

EFEITO DE SISTEMAS DE PREPARO E DE CULTURA NA DINÂMICA DA MATÉRIA ORGÂNICA E NA MITIGAÇÃO DAS EMISSÕES DE CO₂⁽¹⁾

C. BAYER⁽²⁾, J. MIELNICZUK⁽³⁾, L. MARTIN-NETO⁽⁴⁾

RESUMO

Neste estudo, ajustou-se um modelo exponencial de primeira ordem aos dados de carbono orgânico (CO) e N total (NT) do solo, do 5º e 9º ano de um experimento instalado em um Podzólico Vermelho-Escuro, em Eldorado do Sul (RS). Determinaram-se os parâmetros da dinâmica da matéria orgânica e simularam-se os estoques de CO e NT do solo em três sistemas de preparo (convencional-PC, reduzido-PR e plantio direto-PD) e três sistemas de cultura (aveia/milho-A/M, aveia + ervilhaca/milho-A + E/M e aveia + ervilhaca/milho + caupi A + E/M + C). A taxa de decomposição da matéria orgânica do solo diminuiu de 0,054 ano⁻¹, no sistema com lavração e gradagem (PC), para 0,039 ano⁻¹, no solo escarificado (PR), e 0,029 ano⁻¹, no solo não revolvido (PD). Estimou-se que os estoques de CO e NT do solo em 1990 (30,78 Mg ha⁻¹ e 2.200 kg ha⁻¹) diminuirão para 16,11 Mg ha⁻¹ e 1.396 kg ha⁻¹ na combinação PC-A/M. Por sua vez, no sistema PD-A + E/M + C, os estoques de CO e NT do solo em 1990 (32,52 Mg ha⁻¹ e 2.690 Mg ha⁻¹) tenderão a aumentar a estoques estáveis de 54,83 Mg ha⁻¹ e 7.966 kg ha⁻¹, respectivamente. Os sistemas de manejo sem revolvimento do solo e alto aporte de resíduos apresentaram efeito positivo na mitigação das emissões de CO₂. Enquanto o sistema PC-A/M apresentou um efluxo líquido (emitido pelo solo > fixado pelas culturas por fotossíntese) de 2,08 Mg CO₂ ha⁻¹ para atmosfera no ano de 1994, o sistema PD-A + E/M + C mostrou um influxo líquido (emitido pelo solo < fixado pelas culturas) de CO₂ de 1,79 Mg ha⁻¹ ano⁻¹. Atingidos os estoques estáveis de CO no solo estimados pelo modelo, o solo no sistema PD-A + E/M + C terá seqüestrado aproximadamente 142 Mg CO₂ ha⁻¹, em comparação ao sistema PC-A/M.

Termos de indexação: plantio direto, sistemas de cultura, nitrogênio total, seqüestro de CO₂.

⁽¹⁾ Recebido para publicação em junho de 1999 e aprovado em junho de 2000.

⁽²⁾ Professor do Departamento de Solos da Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC. Caixa Postal 281, CEP 88520-000 Lages (SC).

⁽³⁾ Professor Titular aposentado do Departamento de Solos da Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS. Caixa Postal 776, CEP 90001-970 Porto Alegre (RS).

⁽⁴⁾ Pesquisador da Embrapa Instrumentação Agropecuária. Caixa Postal 741, CEP 13560-970 São Carlos (SP).

SUMMARY: *EFFECT OF TILLAGE AND CROPPING SYSTEMS ON SOIL ORGANIC MATTER DYNAMICS AND ATMOSPHERIC CO₂ MITIGATION IN SOUTHERN BRAZIL*

