

SEÇÃO VI - MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA

AVALIAÇÃO DE SISTEMAS DE PREPARO E CALAGEM EM UM LATOSSOLO BRUNO ALUMÍNICO⁽¹⁾

Jackson Adriano Albuquerque⁽²⁾, Álvaro Luiz Mafra⁽²⁾, Sandra Mara Vieira Fontoura⁽³⁾, Cimélio Bayer⁽⁴⁾ & João Frederico Mangrich dos Passos⁽⁵⁾

RESUMO

O objetivo do presente estudo foi avaliar o efeito do preparo do solo e formas de aplicação de calcário em experimento de longa duração, nas características de um Latossolo Bruno aluminógeno argiloso e nos componentes do rendimento da cultura da soja. O experimento com sistemas de preparo do solo foi instalado em 1978, e, em 1987, métodos de aplicação de calcário foram introduzidos. Os tratamentos avaliados foram: PC sem - preparo convencional sem calcário; PC inc - com calcário; PD sem - plantio direto sem calcário; PD sup - com calcário superficial e PD inc - com calcário incorporado. O solo e a planta foram analisados na safra de 2002-2003. Os sistemas plantio direto e preparo convencional não apresentaram restrições físico-estruturais no solo. Na camada superficial, o plantio direto sem incorporação de calcário apresentou maior estabilidade dos agregados do que o preparo convencional. No PD inc, a estabilidade dos agregados foi menor do que no PD sem e PD sup. A estabilidade dos agregados mostrou-se positivamente relacionada com o comprimento de micélio fúngico e com o teor de CO. A umidade volumétrica e a água disponível na camada superficial foram maiores no PD sem e PD sup e de 0,20 a 0,30 m o PD sem armazenou mais água do que o preparo convencional. O sistema plantio direto apresentou mais CO e P do que o preparo convencional. O maior teor de P no solo favoreceu sua absorção e acúmulo no tecido da soja. A calagem reduziu o Al e elevou os teores de Ca, Mg e o pH do solo, e, no preparo convencional, aumentou o Mg, P e N no tecido, a altura de plantas e o peso de mil grãos, enquanto, no plantio direto, a calagem aumentou os teores de Ca e N no tecido, a altura de plantas e o peso de mil grãos. No plantio direto, a incorporação de calcário não afetou os nutrientes no tecido nem a produtividade da cultura, apenas aumentou a altura das plantas em relação ao

⁽¹⁾ Recebido para publicação em maio de 2004 e aprovado em junho de 2005.

⁽²⁾ Professor do Departamento de Solos, Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC. Caixa Postal 281, CEP 88520-000 Lages (SC). Pesquisador do CNPq. E-mail: jackson@cav.udesc.br

⁽³⁾ Pesquisadora da Fundação Agrária de Pesquisa Agropecuária – FAPA. Colônia Vitória Entre Rios, CEP 85139-400 Guarapuava (PR). E-mail: sandrav@agraria.com.br

⁽⁴⁾ Professor do Departamento de Solos, Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS. Caixa Postal 15100, CEP 90001-970 Porto Alegre (RS). Pesquisador do CNPq. E-mail: cimelio.bayer@ufrgs.br

⁽⁵⁾ Engenheiro-Agrônomo, Mestre em Ciência do Solo, UDESC. E-mail: jfmpassos@yahoo.com.br

PD sup. Portanto, no ambiente avaliado, não houve necessidade de incorporar calcário. A produtividade da soja não foi afetada pela calagem, mas foi 16 % maior no plantio direto em relação ao preparo convencional.

Termos de indexação: plantio direto, preparo convencional, agregação, água disponível, *Glicine max*, nutrientes.

SUMMARY: EVALUATION OF SOIL TILLAGE AND LIMING SYSTEMS IN AN ALUMINIC OXISOL

The objective of this study was to evaluate the long-term effects of soil tillage systems and methods of lime application on biological, physical and chemical attributes of a clayey aluminic Oxisol, and on soybean yield components. The experiment with tillage systems was installed in 1978 in Guarapuava, PR, southern Brazil, and liming methods began to be tested in 1987. The treatments were: conventional tillage (CT) without liming; CT with liming; no-tillage (NT) without liming; NT with surface liming and NT with incorporated lime. Soil and plant analyses were performed during the 2002-2003 soybean growing season. No soil physical-structural restrictions were observed under CT and NT. In the surface soil layer NT with and without surface liming showed higher aggregate stability than CT. Aggregate stability was lower in NT with incorporated liming than in NT without soil mobilization. The aggregate stability was positively related to mycorrhiza mycelial length and organic carbon contents. The volumetric soil moisture and available water were higher in the surface layer in NT without and NT with surface liming. In the 0.20 to 0.30 m layer, NT without liming stored more water than CT. NT presented higher soil organic carbon and P contents than CT. The higher P content in the soil favours plant uptake and P accumulation in soybean leaf tissue. Liming reduced soil Al levels and increased soil pH and Ca and Mg contents. Liming under CT increased Mg, P and N contents in plant tissues, plant height and weight of 1,000 grains. Lime incorporation under NT did not affect tissue nutrient concentrations or soybean yield, but increased plant height in relation to NT with surface liming. Therefore, under the studied conditions it is not necessary to incorporate limestone under NT system. Soybean yield was not affected by liming, but it was 16% higher under NT than in CT.

Index terms: no-tillage, conventional tillage, soil aggregation, available water, Glycine max, nutrients.

INTRODUÇÃO

O rendimento das culturas agrícolas é dependente principalmente de fatores edafoclimáticos, bem como dos sistemas de manejo adotados, em especial dos sistemas de preparo do solo e formas de adubação. Até a década de 80, predominou, no Brasil, o sistema de preparo convencional, o qual degradou o solo, reduziu a estabilidade dos agregados, compactou a camada subsuperficial e acelerou a erosão hídrica. A partir desta constatação e da estagnação no rendimento de grãos, adotaram-se práticas de uso e conservação do solo para minimizar sua degradação, sendo o sistema plantio direto o que se adequou melhor, principalmente no sul do Brasil e, mais recentemente, na região do Cerrado.

As principais alterações edáficas normalmente decorrentes da introdução do plantio direto, associadas à baixa mobilização do solo, adição de

adubos e corretivos na camada superficial e a manutenção dos resíduos culturais na superfície, promovem o acúmulo de CO e nutrientes na camada superficial (Muzilli, 1983; Bayer & Mielniczuk, 1997; Franchini et al., 2000), redução das perdas de solo e de água por escoamento superficial (Debarba & Amado, 1997), maior atividade biológica (Campos et al., 1995), estabilidade dos agregados (Carpenedo & Mielniczuk, 1990) e infiltração de água no solo, além da menor perda de água por evaporação, os quais, somados à menor temperatura e amplitude térmica (Salton & Mielniczuk, 1995), aumentam a umidade na camada superficial (Campos et al., 1994). Os sistemas alteram a taxa de decomposição dos resíduos vegetais, dependendo da sua composição bioquímica, modificando as taxas de mineralização e imobilização de nutrientes, principalmente o N (Vasconcellos et al., 1999).

Os sistemas de preparo interferem na compactação do solo. Geralmente, observa-se camada compactada

em subsuperfície no preparo convencional e na superfície sob plantio direto (Machado et al., 1981). A compactação superficial é mais evidente em áreas sem controle de tráfego de máquinas e equipamentos e no sistema de integração lavoura-pecuária (Albuquerque et al., 2001).

A dinâmica do solo que envolve o armazenamento, os fluxos e a disponibilidade de ar, água e nutrientes, observados nos diferentes sistemas de manejo, pode alterar a nutrição vegetal e o rendimento das culturas (Vargas et al., 1983). Outros aspectos que devem ser considerados entre os sistemas de manejo do solo são os níveis críticos de determinados nutrientes e de elementos tóxicos, que variam também com as espécies, condições edafoclimáticas, disponibilidade de outros nutrientes e manejo da adubação (Freire et al., 1979; Santos et al., 2002).

O presente estudo objetivou avaliar o efeito de longo prazo nos sistemas plantio direto e convencional, associados ou não com a calagem distribuída na superfície, com e sem incorporação, por meio de variáveis físicas, químicas e biológicas de um Latossolo Bruno, e no desenvolvimento e componentes do rendimento da cultura da soja.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi baseado em experimento instalado em 1978 na Fundação Agrária de Pesquisa Agropecuária em Guarapuava (PR), a 1.100 m de altitude. O solo é um Latossolo Bruno Aluminico câmbico horizonte A proeminente relevo suave ondulado e substrato basalto (Embrapa, 1999) com textura argilosa a muito argilosa e mineralogia com predomínio de gibbsita e caulinita e em menor quantidade, minerais 2:1 com hidróxido entre-camadas, hematita e goethita (Costa et al., 2003). O clima, Cfb na classificação de Köppen, é subtropical úmido, sem estação seca durante o ano com geadas frequentes e severas. A precipitação média anual é de 2.022 mm, bem distribuída ao longo do ano, variando de 105, em agosto, a 215 mm, em outubro (FAPA, 2002).

