teores de K de solo, em 2008, observados em todas as camadas e sistemas de produção com integração lavoura-pecuária, encontravam-se na faixa alto a muito alto, condição que permite adequada biodisponibilidade deste nutriente para o crescimento e desenvolvimento das culturas (Manual..., 2004). Os teores de K, nas camadas de 5 cm a 10 cm, 10cm a 15 cm e 15cm a 20 cm e, na maioria dos sistemas de produção com integração lavoura-pecuária, permaneceram acima dos valores encontrados em 2005.

Em 2008, entre os sistemas de produção com integração lavoura-pecuária, nas camadas de 0 cm a 5 cm (211 mg/kg a 262 mg/kg), 10 cm a 15 cm (101 mg/kg a 147 mg/kg) e 15 cm a 20 cm (81 mg/kg a 116 mg/kg), não houve diferenças no teor de K. Santos e Tomm (1996a; 1999), estudando rotação de culturas com trigo, também observaram o mesmo. Porém, os sistemas I (181 mg/kg) e II (169 mg/kg) mostraram, na camada de 5 cm a 10 cm, maior teor de K do que o sistema IV (129 mg/kg). Todos os sistemas de produção com integração lavoura-pecuária mostraram, nas camadas de 0 cm a 5 cm, 5 cm a 10 cm e 10 cm a 15 cm, teores de K mais elevados em relação à floresta subtropical.

Houve diferenças de teores de K entre as camadas de todos os sistemas de produção com integração lavoura-pecuária. Tal como o verificado com o P, ocorreu acúmulo de K na camada superficial. Estes teores foram de 2,1 a 2,3 vezes maiores que o observado na camada de 15 cm a 20 cm. Acúmulos semelhantes de K, nesta camada, foram encontrados por De Maria et al. (1999), Santos e Tomm (1999) e Santos et al. (2001, 2003, 2006b). Nos sistemas de produção integração lavoura e pecuária, os fertilizantes à base de K são depositados na linha de semeadura e, além disso, os resíduos vegetais são mantidos na superfície, o que fez com que esse elemento acumule na camada superficial do solo.

Os valores do C acumulados (104 g/kg a 115 g/kg) observados em 2008 foram mais elevados do que em 2005 (97 g/kg a 106 g/kg). Em 2008, o sistema VI (115 g/kg) mostrou, na camada de 0 cm a 20 cm, maior teor de C acumulado em comparação ao sistema III (104 g/kg). Os demais sistemas de produção com integração lavoura-pecuária não diferiram entre si e nem da floresta subtropical, quanto este teor, nesta mesma camada. Segundo Lal et al. (1995) e Marcolan e Anghinoni (2006), o uso do solo com atividades cuja intensidade de preparo é reduzida, ou mesmo não há preparo, favorece a recuperação e o acúmulo de C em valores superiores até aos observados em solo de vegetação nativa. Segundo Corazza et al.

(1999), existe a possibilidade de sistemas com pastagens e lavouras, sob sistema plantio direto, manterem o nível de C, contribuindo assim para o sequestro do C atmosférico, ao contrário do que ocorre com manejos mediante preparo convencional, que devido revolvimento frequente do solo, tendem a atuar em sentido oposto, promovendo maior decomposição da matéria orgânica, e em consequência evolução mais intensa de CO² (Lal et al., 1995). D'Andréia et al. (2004) demonstraram que sistemas de produção com integração lavoura-pecuária sem revolvimento do solo favorecem o aumento dos estoques de C, em comparação ao cerrado nativo e à lavoura sob preparo convencional de solo.

O balanço positivo da MOS da floresta subtropical pode ser explicado pelo fato da serrapilheira remanescente permanecer, à superfície do solo. O acúmulo de C desta foi de 7,74 Mg/ha, valor considerado suficiente para permitir o incremento da MOS, pois os teores de MOS da floresta subtropical são estáveis (Jantalia et al., 2006).