In this study, a first order exponential model was adjusted to the experimental data of soil organic carbon (OC) and total nitrogen (TN) of a 9-year-old experiment in southern Brazil. Parameters of soil organic matter dynamics were determined and the soil OC and TN stocks simulated in a Paleudult soil under three tillage systems (conventional tillage: CT, reduced tillage:RT, and no-tillage:NT) and three cropping systems (oat/maize-O/M, oat + vetch/maize-O + V/M and oat + vetch/maize + cowpea-O + V/M + C). Yearly, less soil turn over decreased the coefficient of soil organic matter losses (k_2) from 0.054 year⁻¹ under CT to 0.039 year⁻¹ and 0.029 year⁻¹ under RT and NT, respectively. The model showed that the soil OC and TN stocks from O/M under CT tended to decrease from 30.78 Mg ha⁻¹ and 2.200 kg ha⁻¹ in 1990 to constant values of 16.11 Mg ha⁻¹ and 1.396 kg ha⁻¹. In 1990, the soil OC and TN stocks from O + V/M + C under NT would increase from 32.52 Mg ha⁻¹ and 2.690 kg ha⁻¹ to constant amounts of 54.83 Mg ha⁻¹ and 7.966 kg ha⁻¹, respectively. The conservative soil management systems with no tillage and high addition of crop residues to soil also showed a positive effect on the mitigation of CO₂ emissions. In the year of 1994, CT-O/M showed a net CO₂ efflux to atmosphere (soil emission > crop fixation by photosynthesis) of 2.08 Mg ha⁻¹, while the NT-O + V/M + C showed a net influx (soil emission < crop fixation by photosynthesis) of 1.79 Mg CO₂ ha⁻¹. By the time the system reached the constant soil OC level, as determined by the exponential model, the soil OC storage in NT-O + V/M + C soil will have represented a C sink of 142 Mg CO₂ ha⁻¹, in comparison with conventionally tilled soil and O/M system.

Index terms: soil tillage, cropping system, soil organic matter, atmospheric CO₂ mitigation.

INTRODUÇÃO

Nas condições de clima subtropical do sul do Brasil, sistemas de manejo adequados à conservação do solo e produtividade das culturas devem ter por premissa a cobertura do solo por culturas ou seus resíduos (Debarba & Amado, 1997; Bayer et al., 1998). Nesta região, experimentos de longa duração têm demonstrado que o plantio direto e sistemas de cultura com alto aporte de resíduos e N pela inclusão de leguminosas resultam num aumento dos estoques de carbono orgânico (CO) e nitrogênio total (NT) do solo (Burle et al., 1997; Bayer et al. 2000a). Bayer et al. (2000b) determinaram que a utilização, durante nove anos, do plantio direto associado ao sistema aveia + ervilhaca/milho + caupi resultou num acúmulo de 12 Mg ha⁻¹ de CO e de 900 kg ha⁻¹ de NT na camada de 0-30 cm, comparativamente ao sistema de manejo com preparo convencional e sistema aveia/milho.

As alterações nos estoques de matéria orgânica são lentas, o que, associado a curtos períodos experimentais, dificulta a visualização do seu comportamento a médio e longo prazo. O ajuste de modelos matemáticos auxilia na interpretação e extrapolação dos resultados experimentais, permitindo a simulação dos estoques de matéria orgânica do solo. Henin & Dupuis (1945) utilizaram

um modelo exponencial de primeira ordem para avaliar a dinâmica da matéria orgânica no solo. Trata-se de um modelo de um compartimento simples, o qual é afetado pela perda de carbono orgânico do solo por erosão e oxidação microbiana (K_2) e pela quantidade do carbono orgânico adicionada pelas culturas que é incorporado à matéria orgânica do solo ($A.K_1$).

Atualmente, existem inúmeros modelos com múltiplos compartimentos (van Veen & Paul, 1981; Janssen, 1984; Parton et al., 1987), os quais permitem o melhor entendimento da dinâmica da matéria orgânica, por considerar frações orgânicas com diferente composição e estabilidade no solo. Tais modelos foram desenvolvidos para condições de solo pouco intemperizados e de clima temperado, sendo os compartimentos da matéria orgânica e sua estabilidade no solo diferentes daqueles encontrados em solos mais intemperizados e sob clima quente e úmido (Parfitt et al., 1997). A proteção física da matéria orgânica pela sua interação com óxidos e hidróxidos de Fe e Al, entre outros fatores, determina a necessidade de desenvolvimento de pesquisas básicas com vistas em determinar a magnitude e os coeficientes de conversão entre os compartimentos da matéria orgânica, a fim de melhorar as estimativas dos modelos multicompartimentais em solos tropicais e subtropicais. Parfitt et al. (1997),

por exemplo, sugeriram a inclusão da área superficial específica do solo no modelo Century para simular os estoques de matéria orgânica em solos tropicais.