Antes do experimento, a área era coberta por mata nativa, derrubada, em 1920, para formação de pastagem composta por espécies nativas, principalmente gramíneas. Em 1950, o solo foi arado pela primeira vez para o cultivo de trigo e arroz até 1962, quando foi introduzida pastagem melhorada com trevo branco (*Trifolium repens*) e gramíneas de inverno para gado leiteiro. De 1968 a 1977, foram cultivados trigo/soja (*Triticum aestivum* e *Glicine max*) em preparo convencional. Em 1978, na instalação do experimento, o solo (0–0,20 m) apresentava pH-água = 5,5; teores trocáveis de Al = 0,15 cmol_c kg⁻¹; Ca + Mg = 5,7 cmol_c kg⁻¹; K = 0,25 cmol_c kg⁻¹; saturação por Al de 2,5 %; CO = 28 g kg⁻¹ e P disponível (Mehlich-1) = 5,9 mg kg⁻¹.

No inverno de 1978, corrigiu-se o solo pela incorporação de 1,5 Mg ha⁻¹ de calcário e 0,3 Mg ha⁻¹ de escória de Thomas e, no verão de 1978/79, foi semeada soja (Jaster et al., 1993).

O experimento instalado em 1978 consistiu, originalmente, em cinco combinações dos sistemas de preparo convencional (PC), escarificação (ESC) e plantio direto (PD), combinados no inverno e no verão (PC no inverno e no verão – PC; PC no inverno e PD no verão – PC-PD; PD no inverno e PC no verão – PD-PC; PD no inverno e no verão – PD; escarificado no inverno e plantio direto no verão – ESC-PD), aplicados em parcelas de 12 x 100 m distribuídas em campo segundo o delineamento de blocos ao acaso, com três repetições.

Em 1987, introduziu-se no experimento o fator calagem em subparcelas de 12 x 30 m, aplicando-se 4,5 Mg ha⁻¹ de calcário calcítico e, em maio de 1995, foram reaplicados 3 Mg ha⁻¹ de calcário dolomítico. O presente estudo avaliou, em diferentes camadas, os sistemas PC-PC e PD-PD em seus respectivos tratamentos de calagem: Plantio direto sem calcário (PD sem), com calcário incorporado (PD inc) e com calcário superficial (PD sup); Preparo convencional sem calcário (PC sem) e com calcário incorporado (PC inc).

O PC consistiu de uma aração com grade aradora até 0,20 m e duas gradagens, niveladora e de dentes. O PD foi realizado inicialmente com semeadoras-adubadoras adaptadas e, mais recentemente, foram adquiridas máquinas específicas para o sistema. A colheita foi realizada com colhedora convencional. As operações agrícolas de semeadura, colheita e pulverização de herbicidas, inseticidas e fungicidas foram realizadas com máquinas, de forma similar ao que ocorre em lavouras comerciais, em doses e épocas determinadas, conforme recomendação para as respectivas culturas. Adotou-se o critério de não realizar operações que envolviam o trânsito de máquinas em solo com excesso de umidade.

De 1978 a 1985, foram utilizadas as culturas de trigo e soja em sucessão e, de 1986 a 2001, utilizou-se rotação de culturas com aveia branca (*Avena sativa*), trigo (*Triticum aestivum*), cevada (*Hordeum vulgare*), ervilhaca comum (*Vicia sativa*), nabo forrageiro (*Raphanus sativus*), soja (*Glicine max*) e milho (*Zea mays*). A rotação de culturas foi a mesma em todos os sistemas de manejo do solo.

Em maio de 2000, foi coletado solo nas camadas de 0 a 0,05 e 0,05 a 0,10 m para avaliar o efeito dos sistemas de manejo sobre variáveis físicas, porosidades e densidade do solo e químicas, CO (oxidação úmida), P e K extraíveis (Mehlich-1), Ca, Mg e Al trocáveis (extraídos por KCl 1 mol L⁻¹) (Ciotta, 2001; Costa, 2001). Em fevereiro de 2002, foram coletadas amostras deformadas, as quais foram resfriadas desde a coleta até seu processamento, para avaliar o comprimento de micélio extrarradicular de fungos micorrízicos arbusculares, segundo Melloni

(1996). Neste mês, foram coletadas amostras para determinar os teores de argila dispersa em água (AD), total (AT), grau de floculação (GF) pelo método da pipeta (Embrapa, 1997) e a estabilidade dos agregados por peneiramento úmido, segundo Kemper & Chepil (1965).

A água no solo foi avaliada pela determinação da variação temporal da umidade do solo e das curvas de retenção de água no solo nas camadas de 0–0,10; 0,10–0,20 e 0,20–0,30 m. Para determinar a umidade, foram coletadas cinco subamostras por parcela, nas entrelinhas da cultura, nos dias 04, 08, 17 e 21 de janeiro e 07, 14 e 18 de fevereiro de 2002. Em fevereiro de 2002, após a floração da cultura, foram coletados anéis volumétricos com 50 cm³, para confecção das curvas de retenção de água no solo.

Os pontos nas tensões de 1 e 6 kPa foram determinados na mesa de tensão, os de 33 e 100 kPa, na câmara de Richards, e na faixa de 100 a 2000 kPa, no psicrômetro “Dewpoint potentiometer – Decagon - modelo WP4” (Decagon Devices, 2000). No psicrômetro, em cada amostra, foram feitas leituras em 20 potenciais diferentes, obtendo-se a umidade gravimétrica em cada potencial. A umidade volumétrica (θ ; m³ m⁻³) foi calculada, multiplicando-se a umidade gravimétrica (Ug; Mg Mg⁻¹) e a densidade do solo (Ds; Mg m⁻³).

Para cada amostra de um sistema e camada, foram obtidos, por meio das curvas de retenção de água, o ponto de murcha permanente (1.500 kPa), e a água disponível, em cada data de coleta, foi calculada pela diferença entre umidade volumétrica e o ponto de murcha permanente.

Na cultura da soja, semeada em novembro de 2001 no espaçamento de 0,37 m, foram determinados os componentes do rendimento. A altura das plantas foi medida na floração da soja, em janeiro de 2002, em vinte plantas por parcela escolhidas aleatoriamente, determinada pela distância do solo até à inserção do primeiro trifólio maduro a partir da ponta do ramo. Na floração, nas mesmas plantas, foi coletado o primeiro trifólio maduro para análise foliar de N, P, K, Ca e Mg, segundo Tedesco et al. (1995). Em abril de 2002, foram colhidos em cada parcela três metros lineares da cultura, para determinar o estande, número de legumes por planta, número de grãos por legume, número de grãos por metro quadrado, peso de mil grãos e produtividade da cultura.

A normalidade na distribuição dos dados foi avaliada pelo teste de Shapiro-Wilk e visualizada por histogramas. Os dados de comprimento de micélio, CO, Mg, P, Al e pH em água foram transformados. O efeito dos tratamentos sobre as variáveis foi avaliado por meio da análise de variância no delineamento experimental de blocos casualizados. A diferença entre médias de tratamentos foi avaliada pelo teste de Duncan a 5 %.

Para os componentes do rendimento da cultura foram realizados contrastes ortogonais a seguir descritos: (1) PC inc x PC sem: comparou a média do preparo convencional com calcário com a média do preparo convencional sem calcário; (2) PC inc x PD inc: comparou a média do preparo convencional com calcário com a média do plantio direto com calcário incorporado; (3) PC inc x PD inc e PD sup: comparou a média do preparo convencional com calcário com a média dos sistemas de plantio direto com calcário incorporado e com calcário na superfície; (4) PC x PD: comparou as médias dos dois preparos convencionais com a média dos três sistemas de plantio direto; (5) PC sem x PD sem: comparou a média do preparo convencional com a média do plantio direto ambos sem calcário; (6) PD inc x PD sup: comparou a média do plantio direto com calcário incorporado com a média do plantio direto com calcário na superfície; (7) PD inc e PD sup x PD sem: comparou a média dos sistemas de plantio direto com calcário incorporado e com calcário na superfície com a média do plantio direto sem calcário.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Variáveis físicas, biológicas e hídricas do solo

O teor de argila total do solo variou de 537 a 611 g kg⁻¹ e não apresentou diferença significativa entre sistemas e camadas (Quadro 1). O teor de argila dispersa em água foi maior na camada de 0–0,05 m e menor na camada de 0,05–0,10 m no sistema PC sem. A argila dispersa e o grau de floculação são influenciados pela mineralogia do solo, matéria orgânica, pH, teores e tipo de cátions trocáveis, pois os mesmos interferem na espessura da dupla camada difusa. A elevação do pH e do teor de matéria orgânica em alguns sistemas aumenta o potencial elétrico superficial e, conseqüentemente, a dispersão; entretanto, o tipo e a quantidade de cátions trocáveis, especialmente os polivalentes adicionados com o calcário, promovem a floculação (Mc Bride, 1989). Nos sistemas avaliados, alterações no pH, conteúdo de matéria orgânica e cátions do solo podem ter afetado as forças de repulsão e atração entre partículas; entretanto, no presente estudo não foi observada tendência clara do efeito do preparo ou do método de calagem sobre o grau de floculação da argila.