Conclusões

Fertilidade e matéria orgânica do solo de 1980 a 1986

Após sete anos de cultivo, não se observam diferenças no pH, nos teores de Al trocável, Ca + Mg trocáveis e matéria orgânica do solo em função das diversas rotações/sucessões de culturas estudadas.

Os teores de Ca + Mg trocáveis, K trocável e matéria orgânica do solo se mantêm sempre acima dos teores iniciais, após as culturas de inverno e de verão.

Sistemas de manejo de solo na fertilidade e matéria orgânica do solo da cevada

O sistema plantio direto mantém os teores de MOS, na camada de 0 cm a 5 cm.

Após sete anos de cultivos, seguindo as indicações de adubação existente, verifica-se elevação pronunciada dos teores de P na camada de 0 cm a 5 cm do solo com sistema plantio direto, em relação ao com preparo convencional de solo.

A não incorporação de calcário no sistema plantio direto não afeta o rendimento de grãos de cevada e de soja.

Fertilidade e matéria orgânica do solo nos sistemas de rotação de culturas com triticales sob sistema plantio direto

Os valores de pH, Al, Ca + Mg e P do solo não diferem entre os sistemas de rotação com triticales. Na camada de 0 cm a 5 cm, os teores de matéria orgânica são mais elevados nos sistemas de rotação de culturas do que na monocultura de triticales. Por outro lado, os teores de matéria orgânica são menores sob a monocultura de triticales do que nas rotações de culturas de inverno, na camada de 10 cm a 15 cm.

Os teores de K são mais elevados na monocultura de triticales, em relação aos sistemas: triticales/soja e aveia preta rolada com rolo facas/soja; triticales/soja, aveia preta rolada com rolo facas/soja e ervilhaca/milho; e triticales/soja, triticales/soja, aveia preta rolada com rolo facas/soja e ervilhaca/milho, na camada de 15 cm a 20 cm.

Fertilidade e matéria orgânica do solo em sistemas de rotação de culturas com trigo e cevada, sob sistema plantio direto, em Guarapuava, PR

Em todos os sistemas de rotação com trigo, na camada de 0 cm a 5 cm, são verificados valores maiores de pH e de Ca + Mg, em relação às camadas mais profundas, e, conseqüentemente, os teores de Al são menores na camada de 0 c a 5 cm do que nas demais.

Os teores de matéria orgânica, de P e de K na maioria dos sistemas estudados, declinaram gradativamente com o incremento da profundidade das camadas.

Fertilidade e matéria orgânica do solo em sistemas de produção de grãos com integração lavoura + pecuária sob sistema plantio direto em Passo Fundo, RS

Os sistemas de produção estudados promoveram aumentos nos níveis de matéria orgânica e nos teores de P e K, principalmente na camada de solo de 0 cm a 5 cm.

Em geral, os sistemas de produção componentes da integração lavoura-pecuária não interferem nos atributos químicos e físicos do solo.

Fertilidade e matéria orgânica do solo em sistemas de produção de grãos com integração lavoura + pecuária sob sistema plantio direto, em Coxilha, RS

Os níveis de P extraível e de K trocável, principalmente nas primeiras camadas, 0 cm a 5 cm e 5 cm a 10 cm, aumentaram, em comparação aos valores verificados em sete anos, de 1995 a 2001, em todos os sistemas estudados, enquanto para os valores de pH e de Al trocável ocorreu o in-

verso.

O nível de matéria orgânica e os teores de P e de K disponíveis diminuem progressivamente da camada 0 cm a 5 cm para a camada 15 cm a 20 cm, em todos os sistemas de produção, enquanto para os valores de pH e Al trocável ocorre o contrário.

Há acidificação da camada 0 cm a 5 cm, necessitando aplicação de calcário após onze anos.

Fertilidade e matéria orgânica do solo em sistemas de produção de grãos com integração lavoura + pecuária, com culturas de cobertura e de duplo propósito, sob sistema plantio direto, em Coxilha, RS

Após treze anos, em todos os sistemas de produção integração lavoura-pecuária ocorre acidificação na camada superficial do solo, evidenciada pelo menor valor de pH e maior valor de Al.