Considerando as dificuldades no uso de modelos multicompartimentais, o modelo exponencial simples tem sido utilizado em diversos casos (Woodruff, 1949; Dalal & Mayer, 1986; Silva et al., 1995). Silva et al. (1995) simularam as perdas de matéria orgânica em solos sob cultivo convencional na região Centro-Oeste do Brasil por meio do ajuste do modelo exponencial de primeira ordem. As taxas de perda de matéria orgânica (K_2) foram altas e inversamente relacionadas com a textura dos solos. Solos com mais de 30% de argila (Latosolos Vermelho-Escuro) apresentaram K_2 de 24%, enquanto solos com 15-30% de argila (Latosolos Vermelho-Amarelos) e com menos que 15% de argila (Areias Quartzozas) apresentaram valores de K_2 de 30 e 32%, respectivamente. Os autores previram perdas de 15,4 e 26,5 Mg ha⁻¹ de carbono orgânico até que os estoques de matéria orgânica atingissem valores estáveis (steady state). O tempo necessário para a perda da metade do estoque de matéria orgânica do solo foi estimado em apenas dois a três anos.

Nos últimos anos, tem sido ressaltada também a contribuição do plantio direto na diminuição da emissão de CO₂ para a atmosfera. Fortin et al. (1996) determinaram uma redução de 2,50 Mg CO₂ ha⁻¹ ano⁻¹ no plantio direto, comparativamente ao preparo convencional. Kern & Johnson (1993) avaliaram, nos Estados Unidos, o efeito da adoção de sistemas de preparo conservacionistas sobre a emissão de CO₂ do solo para atmosfera até 2020. Os autores criaram cenários com 27% (situação atual), 57% (cenário 2) e 76% (cenário 3) da área plantada, na qual seriam adotados sistemas conservacionistas de preparo do solo. A manutenção da situação atual poderá resultar numa perda de 31 a 52 Tg de C (Tg = 10¹⁵ g). Nos cenários 2 e 3, as perdas de C do solo na forma de CO₂ seriam reduzidas para 18-30 e 9-16 Tg. Considerando as emissões de CO₂ dos combustíveis fósseis para o preparo das áreas e produção de herbicidas, os autores estimaram que o sistema agrícola, com o incremento da adoção de sistemas conservacionistas de preparo da situação atual (27%) para os níveis do cenário 3 (76%), passaria de fonte de CO₂ (188-209 Tg C) para um dreno de CO₂ (131-306 Tg C) da atmosfera.

Este estudo objetivou determinar os parâmetros da dinâmica da matéria orgânica num Podzólico Vermelho-Escuro, submetido a três métodos de preparo e três sistemas de cultura, a partir do ajuste de um modelo exponencial de primeira ordem aos estoques de CO e NT do solo no 5º e 9º ano de um experimento. Adicionalmente, avaliou-se o efeito dos sistemas de manejo na mitigação das emissões do CO₂ atmosférico e simulou-se, a médio prazo (15 anos), o comportamento dos estoques de CO e NT do solo.

MATERIAL E MÉTODOS

Os parâmetros do modelo foram obtidos de dados de CO e NT do 5º (1990) e 9º ano (1994) de um experimento de manejo do solo, iniciado em 1985 na Estação Experimental Agronômica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, município de Eldorado do Sul, Rio Grande do Sul.

Condições Climáticas e Características do Solo

O clima da região é subtropical úmido-Cfa, segundo a classificação climática de Köppen. A temperatura média anual é de 19,4°C, com uma variação de 13,9 a 24,9°C entre as temperaturas médias mensais. A precipitação média anual é de 1.490 mm, com variações médias mensais de 95,2 mm a 168 mm (Bergamaschi & Guadagnin, 1990).

O Podzólico Vermelho-Escuro (Paleudult na Classificação Americana e Acrisol pela Legenda da FAO) apresenta textura franco-argilo-arenosa (310 g kg⁻¹ de argila) com 36 g kg⁻¹ de Fe₂O₃ e 103 g kg⁻¹ de Al₂O₃. O argilomineral predominante na fração argila é a caulinita (Brasil, 1973).

O Experimento

O experimento foi instalado, em 1985, seguindo o delineamento experimental de blocos casualizados, com os tratamentos dispostos num esquema de parcelas subdivididas, com três repetições. As parcelas principais (15 x 20 m) receberam três sistemas de preparo do solo (preparo convencional-PC, preparo reduzido-PR e plantio direto-PD), e as subparcelas (5 x 20 m) consistiram em três sistemas de cultura (aveia (*Avena strigosa*)/milho (*Zea mays*)–A/M, aveia + ervilhaca (*Vicia sativa*)/milho–A + E/M, aveia + ervilhaca/ milho + caupi (*Vigna unguiculata*) –A + E/M + C). Duas doses de N foram aplicadas em faixas nos blocos (sub-blocos com 45 x 10 m). Entretanto, neste estudo, o modelo somente foi ajustado aos dados de CO e NT do solo nos tratamentos sem aplicação de N mineral.