O volume de microporos foi menor no sistema PC inc (0,42) e os maiores valores foram constatados no PD sem (0,45), PD sup (0,46) e PD inc (0,47 m³m⁻³), enquanto o PC sem (0,43 m³m⁻³) apresentou comportamento intermediário. Esta maior microporosidade, somada às condições de superfície como microrrelevo e cobertura do solo, pode favorecer a retenção da água no solo para as culturas no

PD. Em todos os sistemas, a porosidade total foi alta e a macroporosidade se manteve acima de $0,10 \text{ m}^3\text{m}^{-3}$; portanto, adequada para a maioria das culturas (Hillel, 1998). A elevada macroporosidade resultou em baixa densidade do solo, com variação de $0,96$ a $1,03 \text{ Mg m}^{-3}$. A baixa densidade foi observada também no sistema PD, onde, geralmente, é constatada compactação superficial, principalmente na camada de $0-0,10 \text{ m}$. Albuquerque et al. (1995), em Latossolo Vermelho-Amarelo cultivado por sete anos, também não observaram diferenças na densidade entre os sistemas plantio direto e preparo convencional. É importante ressaltar que os preparos de solo e operações que envolviam o trânsito de máquinas somente foram realizados em condições de solo friável, ou seja, não foram realizadas em condições de excesso de umidade, o que poderia resultar em compactação com reflexos nas demais variáveis relacionadas com a aeração.

O diâmetro médio ponderado dos agregados estáveis em água variou de $4,0 \text{ mm}$, no PC inc, a $5,7 \text{ mm}$, no PD sem, ambos na camada de $0-0,05 \text{ m}$

(Quadro 1). Neste último sistema, a mobilização do solo foi realizada apenas no sulco de semeadura, não havendo, portanto, incorporação de resíduos, adubos e corretivos desde 1978, ano da instalação do experimento. No PD inc, porém, as mobilizações do solo realizadas em 1987 e 1995 reduziram a estabilidade dos agregados na camada de $0-0,05 \text{ m}$, em relação ao PD sem e PD sup. Albuquerque et al. (1994) enfatizam que o revolvimento do solo reduz significativamente a estabilidade de agregados em solos com textura arenosa, enquanto solos argilosos são mais estáveis. Na camada de $0,05-0,10 \text{ m}$, a estabilidade de agregados não diferiu entre os sistemas de preparo e métodos de calagem.

A estabilidade de agregados foi relacionada com o micélio fúngico na camada de $0-0,05 \text{ m}$ ($r = 0,60$; $p = 0,02$) e com CO ($r = 0,63$; $p = 0,01$), Ca ($r = 0,65$; $p = 0,01$) e Mg ($r = 0,60$; $p = 0,02$) na camada de $0-0,10 \text{ m}$.

O comprimento de micélio fúngico foi maior na camada superficial sob PD sem, PD sup e PC inc, enquanto, na camada de $0,05-0,10 \text{ m}$, foi maior nos sistemas PC inc, PC sem e PD inc, sendo

Quadro 1. Variáveis físico-estruturais⁽¹⁾ do Latossolo Bruno Aluminico cultivado com preparo convencional e plantio direto

Sistema	Camada	AT	AD	GF	Mac	Mic	PT	Ds	DMP	Micélio
	m	—kg Mg ⁻¹ —		%	—m ³ m ⁻³ —			Mg m ⁻³	mm	m g ⁻¹
PC inc	0-0,05	538	143 ab ⁽²⁾	73 ^{ns}	0,20	0,42	0,62	1,00	4,0 c	23,0 ab
	0,05-0,10	537	194 ab	64 ab	0,20	0,43	0,63	0,96	4,4 ^{ns}	18,6 a
PC sem	0-0,05	595	222 a	62	0,20	0,43	0,63	0,98	4,1 bc	15,0 bc
	0,05-0,10	573	143 b	75 a	0,18	0,44	0,62	1,02	4,7	13,7 ab
PD inc	0-0,05	611	125 b	79	0,16	0,46	0,62	0,98	4,7 b	12,0 c
	0,05-0,10	564	186 ab	67 ab	0,15	0,48	0,63	0,96	4,7	12,7 ab
PD sup	0-0,05	542	136 b	74	0,16	0,45	0,61	1,01	5,6 a	30,0 a
	0,05-0,10	577	248 a	56 b	0,14	0,47	0,61	1,00	4,8	8,7 bc
PD sem	0-0,05	559	145 ab	74	0,15	0,45	0,60	1,03	5,7 a	33,0 a
	0,05-0,10	595	201 ab	66 ab	0,16	0,45	0,61	1,00	4,7	5,6 c
Médias dos sistemas										
PC inc	0-0,10	538	169	68	0,20	0,42 b	0,62	0,98	4,2	20,8
PC sem	0-0,10	584	183	69	0,19	0,43 ab	0,62	1,00	4,4	14,3
PD inc	0-0,10	587	156	73	0,15	0,47 a	0,62	0,97	4,7	12,3
PD sup	0-0,10	559	192	65	0,15	0,46 a	0,61	1,00	5,2	19,3
PD sem	0-0,10	577	173	70	0,15	0,45 a	0,60	1,01	5,2	19,3
Médias das camadas										
	0-0,05	570	155	72	0,17	0,45	0,62	1,00	4,8	22,6
	0,05-0,10	570	194	66	0,17	0,45	0,62	0,99	4,6	11,9
Probabilidade de F calculado > F tabelado										
Sist		0,26	0,42	0,49	0,19	0,04	0,73	0,69	0,01	0,35
Camada		0,98	0,01	0,02	0,48	0,24	0,62	0,30	0,30	0,01
Sist*Cam		0,69	0,01	0,02	0,47	0,65	0,61	0,17	0,01	0,01

⁽¹⁾ Teores de argila total (AT) e dispersa em água (AD), grau de floculação (GF), macroporosidade (Mac), microporosidade (Mic), porosidade total (PT), densidade do solo (Ds), diâmetro médio ponderado (DMP), micélio = comprimento de micélio micorrízico. PC inc = preparo convencional com calcário; PC sem = preparo convencional sem calcário; PD inc = plantio direto com calcário incorporado; PD sup = plantio direto com calcário superficial; PD sem = plantio direto sem calcário. ⁽²⁾ Letras diferentes, na coluna, significam diferença estatística entre sistemas em cada camada, ou na média dos sistemas.

positivamente relacionado com o teor de K trocável ($r = 0,81$; $p = 0,01$) na camada de 0 a 0,10 m. As hifas dos fungos micorrízicos arbusculares representam componente substancial da biomassa microbiana do solo e têm sido consideradas importantes mediadoras da agregação do solo (Miller et al., 1995). Rillig et al. (2002) enfatizaram também o efeito da glomalina, uma glicoproteína produzida por fungos micorrízicos arbusculares, como importante agente agregante. Campos et al. (1995), trabalhando num Latossolo Vermelho-Amarelo, encontraram estreita relação entre atividade microbiana e estabilidade de agregados, influenciadas pelos sistemas de plantio direto e preparo convencional.

No estudo de Reichert et al. (2003), são apresentados limites críticos de variáveis do solo onde se pode inferir que as variáveis físico-estruturais do Latossolo Bruno estão adequadas ao crescimento das culturas e aos processos de infiltração, percolação e retenção de água no perfil, fluxos gasosos e a penetração das raízes, portanto, sem restrições que pudessem ser identificadas pelos métodos analíticos utilizados.