Na avaliação de 2008, houve aumento nos teores de matéria orgânica, P e K, enquanto os valores de pH diminuem quando comparados com os valores observados em 2005.

Verificou-se redução nos teores da matéria orgânica P e K com o aprofundamento da camada do solo. Porém, os valores de pH aumentaram com a profundidade.

Tecnologias desenvolvidas

Naquela época, o estudo trouxe subsídios para a indicação de não incorporação de calcário no sistema plantio direto.

Subsidiou a programação de ensaios futuros, conjugando sistemas de manejo de solo e rotação de culturas.

Os resultados de fertilidade do solo, influíram na possibilidade de redução na adubação fosfatada e potássica nas lavouras sob sistema plantio direto.

Os sistemas de produção componentes da integração lavoura-pecuária não interferem nos atributos químicos e físicos do solo.

Referências

BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; AMADO, T. J. C.; MARTIN NETO, L.; FERNANDES, S. V. Organic matter storage in a sandy clay loam Acrisol affected by tillage and cropping systems in southern Brazil. **Soil & Tillage Research**, v. 54, p. 101-109, 2000.

BLEVINS, R. L.; MURDOCK, L. W.; THOMAS, G. W. Effect of lime application on no-tillage and conventionally tilled corn. **Agronomy Journal**, v. 70, n. 2, p. 322-326, 1978.

BLEVINS, R. L.; THOMAS, G. W.; CORNELIUS, P. L. Influence of no-tillage and nitrogen fertilization on certain soil properties after 5 years of continuous corn. **Agronomy Journal**, v. 69, n. 3, p. 383-386, 1977.

CALEGARI, A.; MONDARDO, A.; BULISANI, E. A.; WILDER, L. P.; COSTA, M. B. B.; ALCÂNTARA, P. B.; MIYASAKA, S.; AMADO, T. J. C. (Coord.). **Adubação verde no sul do Brasil**. Rio de Janeiro: AS-PTA, 1992. 346 p.

CIOTTA, M. N.; BAYER, C.; ERNANI, P. R.; FONTOURA, S. M. V.; ALBUQUERQUE, J. A.; WOBETO, C. Acidificação de Latossolo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, n. 4, p. 1055-1064, 2002.

- CORAZZA, E. J.; SILVA, J. E.; RESCK, D. V.; GOMES, A. C. Comportamento de diferentes sistemas de manejo como fonte ou depósito de carbono em relação à vegetação de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, n. 2, p. 425-432, 1999.
- D'ANDRÉA, A. F.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; GUILERME, L. R. G. Estoque de carbono e nitrogênio e formas de nitrogênio mineral em solo submetido a diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 2, p. 179-186, fev. 2004.
- DE MARIA, I. C.; NNABUDE, P. C.; CASTRO, O. M. Long-term tillage and crop rotation effects on soil chemical properties of a Rhodic Ferralsol in southern Brazil. **Soil & Tillage Research**, v. 51, n. 1, p. 71-79, 1999.
- DENARDIN, J. E.; KOCHHANN, R. A.; FLORES, C. A.; FERREIRA, T. N.; CASSOL, E. A.; MONDARDO, A.; SCHWARZ, R. A. **Manejo de enxurrada em sistema plantio direto**. Porto Alegre: Forum Estadual de Solo e Água, 2005. 88 p.
- EDMEADES, D. C.; JUDO, M.; SARATHCHANDRA, S. U. The effect of lime on nitrogen mineralization as measured by grass growth. **Plant and Soil**, v. 60, n. 2, p. 177-186, 1981.
- 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.
- FRANCHINI, J. C.; BORKERT, C. M.; FERREIRA, M. M.; GAUDÊNCIO, C. A. Alterações na fertilidade do solo em sistemas de rotação de culturas em semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, n. 2, p. 459-467, 2000.