Os preparos de solo foram feitos antes da instalação da cultura do milho e variaram na intensidade de mobilização do solo, onde todo (preparo convencional, com lavração e gradagem), parte (preparo reduzido, com escarificação) e nenhum (plantio direto) resíduo das culturas de cobertura de inverno foram incorporados ao solo. A instalação das culturas de inverno foi realizada em plantio direto. Os sistemas de cultura variaram em relação ao número de culturas/ano e frequência de utilização de leguminosas, apresentando diferentes aportes de C pela fitomassa vegetal e de N por fixação simbiótica.

Estoques de carbono orgânico e nitrogênio total do solo no 5º (1990) e 9º ano (1994)

Os dados de carbono orgânico (CO) e nitrogênio total (NT) da camada de 0-17,5 cm do solo do 5º e 9º ano

do experimento (Quadro 1) foram obtidos em Bayer & Mielniczuk (1997a,b) e Bayer et al. (2000b), respectivamente. A seguir, são descritos brevemente alguns detalhes da amostragem, análise química e estimativa dos estoques de CO e NT do solo. Em setembro de 1990, realizou-se a amostragem do solo nas profundidades de 0-2,5, 2,5-7,5 e 7,5-17,5 cm; enquanto, em setembro de 1994, a amostragem foi realizada nas profundidades de 0-2,5, 2,5-5, 5-7,5, 7,5-12,5 e 12,5-17,5 cm. Em ambos os anos, as amostras de solo foram secas à sombra, moídas e peneiradas a 2 mm. Uma subamostra de solo foi moída em gral de porcelana, peneirada a 0,105 mm e analisada em relação aos seus teores de CO e NT, segundo procedimentos descritos em Tedesco et al. (1995). A partir dos valores de densidade do solo incluída, apresentados em Salton (1991), calcularam-se os estoques de CO e NT do solo na camada de 0-17,5 cm em ambos os anos.

O modelo

Ajustou-se o modelo exponencial de primeira ordem proposto inicialmente por Henin & Dupuis (1945). O modelo é um balanço das adições e das perdas de matéria orgânica no período de um ano e consiste na seguinte expressão

$$dC/dt = -K_2 \cdot C + K_1 \cdot A \quad (1)$$

em que dC/dt é a taxa de variação do estoque de carbono orgânico do solo ($\text{Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$), A é a quantidade de C adicionado ao solo anualmente (Mg ha^{-1}), K_1 é o coeficiente isohúmico, ou seja, a fração (ou porcentagem) do carbono orgânico

adicionado anualmente que será incorporada na matéria orgânica do solo após 1 ano, C é a quantidade de carbono orgânico do solo (Mg ha^{-1}) e K_2 é a taxa anual de perda do carbono orgânico do solo (ano^{-1}). Este modelo admite ser a adição anual de matéria orgânica, as taxas anuais de perda de matéria orgânica e o coeficiente isohúmico constantes no tempo e ser a matéria orgânica adicionada ao solo pelas culturas totalmente decomposta e transformada em matéria orgânica humificada.

Segundo o modelo, quando o estoque de matéria orgânica encontra-se estável no solo (C_e), ou seja, $dC/dt = \text{zero}$, os termos da Equação 1 podem ser rearranjados, gerando as equações 2 e 3.

$$K_2 = A \cdot K_1 / C_e \quad (2)$$

$$C_e = A \cdot K_1 / K_2 \quad (3)$$

A Equação 2 foi utilizada para estimar a taxa de perda de matéria orgânica (K_2) nos três sistemas de preparo do solo. As quantidades efetivas de carbono adicionado ao solo ($A \cdot K_1$) pelos sistemas de cultura foram estimadas a partir dos dados de Burle et al. (1997) para os mesmos sistemas de cultura em experimento adjacente, acrescentando-se o valor médio de 30%, a fim de incorporar a contribuição do sistema radicular (exudatos e raízes), e considerando um coeficiente isohúmico (K_1) de 20% (Cerri, 1986). Para a aplicação da equação, o estoque de carbono orgânico foi considerado estável (C_e), nos sistemas em que houve menor alteração entre o 5º e o 9º ano (PD-A/M e PC-A + E/M + C), e correspondeu à média das duas avaliações (1990 e 1994). No PR, os estoques

Quadro 1. Estoques de carbono orgânico (CO) e nitrogênio total (NT) na camada de 0-17,5 cm de um Podzólico Vermelho-Escuro, cinco (1990) e nove anos (1994) após o início da utilização de três métodos de preparo e três sistemas de cultura. Médias de três repetições