A umidade volumétrica variou em profundidade, conforme a distribuição e a intensidade da chuva no período avaliado, sendo maior em subsuperfície nos períodos secos e em superfície nos chuvosos (Quadro 2). A umidade média da camada superficial no PD sup (0,40) e no PD sem (0,41) foi superior à observada no PD inc (0,37), PC sem (0,34) e PC inc (0,33 $m^3 m^{-3}$) (Quadro 2). O sistema PD sem também apresentou maior umidade nas camadas de 0,10–0,20 (0,40) e de 0,20–0,30 m (0,41 $m^3 m^{-3}$). A maior retenção de água no PD pode estar relacionada com a cobertura do solo pelos resíduos das culturas e os maiores teores de CO e volume de microporos, variáveis que atuam na infiltração e, ou, retenção de água no solo.

A umidade no ponto de murcha permanente, obtida de curvas de retenção de água (não apresentadas), variou de 0,17 no PC sem a 0,25 $m^3 m^{-3}$ no PD sem. Na média das sete coletas, a água disponível variou de 0,13 a 0,23 $m^3 m^{-3}$. Na camada de 0–0,10 m, foi maior no sistema PD sup (0,20 $m^3 m^{-3}$); de 0,10–0,20 m, nos sistemas PC inc (0,18), PC sem (0,18) e PD sem (0,21 $m^3 m^{-3}$), e de

Quadro 2. Umidade volumétrica em sete momentos nos sistemas de preparo convencional e plantio direto no Latossolo Bruno

Sistema	Camada	Momentos							
		4/1	8/1	17/1	21/1	7/2	14/2	18/2	Média
	m	Unidade volumétrica, $m^3 m^{-3}$							
PC inc ⁽¹⁾	0-0,10	0,32 B ⁽²⁾ b	0,29	0,33 Bb	0,27	0,40 ^{ns} B	0,40	0,34	0,33 Bb
	0,10-0,20	0,37 ^{ns} a	0,32	0,37 Aa	0,35	0,43 A	0,44	0,39	0,38 ABa
	0,20-0,30	0,34 Cab	0,33	0,35 Bab	0,38	0,39 AB	0,38	0,36	0,36 Bab
PC sem	0-0,10	0,32 ^{ns} B	0,31	0,33 ^{ns} B	0,30	0,39 ^{ns} B	0,40	0,35	0,34 Bb
	0,10-0,20	0,36	0,35	0,36 AB	0,34	0,43 A	0,42	0,39	0,38 ABa
	0,20-0,30	0,33 C	0,35	0,35 B	0,42	0,40 AB	0,38	0,37	0,37 Ba
PD inc	0-0,10	0,32 ^{ns} B	0,32	0,37 ^{ns} A	0,30	0,45 ^{ns} AB	0,45	0,36	0,37 ^{ns} B
	0,10-0,20	0,35	0,33	0,36 AB	0,35	0,41 A	0,43	0,39	0,37 AB
	0,20-0,30	0,36 BC	0,36	0,36 B	0,33	0,44 A	0,44	0,40	0,38 AB
PD sup	0-0,10	0,39 Aa	0,35	0,40 Aa	0,34	0,46 Aa	0,47	0,39	0,40 Aa
	0,10-0,20	0,35 b	0,33	0,34 Bb	0,33	0,34 Bb	0,41	0,37	0,35 Bb
	0,20-0,30	0,39 ABa	0,37	0,41 Aa	0,36	0,37 Bb	0,44	0,41	0,39 ABa
PD sem	0-0,10	0,38 ^{ns} A	0,35	0,40 ^{ns} A	0,34	0,49 Aa	0,48	0,40	0,41 ^{ns} A
	0,10-0,20	0,38	0,36	0,39 A	0,36	0,43 Ab	0,43	0,41	0,40 A
	0,20-0,30	0,41 A	0,40	0,42 A	0,34	0,44 Aab	0,44	0,42	0,41 A
	0-0,10	0,35	0,32 b	0,37	0,31 b	0,44	0,44	0,37 b	0,37
	0,10-0,20	0,36	0,34 ab	0,36	0,35 a	0,41	0,43	0,39 a	0,38
	0,20-0,30	0,37	0,36 a	0,38	0,37 a	0,41	0,41	0,39 a	0,38
		Probabilidade de F calculado > F tabelado							
Sist.		0,08	0,27	0,08	0,60	0,47	0,10	0,29	0,22
Camada		0,06	0,01	0,19	0,01	0,03	0,14	0,01	0,22
Sist x Cam		0,04	0,77	0,01	0,30	0,01	0,27	0,11	0,03

⁽¹⁾ PC = preparo convencional; PD = plantio direto; inc = calcário incorporado; sem = sem calcário e sup = calcário em superfície.

⁽²⁾ Letras maiúsculas comparam sistemas de manejo em cada camada e letras minúsculas, camadas em cada sistema de manejo ou na média das camadas, Duncan a 5 %.

0,20–0,30 m, nos sistemas PD sup (0,21) e PD sem (0,23 m³ m⁻³). Observando os sete momentos avaliados, a água disponível variou de 0,07, na camada de 0–0,10 m, no PC inc em 21 de janeiro, a 0,27 m³ m⁻³, na camada de 0–0,10 m, no PD sup em 14 de fevereiro e em vários momentos esteve abaixo da faixa de 0,15–0,25 m³ m⁻³, considerada adequada para as culturas (Cockroft & Olsson, 1997).

A maior umidade volumétrica e a água disponível nos sistemas de plantio direto sem mobilização (PD sem e PD sup) podem ser devido ao maior volume de microporos e teor de CO nestes sistemas. Por meio da análise de correlação dos dados disponíveis da camada de 0–0,10 m, observou-se que o teor de CO, a estabilidade de agregados e a microporosidade apresentaram relação positiva com a umidade volumétrica e água disponível, enquanto a macroporosidade apresentou relação negativa (Quadro 4). O conteúdo de CO e o volume de microporos são responsáveis pela retenção de água no solo, já a estabilidade de agregados pode ter apresentado uma relação indireta em virtude de sua relação positiva com a microporosidade e com o conteúdo de CO. Pode-se observar que, nas amostras

com maior conteúdo de CO, a umidade volumétrica aumentou, e ambos influenciaram a água disponível no solo. É importante destacar também a relação positiva entre água disponível e produtividade da soja (Quadro 4).

Variáveis químicas do solo

As modificações químicas do solo advindas dos sistemas de manejo ocorreram principalmente na camada de 0–0,05 m (Quadro 5). O maior teor de CO foi observado na camada de 0–0,05 m nos sistemas PD inc e PD sup (48 g kg⁻¹) e PC sem (44 g kg⁻¹) em relação aos PCs (34–35 g kg⁻¹). No sistema PD sem, o teor de CO foi menor do que no PD inc e PD sup apenas na camada de 0,05 a 0,10 m. O maior teor de CO no plantio direto em relação ao preparo convencional se deve à maior proteção da matéria orgânica no interior de agregados (Six et al., 1998; Bayer et al., 2001).

Outro efeito que pode estar contribuindo para os maiores teores de matéria orgânica sob PD é a menor temperatura do solo nesse sistema. Costa et al. (2003), neste mesmo experimento, constataram que o plantio direto reduziu em 5 °C a temperatura

Quadro 3. Água disponível em sete momentos nos sistemas de preparo convencional e plantio direto no Latossolo Bruno

Sistema	Camada	Momentos							
		4/1	8/1	17/1	21/1	7/2	14/2	18/2	Média
	m	Água disponível, m ³ m ⁻³							
PC inc ⁽¹⁾	0-0,10	0,11 B ⁽²⁾	0,08	0,13	0,07	0,20 ^{ns} B	0,20	0,14	0,13 Bb
	0,10-0,20	0,17 ABa	0,12	0,17	0,15	0,23 A	0,24	0,18	0,18 ABa
	0,20-0,30	0,17 BCa	0,16	0,17	0,21	0,21 AB	0,20	0,18	0,19 Ba
PC sem	0-0,10	0,12 Bb	0,10	0,13	0,10	0,19 ^{ns} B	0,20	0,14	0,14 Bb
	0,10-0,20	0,16 ABa	0,15	0,16	0,15	0,24 A	0,23	0,19	0,18 ABa
	0,20-0,30	0,16 Ca	0,18	0,18	0,25	0,23 AB	0,21	0,19	0,20 Ba
PD inc	0-0,10	0,11 Bb	0,11	0,16	0,09	0,24 ^{ns} AB	0,24	0,15	0,16 ^{ns} B
	0,10-0,20	0,13 Bab	0,12	0,15	0,14	0,20 A	0,22	0,17	0,16 B
	0,20-0,30	0,16 Ca	0,16	0,16	0,12	0,24 A	0,24	0,20	0,18 B
PD sup	0-0,10	0,19 Aa	0,15	0,20	0,14	0,26 Aa	0,27	0,19	0,20 Aa
	0,10-0,20	0,15 Bb	0,13	0,14	0,13	0,14 Bb	0,21	0,17	0,15 Bb
	0,20-0,30	0,20 ABa	0,19	0,23	0,17	0,18 Bb	0,25	0,22	0,21 ABa
PD sem	0-0,10	0,13 Bb	0,10	0,16	0,09	0,24 ^{ns} AB	0,23	0,16	0,16 Bb
	0,10-0,20	0,20 Aa	0,18	0,21	0,18	0,24 A	0,25	0,22	0,21 Aa
	0,20-0,30	0,23 Aa	0,23	0,24	0,17	0,26 A	0,26	0,24	0,23 Aa
		Média das camadas							
	0-0,10	0,13	0,11 c	0,16	0,10 c	0,23	0,23	0,16 c	0,16
	0,10-0,20	0,16	0,14 b	0,17	0,15 b	0,21	0,23	0,19 b	0,18
	0,20-0,30	0,18	0,18 a	0,20	0,18 a	0,23	0,23	0,21 a	0,20
		Probabilidade de F calculado > F tabelado							
Sist.		0,09	0,33	0,35	0,32	0,63	0,22	0,43	0,33
Camada		0,01	0,01	0,17	0,01	0,35	0,89	0,01	0,01
Sist x Cam		0,01	0,20	0,17	0,19	0,01	0,35	0,05	0,01