HERNANI, L. C.; KURIHARA, C. H.; SILVA, W. M. Sistemas de manejo de solo e perdas de nutrientes e matéria orgânica por erosão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, n. 1, p. 145-154, 1999.

JANTALIA, C. P.; OLIVEIRA, O. C.; LENGGRUBER, J. A.; URQUIAGA, S.; BODDEEY, R. M.; ALVES, B. J. R. O nitrogênio como elemento chave para evitar a degradação das pastagens e suas implicações na produção da gases de efeito estufa. In: ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S.; AITA, C.; BODDEY, R. M.; JANTALIA, C. P.; CAMARGO, F. A. O. (Ed.). **Manejo de sistemas agrícolas: impacto no seqüestro de C e nas emissões de gases de efeito estufa**. Porto Alegre: Genesis, 2006. p. 201-215.

LAL, R.; KIMBLE, J.; LEVINE, E.; WHITMAN, N. World soils and greenhouse effect: an overview. In: LAL, R.; KIMBLE, J.; STEWART, B. A. (Ed.). **Soils and global change**. Boca Raton: CRC Lewis Publishers, 1995. Cap. 1, p. 1-7.

MARCOLAN, A. L.; ANGHINONI, I. Atributos físicos de um Argissolo e rendimento de culturas de acordo com o revolvimento do solo em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, n. 1, p. 163-170, 2006.

MANUAL de adubação e de calagem para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. 10. ed. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo - Núcleo Regional Sul - Comissão de Química e Fertilidade do Solo, 2004. 394 p.

MATOWO, P.R.; PIERZYNSKI, G.M.; WHITNEY, D.; LAMOND, R.E. Soil chemical properties as influenced by tillage and nitrogen source, placement, and rates after 10 years of continuous sorghum. **Soil & Tillage Research**, v. 50, n. 1, p. 11-19, 1999.

MOSCHLER, W. W.; MARTENS, D. C.; RICH, C. I.; SHEAR, G. M. Comparative lime effects on continuous no-tillage and conventionatly tilled corn. **Agronomy Journal**, v. 65, n. 5, p. 781-783, 1973.

MUZILLI, O. Influência do sistema de plantio direto, comparado ao convencional, sobre a fertilidade da camada arável do solo. **Revista Brasileira de Ciência de Solo**, v. 7, n. 1, p. 95-102, 1983.

PAIVA, P. J. R.; VALE, F. R.; FURTINI NETO, A. E.; FAQUIN, V. Acidificação de um latossolo roxo do estado do Paraná sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 20, n. 1, p. 71-75, 1996.

RECOMENDAÇÕES de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. 2. ed. Passo Fundo: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Núcleo Regional Sul, Comissão de Fertilidade do Solo: EMBRAPA-CNPT, 1989. 128 p.

RECOMENDAÇÕES de adubação e de calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. 3. ed. Passo Fundo: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Núcleo Regional Sul, Comissão de Fertilidade do Solo: EMBRAPA-CNPT, 1995. 223 p.

REUNIÃO ANUAL DE PESQUISA DE CEVADA, 15., 1995, Jaguariúna. **Recomendações da Comissão de Pesquisa de Cevada para o cultivo de cevada cervejeira em 1995 e 1996**. Passo Fundo: Embrapa-CNPT, 1995. 57 p. (Embrapa-CNPT. Documentos, 21).

REUNIÃO DA COMISSÃO SUL-BRASILEIRA DE PESQUISA DE TRIGO, 31., 1999, Passo Fundo. **Recomendações...** Passo Fundo: Comissão Sul-Brasileira de Pesquisa de Trigo, 1999a. 86 p.

REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO SUL, 17., 1999, Chapecó. **Recomendações técnicas para a cultura da soja no Rio Grande do Sul e em Santa Catarina 1999/2000**. Chapecó: EPAGRI/CPPP, 1999b. 167 p.

REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO SUL, 34, 2006, Pelotas. **Indicação técnicas para a cultura da soja no Rio Grande do Sul e em**

Santa Catarina 2006/2007. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2006. 240 p.