Preparo de solo	Sistema de cultura	Ano			
		1990		1994 ⁽³⁾	
		CO ⁽¹⁾	NT ⁽²⁾	CO	NT
		Mg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	Mg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹
Convencional	A/M	30,78	2.200	26,6	2.278
	A+E/M+C	30,04	2.343	27,8	2.402
	A+E/M+C	28,56	2.290	30,3	2.519
Reduzido	A/M	26,51	2.110	26,10	2.139
	A+E/M+C	28,59	2.265	27,70	2.377
	A+E/M+C	29,30	2.298	32,60	2.585
Plantio direto	A/M	29,89	2.320	29,60	2.441
	A+E/M+C	32,70	2.688	34,60	2.943
	A+E/M+C	32,52	2.690	38,00	3.260

A = aveia, E = ervilhaca, M = milho e C = caupi.

Fonte: ⁽¹⁾ Bayer & Mielniczuk (1997a). ⁽²⁾ Bayer & Mielniczuk (1997b). ⁽³⁾ Bayer et al. (2000b).

apresentaram menor alteração nos sistemas A/M e A + E/M, sendo utilizada uma média do estoque de carbono nos dois sistemas de cultura e nas duas avaliações (Quadro 1).

Com a substituição dos valores de K_2 na equação 3, foram estimados os estoques estáveis de matéria orgânica a que o solo tende nos diferentes sistemas de manejo. Para o nitrogênio total (NT), foram utilizados os mesmos valores de K_2 gerados para o CO. Na estimativa da adição de N pelos sistemas de cultura, não foi utilizado um coeficiente isohúmico como para o CO, sendo todo o N adicionado pelos resíduos vegetais incorporado na matéria orgânica humificada.

Integrando a Equação 1, e assumindo $C_e = A.K_1/K_2$ (Equação 3), e rearranjando os termos, obtém-se a Equação 4 (Woodruff, 1949; Dalal & Mayer, 1986).

$$Ct = C_e + (C_0 - C_e) e^{-K_2 t} \quad (4)$$

em que o termo C_0 representa o estoque de carbono orgânico inicial do solo ($t = zero$). Com a equação 4, estimaram-se os estoques de CO e NT do solo em qualquer tempo t .

O rearranjo da equação 4 também permitiu calcular, a partir da equação 5, o valor $t_{1/2}$, o qual expressa o período de tempo, em anos, necessário para que o estoque de matéria orgânica altere numa quantidade igual à metade da diferença entre C_0 e C_e , ou seja, $C_0 - C_e/2$.

$$t_{1/2} = \ln 2 / K_2 \quad (5)$$

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nos quadros 2 e 3, são apresentados, respectivamente, os parâmetros da dinâmica do CO e NT no solo nos sistemas de preparo e de cultura. A redução do revolvimento do solo resultou numa expressiva diminuição das taxas de perda de matéria orgânica (K_2). No preparo convencional, a taxa de perda foi de 0,054 ano⁻¹ (5,4%), diminuindo para 0,039 ano⁻¹ (3,9%), no preparo reduzido, e para 0,029 ano⁻¹ (2,9%), no plantio direto, representando reduções na ordem de 28 e 46%, respectivamente (Quadro 2). Considerando que as perdas de matéria orgânica por erosão foram mínimas no período experimental, a diminuição nas taxas de perda foi atribuída às menores taxas de decomposição da matéria orgânica. A diminuição do fracionamento e incorporação dos resíduos vegetais, a menor disponibilidade de oxigênio, as menores temperaturas e a maior proteção física da matéria orgânica intra-agregados são fatores importantes que contribuem para as menores taxas de decomposição da matéria orgânica nos sistemas com menor revolvimento (Reicosky & Lindstrom, 1993; Bayer et al., 2000b).

As taxas de perda de matéria orgânica estimadas para este solo foram inferiores ao valor obtido por Cerri (1986) no estado de São Paulo. O autor, trabalhando com a relação isotópica ¹³C/¹²C, estimou uma taxa de perda de matéria orgânica de 0,101 ano⁻¹, num Latossolo Roxo cultivado com cana-de-açúcar no sistema de preparo convencional com lavração e gradagem. Provavelmente, o fator determinante das menores taxas de decomposição da matéria orgânica