⁽¹⁾ PC = preparo convencional; PD = plantio direto; inc = calcário incorporado; sem = sem calcário e sup = calcário em superfície.

⁽²⁾ Letras maiúsculas comparam sistemas de manejo em cada camada e letras minúsculas, camadas em cada sistema de manejo ou na média das camadas, Duncan a 5 %.

Quadro 4. Coeficientes de correlação de Pearson (r)⁽¹⁾ e probabilidades (p)⁽²⁾ para água disponível (AD), umidade volumétrica (UV), macroporosidade (macro), microporosidade (micro), diâmetro médio ponderado (DMP), carbono orgânico (CO) e produtividade, para a camada de 0–0,10 m do Latossolo Bruno Aluminico cultivado nos sistemas de plantio direto e preparo convencional

	AD	UV	Macro	Micro	DMP	CO
UV	0,86 ⁽¹⁾ 0,01 ⁽²⁾					
Macro	-0,68 0,01	-0,70 0,01				
Micro	0,72 0,01	0,70 0,01	-0,89 0,01			
DMP	0,59 0,02	0,75 0,01	-0,46 0,08	0,55 0,03		
CO	0,77 0,01	0,72 0,01	-0,47 0,07	0,60 0,02	0,58 0,02	
Produtividade	0,64 0,01	0,48 0,07	-0,22 0,41	0,42 0,12	0,33 0,23	0,84 0,01

da camada de 0–0,05 m em relação ao preparo convencional, resultado também observado por Salton & Mielniczuk (1995), quando avaliaram o efeito de sistemas de preparo na temperatura do solo.

O maior teor de CO, o aumento da CTC (Ciotta et al., 2002), a adubação e a calagem superficial, bem como a permanência e decomposição mais lenta dos resíduos culturais na superfície do solo no sistema PD, favorecem o acúmulo de nutrientes nos primeiros centímetros do solo.

Na média das duas camadas, os teores de P foram maiores nos sistema PD sup (12,4) e PD sem (15,7 mg kg⁻¹) em relação aos sistemas PC inc (4,9) e PC sem (4,0 mg kg⁻¹). A mobilização periódica do solo no PC ou para incorporar calcário no sistema PD inc aumenta a uniformidade dos teores de nutrientes no perfil, bem como aumenta o contato do P com a fração mineral e, assim, sua fixação, resultando em menor disponibilidade.

O teor de K, na camada de 0–0,05 m, foi maior no sistema PD sem (0,70) e menor no PC sem (0,41 cmol_c kg⁻¹). O maior teor de K, na camada de 0–0,05 m, deve-se ao não-revolvimento do solo e à adubação apenas na linha de semeadura, o que causou um gradiente de concentração entre as camadas nos três sistemas de PD, enquanto no PC inc e PC sem, os teores de K foram semelhantes nas duas camadas analisadas (Quadro 5). A maior CTC na camada superficial, relacionada com o maior teor de CO e calagem, aumenta a retenção e diminui a lixiviação de cátions.

Na ausência da calagem, o PD sem apresentou maiores teores de Ca na camada de 0–0,05 m, do que o PC sem (Quadro 5). Na camada de 0–0,05 m, a adição de calcário na superfície do solo no

PD elevou os teores de Ca²⁺ (6,0 cmol_c kg⁻¹) e Mg²⁺ (1,43 cmol_c kg⁻¹) em relação aos sistemas, PC sem (Ca²⁺ = 1,60 e Mg²⁺ = 0,33 cmol_c kg⁻¹) e PC inc (Ca²⁺ = 2,60 e Mg²⁺ = 0,53 cmol_c kg⁻¹). Na camada de 0,05 a 0,10 m, o comportamento foi semelhante ao observado na camada de 0–0,05 m, porém no PD há um gradiente de concentração entre as camadas e os teores de Ca²⁺ e Mg²⁺ foram semelhantes ao PC, comparando os sistemas com calcário e sem calcário.

O pH em água foi menor nos sistemas sem calcário, com pH de 4,9, no PD sem, e 5,1, no PC sem, e a calagem elevou o pH para 5,2, no PD inc; 5,3, no PD sup, e 5,4, no PC inc (Quadro 5). O pH em água é afetado pela adição constante de fertilizantes de reação ácida, reações localizadas de nitrificação do amônio e dissolução de fosfatos solúveis de Ca (Ciotta et al., 2002). O Al trocável foi maior nos sistemas sem calcário nas duas camadas e a adição de calcário reduziu para 0,55 no PD inc, 0,81 no PD sup e 0,66 no PD inc, tendo na camada de 0–0,05 do PD sup o Al reduzido para 0,33 cmol_c kg⁻¹. É importante ressaltar que foram aplicadas doses baixas de calcário durante o período do experimento, mas suficientes para manter o Al trocável na média de 0–0,10 m abaixo de 0,81 cmol_c kg⁻¹, nos três sistemas calcariados, enquanto seu teor médio foi de 1,53 no PD sem e 1,03 cmol_c kg⁻¹ no PC sem.

É possível que os efeitos negativos para a nutrição vegetal advindos de pH próximos de 5,1 a 5,3 nos sistemas avaliados sejam compensados pelos teores elevados de P, especialmente no PD. Caires et al. (1998), em Latossolo Vermelho-Escuro em Ponta Grossa (PR), com pH_{CaCl2} de 4,5 e saturação por bases de 32 %, não encontraram resposta da soja à aplicação superficial de calcário, embora, após dois

Quadro 5. Variáveis químicas do Latossolo Bruno Aluminico cultivado com preparo convencional e plantio direto

Sistema	Camada	CO	P	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	pH água
	m	g kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	cmol _c kg ⁻¹				
PC inc ⁽¹⁾	0-0,05	35 b ⁽²⁾	5,6	0,49 ab	2,60 cd	0,53 c	0,60 b	5,3
	0,05-0,10	36 b	4,1	0,53 a	2,70 ab	0,60 a	0,50 c	5,4
PC sem	0-0,05	34 b	4,1	0,41 b	1,60 d	0,33 d	1,03 ab	5,1
	0,05-0,10	34 b	4,0	0,42 ab	1,77 b	0,37 b	1,03 b	5,1
PD inc	0-0,05	48 a	9,1	0,50 ab	4,17 b	1,10 a	0,67 b	5,2
	0,05-0,10	40 a	7,0	0,28 b	3,20 a	0,60 a	0,97 b	5,2
PD sup	0-0,05	48 a	11,3	0,62 ab	6,00 a	1,43 a	0,33 c	5,3
	0,05-0,10	41 a	13,5	0,27 b	3,77 a	0,67 a	1,00 b	5,2
PD sem	0-0,05	44 a	14,5	0,70 a	3,13 bc	0,73 b	1,17 a	4,9
	0,05-0,10	36 b	16,8	0,30 b	1,50 b	0,30 b	1,90 a	4,8
Média do sistema								
PC inc	0-0,10	35	4,9 c	0,51	2,65	0,56	0,55	5,4 a
PC sem	0-0,10	34	4,0 c	0,41	1,68	0,35	1,03	5,1 bc
PD inc	0-0,10	44	8,0 b	0,39	3,68	0,85	0,81	5,2 ab
PD sup	0-0,10	45	12,4 a	0,45	4,88	1,05	0,66	5,3 ab
PD sem	0-0,10	40	15,7 a	0,50	2,31	0,52	1,53	4,9 c
Média das camadas								
	0-0,05	42	8,9	0,54	3,50	0,83	0,76	5,2
	0,05-0,10	37	9,1	0,36	2,59	0,51	1,08	5,1
Probabilidade de F calculado > F tabelado								
Sist		0,01	0,01	0,45	0,01	0,01	0,02	0,01
Camada		0,01	0,36	0,01	0,01	0,01	0,01	0,06
Sist x Cam		0,03	0,61	0,01	0,01	0,01	0,04	0,31

⁽¹⁾ PC = preparo convencional; PD = plantio direto; inc = calcário incorporado; sem = sem calcário e sup = calcário em superfície.