RODRIGUES, O.; DIDONET, A. D.; LHAMBY, J. C. B.; THAINES, E. Balanço de nitrogênio na cultura de soja. In: SOJA: resultados de pesquisa do Centro Nacional de Pesquisa de Trigo, 1997/98. Passo Fundo: EMBRAPA-CNPT, 1998. p. 129-139. (EMBRAPA-CNPT. Documentos, 51).

ROMAN, E. S. Effect of cover crops on the development on weeds. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ON CONSERVATION TILLAGE SYSTEMS, 1990, Passo Fundo. **Conservation tillage for subtropical areas.** Passo Fundo: CIDA/EMBRAPA-CNPT, 1990. p. 258-262.

SÁ, J. C. de M. Manejo da fertilidade do solo no sistema plantio direto. In: PLANTIO direto no Brasil. Passo Fundo: Aldeia Norte, 1993. p. 37-60. Editado por: EMBRAPA-CNPT, FUNDACEP-FECOTRIGO, Fundação ABC.

SANTOS, H. P. dos; FONTANELI, R. S. Análise econômica e de risco de sistemas de produção de grãos de milho, sob plantio direto. In: SANTOS, H. P. dos; FONTANELI, R. S.; SPERA, S. T. (Org.). **Sistemas de produção para milho sob plantio direto.** Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2007. Cap. 12, p. 313-340.

SANTOS, H. P. dos; FONTANELI, R. S.; SPERA, S. T.; MALDANER, G. L. Rendimento de grãos e algumas características agrônômicas de soja, em sistemas de produção integração Lavoura-pecuária (ILP), sob plantio direto. In: SOJA: resultados de pesquisa 2008-2009. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2009. p. 120-136. (Embrapa Trigo. Documentos, 93).

SANTOS, H. P. dos; FONTANELI, R. S.; SPERA, S. T.; PIRES, J. L.; TOMM, G. O. (Org.). **Eficiência de soja cultivada em modelos de produção sob sistema plantio direto.** Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2005. 248 p.

SANTOS, H. P.; FONTANELI, R. S.; SPERA, S. T.; TOMM, G. O. Efeito de pastagens sobre o nível de fertilidade do solo em sistemas de produção de grãos sob plantio direto após dez anos. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, v. 13, n. n. 1/2, p. 69-78, 2007.

SANTOS, H. P. dos; FONTANELI, R. S.; SPERA, S. T.; TOMM, G. O.; AMBROSI, I. **Sistemas de produção de grãos com pastagens anuais de inverno e de verão, sob plantio direto**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2006a. 128 p. (Embrapa Trigo. Documento, 69).

SANTOS, H. P. dos; FONTANELI, R. S.; TOMM, G. O. Efeito de sistemas de produção de grãos e de pastagens sob plantio direto sobre o nível de fertilidade do solo após cinco anos. **Revista Brasileira de Ciência de Solo**, v. 25, n. 3, p. 645-653, 2001.

SANTOS, H. P. dos; FONTANELI, R. S.; TOMM, G. O.; DENARDIN, J. E. Atributos físicos e químicos de solo em sistemas de produção de grãos envolvendo pastagens anuais sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, v. 12, n. 1/2, p. 73-81, 2006b.

SANTOS, H. P. dos; FONTANELI, R. S.; TOMM, G. O.; SPERA, S. T. Efeito de sistemas mistos sob plantio direto sobre fertilidade do solo após oito anos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 3, p. 545-552, 2003.

SANTOS, H. P. dos; LHAMBY, J. C. B. Rotação de culturas em Guarapuava. XII. Efeitos de algumas culturas de inverno e de verão na evolução dos níveis de nutrientes e de matéria orgânica do solo, em plantio direto. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 20., 1992, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: SBCS, 1992. p. 114-115.

SANTOS, H. P. dos.; REIS, E. M. **Rotação de culturas em plantio direto**. 2. ed. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2003. 212 p.