Quadro 2. Quantidades totais de carbono orgânico adicionado pelos sistemas de cultura (A), quantidade que permanecerá no solo após o período de 1 ano (A. K_1), estoque de carbono orgânico na camada de 0-17,5 cm do solo em 1990 (C solo), taxa de perda anual de matéria orgânica (K_2), estoque estável de carbono orgânico a que o solo tende (C_e) e o período em anos em que ocorrerá uma alteração equivalente a $C_0 - C_e/2$ ($t_{1/2}$) no estoque de carbono orgânico do Podzólico Vermelho-Escuro, em três métodos de preparo do solo e três sistemas de cultura

Preparo de solo	Sistema de cultura	A	A. K_1	Csolo	K_2	$t_{1/2}$	C_e	C_e
		Mg ha ⁻¹ ano ⁻¹	— Mg ha ⁻¹ —		ano ⁻¹	anos	Mg ha ⁻¹	g dm ⁻³
Convencional	A/M	4,35	0,87	30,78	0,054	13	16,11	9,2
	A+E/M	6,25	1,25	30,04			23,15	13,2
	A+E/M+C	7,95	1,59	28,56			29,44	16,8
Reduzido	A/M	4,35	0,87	26,51	0,039	18	22,31	12,7
	A+E/M	6,25	1,25	28,59			32,05	18,3
	A+E/M+C	7,95	1,59	29,30			40,77	23,3
Plantio direto	A/M	4,35	0,87	29,89	0,029	24	30,00	17,1
	A+E/M	6,25	1,25	32,70			43,10	24,6
	A+E/M+C	7,95	1,59	32,52			54,83	31,3

A = aveia, E = ervilhaca, M = milho e C = caupi.

Quadro 3. Quantidades totais de nitrogênio adicionado pelos sistemas de cultura (A), estoque de nitrogênio total na camada de 0-17,5 cm do solo em 1990 (N_{solo}), taxa de perda anual de matéria orgânica (K₂), estoques estáveis de nitrogênio total a que o solo tende (Ne) e o período em anos em que ocorrerá uma alteração equivalente a $No-Ne/2$ ($t_{1/2}$) no estoque de nitrogênio total do Podzólico Vermelho-Escuro, em três métodos de preparo do solo e três sistemas de cultura

Preparo de solo	Sistema de cultura	A	N _{solo}	K ₂	$t_{1/2}$	Ne	Ne
		kg ha ⁻¹ ano ⁻¹	kg ha ⁻¹	ano ⁻¹	anos	kg ha ⁻¹	g dm ⁻³
Convencional	A/M	74	2.200	0,054	13	1.396	0,80
	A+E/M	131	2.343			2.472	1,41
	A+E/M+C	213	2.290			4.358	2,49
Reduzido	A/M	74	2.110	0,039	18	1.897	1,08
	A+E/M	131	2.265			3.359	1,92
	A+E/M+C	213	2.298			5.923	3,38
Plantio direto	A/M	74	2.320	0,029	24	2.552	1,46
	A+E/M	131	2.688			4.517	2,58
	A+E/M+C	213	2.690			7.966	4,55

A = aveia, E = ervilhaca, M = milho e C = caupi.

no sul do Brasil seja a menor temperatura, sendo que, pela textura e mineralogia do solo, a taxa de decomposição da matéria orgânica nesse Podzólico Vermelho-Escuro deveria ser maior do que a obtida por Cerri (1986). Outro fator que pode contribuir para maiores taxas de perda de matéria orgânica do solo é a erosão. Silva et al. (1995) encontraram, em condições de lavoura na região dos cerrados, taxas de perda de matéria orgânica variando de 0,24 a 0,32 ano⁻¹. Tais valores podem ser considerados excessivamente altos, mesmo para as condições climáticas do cerrado, e podem ser decorrentes de um intenso processo erosivo.

O efeito dos sistemas de preparo sobre a taxa de perda de matéria orgânica depende do tipo de solo, basicamente da sua mineralogia e textura (Parfitt et al., 1997). Quanto mais argiloso o solo e com predominância de minerais de carga variável, como óxidos de ferro e de alumínio e caulinita, menor a diferença entre as taxas de decomposição da matéria orgânica do solo submetido a diferentes sistemas de preparo. Neste sentido, Bayer (1996) verificou, num Latossolo Roxo do sul do Brasil, taxas de decomposição da matéria orgânica de 0,014 ano⁻¹, no preparo convencional, e de 0,012 ano⁻¹, no plantio direto, o que representou uma diminuição de apenas 14%, ressaltando a expressiva contribuição da proteção física na estabilidade da matéria orgânica em solos mais intemperizados e argilosos.