⁽²⁾ Letras diferentes, na coluna, significam diferença estatística entre sistemas em cada camada, ou na média dos sistemas.

anos da correção, o pH tenha aumentado até 0,10 m de profundidade. Segundo Anghinoni & Salet (2000), pH entre 5,3 e 5,6 e teor de Al³⁺ menor que 0,5 cmol_c kg⁻¹, na camada de 0–0,10 m, seriam satisfatórios para o desenvolvimento de várias culturas; entretanto, estes níveis de acidez precisam ser estudados a longo prazo.

Estado nutricional, componentes do rendimento e produtividade da soja

Na média dos sistemas, os teores de K no tecido vegetal foram altos (31 g kg⁻¹), mostrando relação com a elevada disponibilidade deste elemento no solo onde o teor está muito alto em todos os sistemas (0,27 a 0,70 cmol_c kg⁻¹). Para este elemento, não foram observadas diferenças entre sistemas de preparo e o método de correção da acidez.

O P no tecido vegetal apresentou maiores teores na média dos sistemas de plantio direto (3,9 g kg⁻¹) do que nos sistemas de preparo convencional (3,0 g kg⁻¹) (Figura 1), possivelmente pela maior disponibilidade de P no solo no PD do que no PC (Quadro 5), conforme observado por Muzilli (1983),

Eltz et al. (1989) e Ciotta et al. (2002), o que favoreceria sua absorção pela soja. No PC, a calagem favoreceu a absorção e acúmulo de P no tecido, porém, no PD, este efeito não foi observado.

Sfredo et al. (1996) observaram, num Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico no Maranhão, com baixo teor de P (6,7 mg kg⁻¹) e baixo pH (pH_{CaCl₂} = 4,1), que a soja respondeu mais às aplicações de P do que às de calcário. Ciotta et al. (2002), em Latossolo Bruno de Guarapuava, observaram maior concentração de P em solução, na camada de 0–0,20 m, no PD sem (24), comparado ao PC sem (8 µg dm⁻³), o que reflete menor adsorção química e indica maior disponibilidade deste nutriente em PD, o que diminuiria a resposta das culturas à calagem. Possivelmente, os maiores teores de CO no solo sob PD e a maior disponibilidade de água reduzem a energia de ligação deste elemento com a fase sólida, deixando-o mais disponível às plantas.

Os teores de Ca no tecido ficaram, na média dos sistemas (9,0 g kg⁻¹), dentro da faixa adequada para a soja e não diferiram entre os sistemas de preparo (Figura 1). Entretanto, no PD sup e PD inc, a

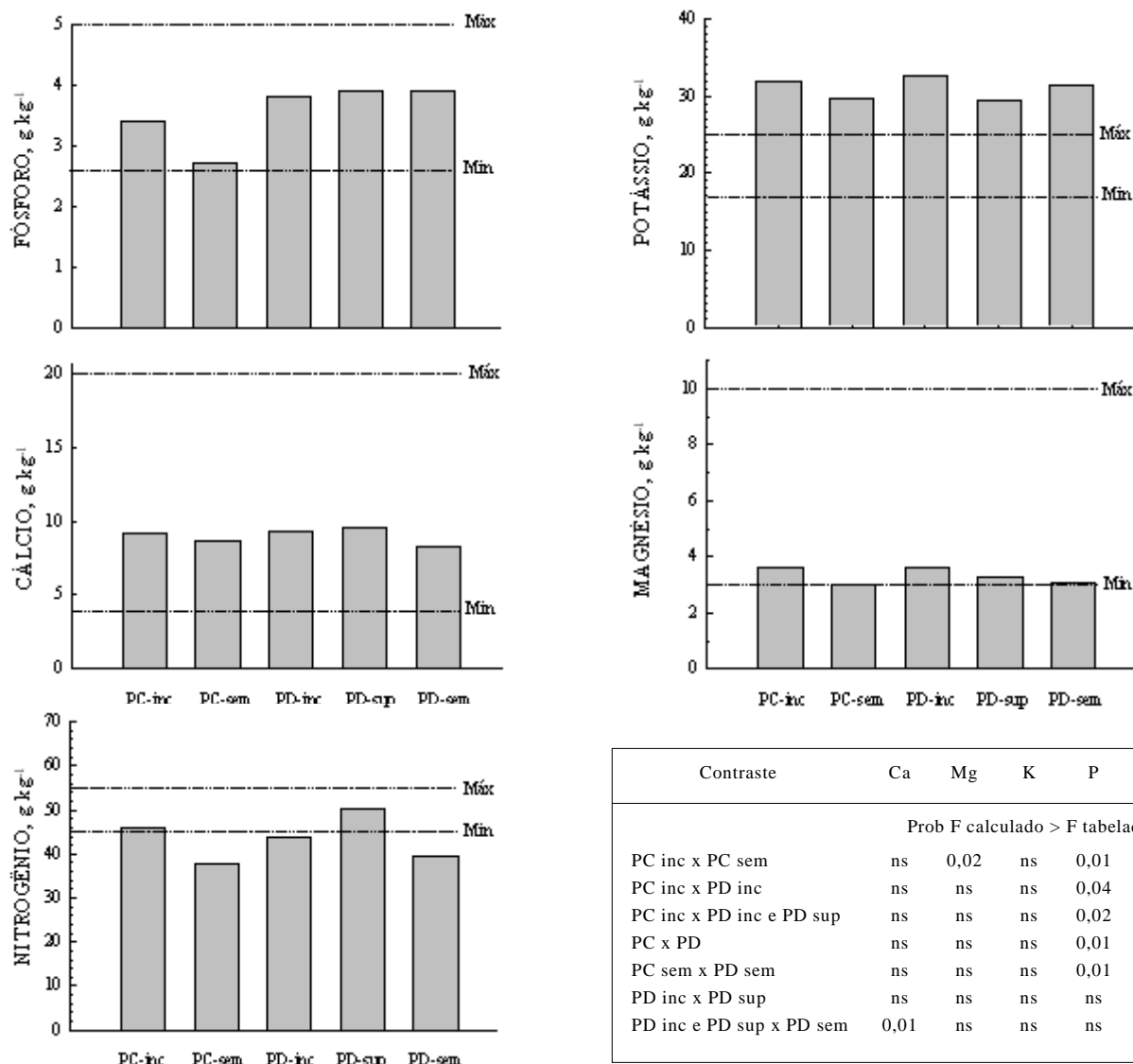


Figura 1. Teores de nutrientes no tecido da soja cultivada em plantio direto e preparo convencional em Latossolo Bruno Aluminico em Guarapuava - PR. PC inc = preparo convencional com calcário; PC sem = preparo convencional sem calcário; PD inc = plantio direto com calcário incorporado; PD sup = plantio direto com calcário superficial; PD sem = plantio direto sem calcário. Máx e Mín são os níveis máximos e mínimos adequados para cada elemento no tecido da soja.

calagem aumentou os teores de Ca no tecido em relação ao PD sem, possivelmente pelo maior teor no solo, o que favoreceu a disponibilidade e absorção pelas plantas. Os teores de Mg no tecido foram, na média dos sistemas (3,3), próximos do limite inferior considerado adequado para a soja (3,0 g kg⁻¹) (Malavolta et al., 1997). O teor de Mg no sistema PC inc (3,6) foi superior ao do PC sem (3,1 g kg⁻¹) fato relacionado com o teor no solo. Portanto, a correção da acidez elevou os teores de Ca no PD e de Mg no PC, reforçando a hipótese de que a cultura poderia beneficiar-se da correção da acidez.

O teor de N no tecido situou-se, na média dos sistemas, abaixo do limite inferior considerado adequado para a soja (43 g kg⁻¹) e não foi influenciado

pelos preparos do solo (Figura 1), mas, em ambos os sistemas, a aplicação de calcário aumentou o N no tecido da soja. Isto pode estar relacionado com o efeito benéfico do aumento do pH na fixação biológica de N₂ e maior aporte de resíduos vegetais nos sistemas calcariados.