SANTOS, H. P. dos; ROMAN, E. S. Rotação de culturas. XIV. Efeito de culturas de inverno e de verão na disponibilidade de nutrientes e matéria orgânica do solo, no período agrícola de 1980 a 1986. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 13, n. 3, p. 303-310, 1989.

SANTOS, H. P. dos; SIQUEIRA, O. J. W. de. Plantio direto e rotação de culturas para cevada: efeitos sobre a fertilidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 20, n. 1, p. 163-169, 1996.

SANTOS, H. P. dos; SIQUEIRA, O. J. W. de. Rotação de culturas em Guarapuava. XI. Efeitos de algumas culturas de inverno e de verão em algumas propriedades químicas do solo, num período de cinco anos, em plantio direto. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 20., 1992, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: SBCS, 1992. p. 112-113.

SANTOS, H. P. dos; TOMM, G. O. Estudo da fertilidade do solo sob quatro sistemas de rotação de culturas envolvendo trigo em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 20, n. 3, p. 407-414, 1996a.

SANTOS, H. P. dos; TOMM, G. O. Fertilidade do solo em rotação de culturas com triticales. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 20, n. 3, p. 415-421, 1996b.

SANTOS, H. P. dos; TOMM, G. O. Rotação de culturas para cevada, após dez anos: efeitos na fertilidade do solo. **Ciência Rural**, v. 28, n. 4, p. 573-580, 1998.

SANTOS, H. P. dos; TOMM, G. O. Rotação de culturas para trigo, após quatro anos: efeitos na fertilidade do solo em plantio direto. **Ciência Rural**, v. 29, n. 2, p. 259-265, 1999.

SANTOS, H. P. dos; TOMM, G. O.; LHAMBY, J. C. B. Plantio direto versus convencional: efeito na fertilidade do solo e no rendimento de grãos de

culturas em rotação com cevada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 19, n. 3, p. 449-454, 1995.

SHEAR, G. M.; MOSCHLER, W. W. Continuous corn by the no-tillage and continuous tillage methods: a six-year comparison. **Agronomy Journal**, v. 61, n. 4, p. 524-526, 1969.

SIDIRAS, N.; PAVAN, M. A. Influência do sistema de manejo do solo no seu nível de fertilidade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 9, n. 3, p. 249-254, 1985.

SILVEIRA, P. M.; STONE, L. F. Teores de nutrientes e de matéria orgânica afetados pela rotação de culturas e sistemas de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, n. 2, p. 387-394, 2001.

SISTI, C. P. J.; SANTOS, H. P. dos; KOHHANN, R. A.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. Change in carbon and nitrogen stocks in soil under 13 years of conventional or zero tillage in southern Brazil. **Soil & Tillage Research**, v. 76, n. 1, p. 39-58, 2004.

SIQUEIRA, O. J. F. de; SCHERER, E. E.; TASSINARI, G.; ANGHINONI I.; PATELLA, J. F.; TEDESCO, M. J.; MILAN, P. A.; ERNANI, P. R. **Recomendações de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. Passo Fundo: Embrapa-CNPT, 1987. 100 p.

SPERA, S. T. **Atributos físicos e químicos de um Latossolo Vermelho e produtividade de culturas, em função de manejo de solo e de rotação de culturas**. 2009. 228 p. Tese (Doutorado) - Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo.

SPERA, S. T.; SANTOS, H. P. dos; TOMM, G. O.; FONTANELI, R. S. Efeitos de sistemas de produção de grãos envolvendo pastagens sob plantio direto nos atributos físicos e na produtividade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n. 3, p. 533-542, 2004.

TRIPLETT JR., G. B.; VAN DOREN, JR., D. M. Nitrogen, phosphorus and potassium fertilization of non-tilled maize. **Agronomy Journal**, v. 61, n. 4, p. 637-639, 1969.

WISNIEWSKI, C.; HOLTZ, G. P. Decomposição da palhada com liberação de nitrogênio e fósforo numa rotação aveia-soja sob plantio direto.

Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 32, n. 11, p. 1191-1197, 1997.