Neste estudo, diversas situações podem ser simuladas a partir da associação de métodos de preparo, que apresentam diferentes taxas de perda de matéria orgânica, e sistemas de cultura, com diferentes taxas de adição de carbono e nitrogênio

ao solo. Entretanto, analisando duas situações extremas, pode-se destacar a importância da redução do revolvimento do solo e da utilização de sistemas de cultura com alto aporte de resíduos para a manutenção ou aumento dos teores de matéria orgânica do solo.

Na associação do sistema A/M (A=4,35 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ de C e 74 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de N) com o preparo convencional (K₂ = 0,054 ano⁻¹), estimou-se, pela Equação 3, que os estoques de CO e NT do solo em 1990 (respectivamente, 30,78 Mg ha⁻¹ e 2.200 kg ha⁻¹) tenderão a diminuir para estoques estáveis de 16,11 Mg ha⁻¹ e 1.396 kg ha⁻¹, ocorrendo a metade desta perda em aproximadamente 13 anos. Na associação do sistema A + E/M + C (A = 7,95 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ de C e 213 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de N) com o plantio direto (K₂ = 0,029 ano⁻¹), os estoques de CO e NT em 1990 (32,52 Mg ha⁻¹ e 2.690 kg ha⁻¹, respectivamente) tenderão a aumentar a estoques estáveis de 54,83 Mg ha⁻¹ e 7.966 kg ha⁻¹, ocorrendo a metade deste incremento em 24 anos. Atingidos os estoques estáveis de matéria orgânica no solo, o sistema PD-A + E/M + C apresentará um estoque de 38,72 Mg ha⁻¹ de CO e 6.570 kg ha⁻¹ de NT maior do que o sistema PC-A/M.

Além da expressiva melhoria de qualidade do solo pelo aumento nos estoques de matéria orgânica, a adoção de sistemas de manejo sem revolvimento do solo e o alto aporte de resíduos resulta na retirada de CO₂ da atmosfera e sua retenção no solo. Considerando uma área de um hectare e o fator de conversão de C para CO₂ de 3,67 (massa molar do CO₂/massa molar do C), na combinação PC-A/M, a aveia e o milho fixaram 3,19 Mg CO₂ ano⁻¹ via

fotossíntese, e o solo emitiu para a atmosfera, em 1994, 5,27 Mg de CO₂, resultando num efluxo líquido de 2,08 Mg CO₂ ha⁻¹ ano⁻¹ (Quadros 1 e 2).

Por sua vez, na combinação PD-A + E/M + C, houve um influxo líquido de 1,79 Mg CO₂ ha⁻¹, em 1994, resultante da fixação de 5,83 Mg CO₂ ha⁻¹ ano⁻¹ pelas culturas da aveia, ervilhaca, milho e caupi, e da emissão de CO₂ pelo solo de 4,04 Mg ha⁻¹. A diferença entre o efluxo e influxo líquidos de CO₂ pelo solo nos sistemas PC-A/M e PD-A + E/M + C foi de 3,87 Mg CO₂ ha⁻¹ ano⁻¹ e evidencia a importância dos sistemas de manejo sem revolvimento do solo e alto aporte de resíduos vegetais na mitigação das emissões de CO₂ pelo solo para a atmosfera. O plantio direto diminui a taxa de oxidação de carbono orgânico a CO₂ e as culturas aumentam a fixação de CO₂ na forma de C orgânico pela fotossíntese.

Segundo Denardin et al. (1997), no estado do Rio Grande do Sul, uma área de aproximadamente 2,2 milhões de ha foi cultivada no plantio direto em

1996, o que representa 27,5% de uma área cultivada de oito milhões de hectares. Supondo que os parâmetros obtidos no presente experimento, para o Podzólico Vermelho-Escuro, representem uma condição média dos demais solos cultivados do RS, e utilizando os dados dos sistemas PC e PD - A + E/M (sistema com aporte intermediário de resíduos vegetais), estima-se, com base nos dados de Denardin et al. (1997), que a utilização do plantio direto em 27,5 (situação atual), 50 (cenário 1) e 75% (cenário 2) da área cultivada total no Rio Grande do Sul resultaria numa redução no efluxo anual (em 1994) de CO₂ do solo para a atmosfera em aproximadamente 4.026.000 Mg (1,83 Mg CO₂ ha⁻¹ x 2,2 milhões de ha), 7.320.000 Mg e 10.980.000 Mg, respectivamente.