Os sistemas de preparo do solo ou métodos de correção da acidez não interferiram no estande da cultura, que variou de 261.263 no PC sem a 291.296 plantas ha⁻¹ no PD sup (Quadro 6). A altura das plantas até à inserção do trifólio foi maior no PD sup (46 cm) e menor no PC sem (32 cm), indicando que o preparo do solo interferiu no crescimento das plantas, provavelmente por alterar a temperatura, os teores de CO₂, cátions trocáveis e a umidade do

Quadro 6. Componentes do rendimento de grãos da cultura da soja num Latossolo Bruno Aluminico em preparo convencional (PC) e plantio direto (PD)

Sistema ⁽¹⁾	Estande	Altura	Leg pl ⁻¹	Grãos leg ⁻¹	Grãos m ⁻²	PMG	Produtividade
	Plantas ha ⁻¹	cm		n°		g	kg ha ⁻¹
PC inc	267.265	36	20,1	1,8	1.102	173	1.886
PC sem	261.263	32	20,3	1,9	1.109	162	1.766
PD inc	264.265	41	23,8	2,0	1.414	170	2.264
PD sup	291.296	46	22,4	1,9	1.352	166	2.221
PD sem	232.281	38	20,6	1,9	1.212	155	1.900
CV (%)	8	3,6	14	3,4	13	3,7	12
Contraste	Probabilidade de F calculada > F tabelado						
PC inc x PC sem	ns	0,01	ns	ns	ns	0,05	ns
PC inc x PD inc	ns	0,01	ns	0,01	0,04	ns	ns
PC inc x PD inc e PD sup	ns	0,01	ns	0,02	0,04	ns	ns
PC x PD	ns	0,01	ns	0,04	0,08	ns	0,04
PC sem x PD sem	ns	0,01	ns	ns	ns	ns	ns
PD inc x PD sup	ns	0,01	ns	ns	ns	ns	ns
PD inc e PD sup x PD sem	ns	0,01	ns	ns	ns	0,02	ns

⁽¹⁾ PC inc = preparo convencional com calcário; PC sem = preparo convencional sem calcário; PD inc = plantio direto com calcário incorporado; PD sup = plantio direto com calcário superficial; PD sem = plantio direto sem calcário. ⁽²⁾ Leg pl⁻¹ = legumes por planta; Grãos leg⁻¹ = grãos por legume; Grãos m⁻² = grãos por metro quadrado e PMG = peso de mil grãos.

solo. Em ambos os sistemas, a aplicação de calcário aumentou a altura das plantas e, no PD sup, a altura foi maior do que no PD inc.

O número de legumes por planta não foi alterado pelo sistema de preparo ou método de aplicação de calcário (Quadro 6); entretanto, o número de grãos por legume foi maior na média dos sistemas PD (1,9) em relação aos PC (1,8), o que, segundo Malavolta et al. (1997), pode ser devido à deficiência em P, conforme observado nos sistemas de PC. Também o número de grãos por metro quadrado foi maior na média do PD (1.326), comparado à média do PC (1.106). A adição de calcário não alterou o número de grãos por legume ou por área. O peso de mil grãos não foi afetado pelo sistema de preparo do solo, mas, em ambos os sistemas, foi maior nos tratamentos com aplicação de calcário. No PC inc, o peso de 1000 grãos foi de 173 g, enquanto no PC sem reduziu para 162 g. Na média dos sistemas PD com calcário o peso de 1.000 grãos foi de 168 g, enquanto no PD sem baixou para 155 g.

A produtividade no sistema PD (2.128 kg ha⁻¹) foi superior à do PC (1.826 kg ha⁻¹) (Quadro 6). A produtividade do PD sem foi semelhante ao PC inc, possivelmente pelas melhorias na qualidade do solo ocorridas durante os 23 anos de condução do experimento, apesar de o pH estar baixo (4,9). As variáveis do solo que se relacionaram positivamente com a produtividade foram os teores de CO (r = 0,84; p = 0,01), Ca (r = 0,57; p = 0,03) e Mg (r = 0,67; p = 0,01) na camada de 0–0,05 m e o conteúdo de água disponível na camada de 0–0,10 m (r = 0,64; p = 0,01). Dos componentes da cultura foi o número de vagens por planta (r = 0,83; p = 0,01), grãos por vagem (r = 0,55;

p = 0,03), grãos por área (r = 0,86; p = 0,01), altura de plantas (r = 0,61; p = 0,01), concentração de N (r = 0,61; p = 0,02) e P (r = 0,55; p = 0,03) no tecido foliar.

Nos estudos realizados no mesmo experimento após sete anos (Eltz et al., 1989), 11 anos (Jaster et al., 1993) e 21 anos da sua implantação (Ciotta et al., 2002; Costa et al., 2003), foi observado que no PD as condições químicas e físicas do solo foram mais adequadas às culturas do que no PC. Nesses estudos, na média dos sistemas de aplicação de calcário, a produtividade da soja foi 42 %, do milho 22 %, do trigo 6 %, da cevada 7 % e da aveia 9 % maiores no PD comparada ao PC. Outro aspecto a considerar é que, em sistemas de PD bem manejados, a compactação não atinge níveis prejudiciais às culturas e não reduz a produtividade (Jaster et al., 1993), enquanto, nos sistemas mal manejados, o nível de compactação reduz o desenvolvimento e a produtividade das culturas. Albuquerque et al. (2001) em um Nitossolo Vermelho observaram menor produtividade do milho em PD, decorrente da pressão causada pelo trânsito de máquinas nas operações de cultivo e pisoteio animal durante o inverno, aumentando a densidade do solo na camada de 0–0,05 m e a resistência à penetração de 0–0,10 m, quando comparado com o PC.

CONCLUSÕES

1. Os sistemas de manejo do solo plantio direto e preparo convencional não apresentaram restrições físico-estruturais do solo.

2. Na camada superficial, o plantio direto sem incorporação de calcário apresentou maior estabilidade dos agregados do que o preparo convencional. No plantio direto, a incorporação do calcário reduziu a estabilidade dos agregados em comparação ao plantio direto sem calcário e sem incorporação. A estabilidade dos agregados foi positivamente relacionada com o comprimento de micélio fúngico e teor de CO.

3. A umidade volumétrica e a água disponível na camada superficial foram maiores no PD sem e PD sup e de 0,20 a 0,30 m o PD sem armazena mais água do que o preparo convencional.

4. O sistema plantio direto apresentou mais CO e P no solo do que o preparo convencional. O maior teor de P no solo favoreceu sua absorção e acúmulo no tecido da soja. A calagem reduziu o Al^{3+} e elevou os teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} e o pH do solo.

5. O calcário no preparo convencional aumentou os teores de Mg, P e N no tecido, a altura de plantas e o peso de mil grãos da soja. No plantio direto, a calagem aumentou os teores de Ca e N no tecido, a altura de plantas e o peso de mil grãos. No plantio direto, a incorporação do calcário não afetou os nutrientes no tecido nem a produtividade da cultura, apenas aumentou a altura das plantas. Portanto, no ambiente avaliado, não se verificou necessidade de mobilizar o solo para incorporar calcário no plantio direto.

6. A produtividade da soja não foi afetada pela calagem, mas mostrou-se 16 % maior no plantio direto em relação ao preparo convencional e foi relacionada com os teores de CO, de Ca, Mg e com o teor de água disponível no solo.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à CAPES, ao CNPq e à Fundação Agrária de Pesquisa Agropecuária da Cooperativa Agrária Mista Entre Rios, pelo apoio para a realização deste trabalho.

LITERATURA CITADA

- ALBUQUERQUE, J.A.; REINERT, D.J. & FIORIN, J.E. Variação temporal da estabilidade estrutural em Podzólico Vermelho-Amarelo. *Ci. Rural*, 24:275-280, 1994.
- ALBUQUERQUE, J.A.; REINERT, D.J.; FIORIN, J.E.; RUEDELL, J.; PETRERE, C. & FONTINELLI, F. Rotação de culturas e sistemas de manejo do solo: Efeito sobre a forma da estrutura do solo ao final de sete anos. *R. Bras. Ci. Solo*, 19:115-119, 1995.
- ALBUQUERQUE, J.A.; SANGOI, L. & ENDER, M. Efeitos da integração lavoura-pecuária nas propriedades físicas do solo e características da cultura do milho. *R. Bras. Ci. Solo*, 25:717-723, 2001.
- ANGHINONI, I. & SALET, R. Reaplicação de calcário no sistema plantio direto consolidado. In: KAMINSKI, J., coord. *USO DE CORRETIVOS DA ACIDEZ DO SOLO NO PLANTIO DIRETO*. Pelotas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. p.41-59.
- BAYER, C. & MIELNICZUK, J. Características químicas do solo afetadas por métodos de preparo e sistemas de cultura. *R. Bras. Ci. Solo*, 21:105-112, 1997.
- BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PILLON, C.N. & SANGOI, L. Changes in soil organic matter fractions under subtropical no-till cropping systems. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 65:1473-1478, 2001.
- CAIRES, E.F.; CHUEIRI, W.A.; MADRUGA, E.F. & FIGUEIREDO, A. Alterações de características químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na superfície em sistema de cultivo sem preparo do solo. *R. Bras. Ci. Solo*, 22:27-34, 1998.
- CAMPOS, B.C.; REINERT, D.J.; ALBUQUERQUE, J.A. & NICOLODI, R. Avaliação temporal da umidade do solo como consequência do tipo e percentagem de cobertura vegetal. *Ci. Rural*, 24:459-463, 1994.
- CAMPOS, B.C.; REINERT, D.J.; NICOLODI, R.; RUEDELL, J. & PETRERE, C. Estabilidade estrutural de um Latossolo Vermelho-Escuro distrófico após sete anos de rotação de culturas e sistemas de manejo do solo. *R. Bras. Ci. Solo*, 19:121-126, 1995.
- CARPENEDO, V. & MIELNICZUK, J. Estado de agregação e qualidade de agregados de Latossolos Roxos, submetidos a diferentes sistemas de manejo. *R. Bras. Ci. Solo*, 14:99-105, 1990.
- CIOTTA, M.N. Componentes da acidez do solo e calagem superficial em um Latossolo Bruno aluminico sob plantio direto há 20 anos. Lages, Universidade do Estado de Santa Catarina, 2001. 100p. (Tese de Mestrado)
- CIOTTA, M.N.; BAYER, C.; ERNANI, P.R.; FONTOURA, S.M.V.; ALBUQUERQUE, J.A. & WOBETO, C. Acidificação de um Latossolo sob plantio direto. *R. Bras. Ci. Solo*, 26:1055-1064, 2002.
- COSTA, F.S. Propriedades físicas e produtividade de culturas de um Latossolo Bruno sob sistemas de manejo do solo em experimento de longa duração. Lages, Universidade do Estado de Santa Catarina, 2001. 98p. (Tese de Mestrado)
- COSTA, F.S.; ALBUQUERQUE, J.A. BAYER, C.; FONTOURA, S.M.V. & WOBETO, C. Propriedades físicas de um Latossolo Bruno afetadas pelos sistemas de plantio direto e preparo convencional. *R. Bras. Ci. Solo*, 27:527-535, 2003.
- COCKROFT, B. & OLSSON, K.A. Case study of soil quality in south-eastern Australia: Management of structure for roots in duplex soils. In: GREGORICH, E.G.; CARTER, M.R., eds. *Soil quality for crop production and ecosystem health*. New York, Elsevier, 1997. p.339-350. (Developments in Soil Science, 25)
- DEBARBA, L. & AMADO, T.J.C. Desenvolvimento de sistemas de produção de milho no sul do Brasil com características de sustentabilidade. *R. Bras. Ci. Solo*, 21:473-480, 1997.
- DECAGON DEVICES, I. Operator's manual version 1.3 WP4 dewpoint potentiometer. Washington, Decagon, 2000. 70p.
- ELTZ, F.L.P.; PEIXOTO, R.T.G. & JASTER, F. Efeitos de sistemas de preparo do solo nas propriedades físicas e químicas de um Latossolo Bruno álico. *R. Bras. Ci. Solo*, 13:259-267, 1989.

- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo. 2.ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA-EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Brasília, 1999. 412p.
- FRANCHINI, J.C.; BORKERT, C.M.; FERREIRA, M.M. & GUADÊNCIO, C.A. Alterações na fertilidade do solo em sistemas de rotação de culturas em plantio direto. R. Bras. Ci. Solo, 24:459-467, 2000.
- FREIRE, F.M.; NOVAIS, R.F.; BRAGA, J.M.; FRANÇA, G.E.; SANTOS, H.L. & SANTOS, P.R.R.S. Adubação fosfatada para a cultura da soja (*Glycine max* (L.) Merrill) baseada no fósforo "disponível" em diferentes extratores químicos e no "fator capacidade". R. Bras. Ci. Solo, 3:105-111, 1979.
- FUNDAÇÃO DE AMPARO A PESQUISA AGROPECUÁRIA - FAPA. Cooperativa Agrária Mista Entre Rios LTDA. 2002. Não publicado.
- HILLEL, D. Environmental soil physics. San Diego, Academic Press, 1998. 771p.
- JASTER, F.; ELTZ, F.L.F.; FERNANDES, F.F.; MERTEN, G.H.; GAUDÊNCIO, C.A. & OLIVEIRA, M.C.N. Rendimento de grãos em diferentes sistemas de preparo e manejo de solos. Londrina, Embrapa-CNPSo, 1993. 37p. (Documentos, 61)
- KEMPER, W.D. & CHEPIL, W.S. Size distribution of aggregates. In: BLACK, C.A.; EVANS, D.D.; WHITE, J.L.; ENSMINGER, L.E. & CLARCK, F.E., eds. Methods of soil analysis. Madison, American Society of Agronomy, 1965. p.499-510.
- MACHADO, J.A.; PAULA SOUZA, D.M. & BRUM, A.C.R. Efeitos de anos de cultivo convencional em propriedades físicas do solo. R. Bras. Ci. Solo, 5:187-189, 1981.
- MALAVOLTA, E. VITTI, G.C. & OLIVEIRA, S.A. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. 2.ed. Piracicaba, Potafós, 1997. 319p.
- McBRIDE, M.B. Surface chemistry of soils minerals. In: DIXON, J.B. & WEED, S.B., eds. Minerals in soil environments. 2.ed. Madison, Soil Science Society of America, 1989. p.35-88.
- MELLONI, R. Quantificação de micélio extrarradicular de fungos micorrízicos arbusculares em plantas cítricas. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 1996. 83p. (Tese de Mestrado)
- MILLER, R.M.; REINHARDT, D.R. & JASTROW, J. External hyphal production of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi in pasture and tallgrass prairie communities. Oecologia, 103:17-23, 1995.
- MUZILLI, O. Influência do sistema plantio direto, comparado ao convencional, sobre a fertilidade da camada arável do solo. R. Bras. Ci. Solo, 7:95-102, 1983.
- REICHERT, J.M.; REINERT, D.J. & BRAIDA, J.A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. Ci. Amb., 27:29-48, 2003.
- RILLIG, M.C.; WRIGHT, S.F. & EVINER, V.T. The role of arbuscular mycorrhizal fungi and glomalin in soil aggregation: Comparing effects of five plant species. Plant Soil, 238:325-333, 2002.
- SALTON, J.C. & MIELNICZUK, J. Relações entre sistemas de preparo, temperatura e umidade de um Podzólico Vermelho-Escuro de Eldorado do Sul. R. Bras. Ci. Solo, 19:313-319, 1995.
- SANTOS, H.Q.; FONSECA, D.M.; CANTARUTTI, R.B.; ALVAREZ V., V.H. & NASCIMENTO JÚNIOR, D. Níveis críticos de fósforo no solo e na planta para gramíneas forrageiras tropicais, em diferentes idades. R. Bras. Ci. Solo, 26:173-182, 2002.
- SFREDO, G.J.; PALUDZYSZYN FILHO, E.; GOMES, E.R. & OLIVEIRA, M.C.N. Resposta da soja a fósforo e a calcário em Podzólico Vermelho-Amarelo de Balsas, MA. R. Bras. Ci. Solo, 20:429-432, 1996.
- SIX, J.; ELLIOT, E.T.; PAUSTIAN, K. & DORAN, J.W. Aggregation and soil organic matter accumulation in cultivated and native grassland soils. Soil Sci. Soc. Am. J., 62:1367-1377, 1998.
- TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H & VOLKWEISS, S.J. Análises de solo, plantas e outros materiais. 2.ed. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174p.
- VARGAS, R.M.B.; MEURER, E.J. & ANGHINONI, I. Mecanismos de suprimento de fósforo, potássio, cálcio e magnésio às raízes de milho em solos do Rio Grande do Sul. R. Bras. Ci. Solo, 7:143-148, 1983.
- VASCONCELLOS, C.A.; CAMPOLINA, D.C.A.; SANTOS, F.G.; EXEL PITTA, G.V. & MARRIEL, I.E. Resposta da soja e da biomassa de carbono do solo aos resíduos de cinco genótipos de sorgo. R. Bras. Ci. Solo, 23:69-77, 1999.