Nas figuras 1 e 2, são apresentados os estoques de CO e NT da camada de 0-17,5 cm, respectivamente, e a simulação do seu comportamento num período de 15 anos (1990-2005) nos diferentes sistemas de preparo e de cultura, pela aplicação da equação 4.

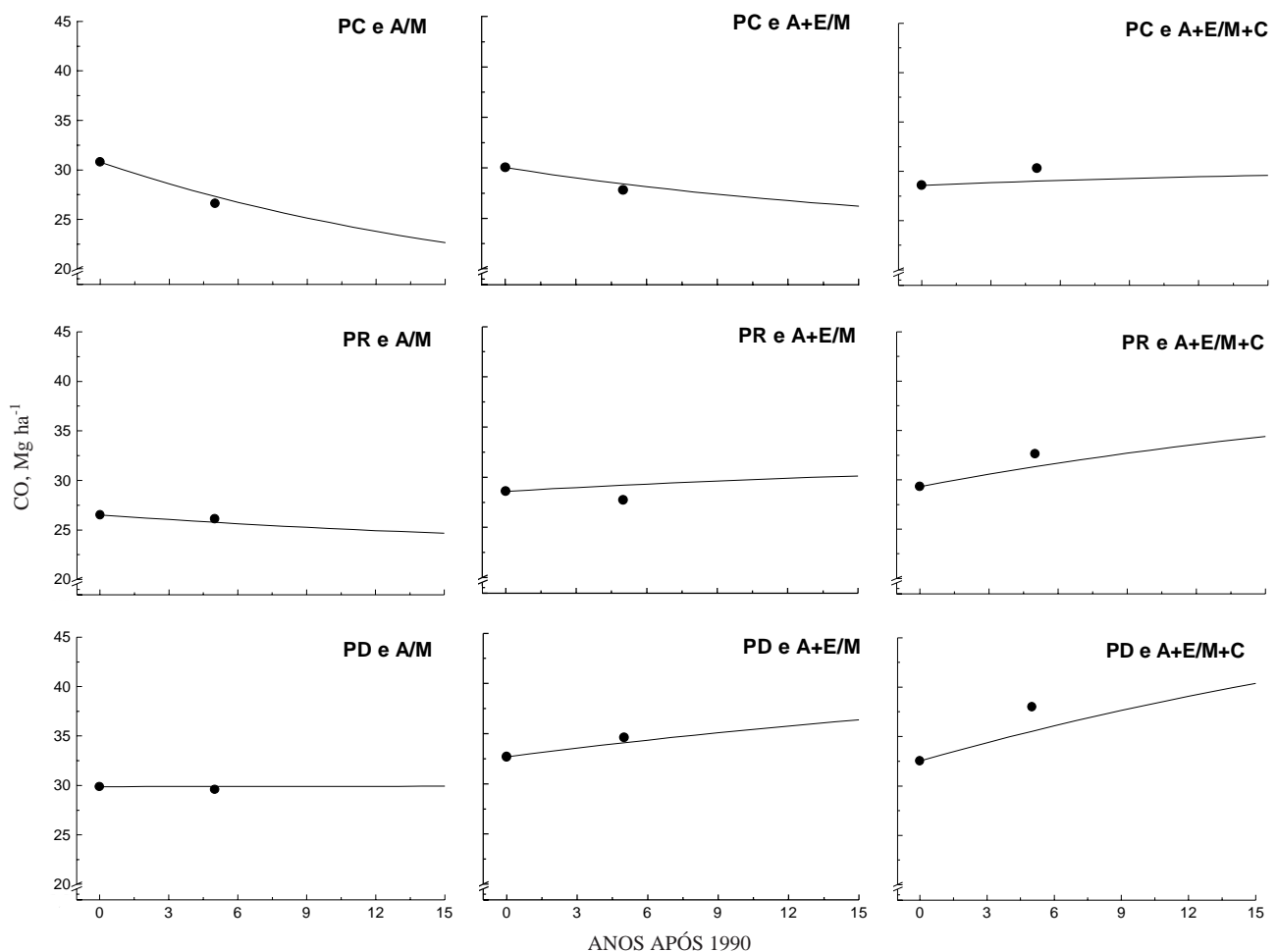


Figura 1. Simulação do efeito dos sistemas de preparo e de cultura sobre os estoques de carbono orgânico (CO) da camada de 0-17,5 cm do solo, durante quinze anos (1990-2005), por meio do ajuste do modelo $C_t = C_e + (C_o - C_e) e^{-K^2.t}$. Linhas correspondem aos valores estimados pelo modelo e os pontos aos dados experimentais.

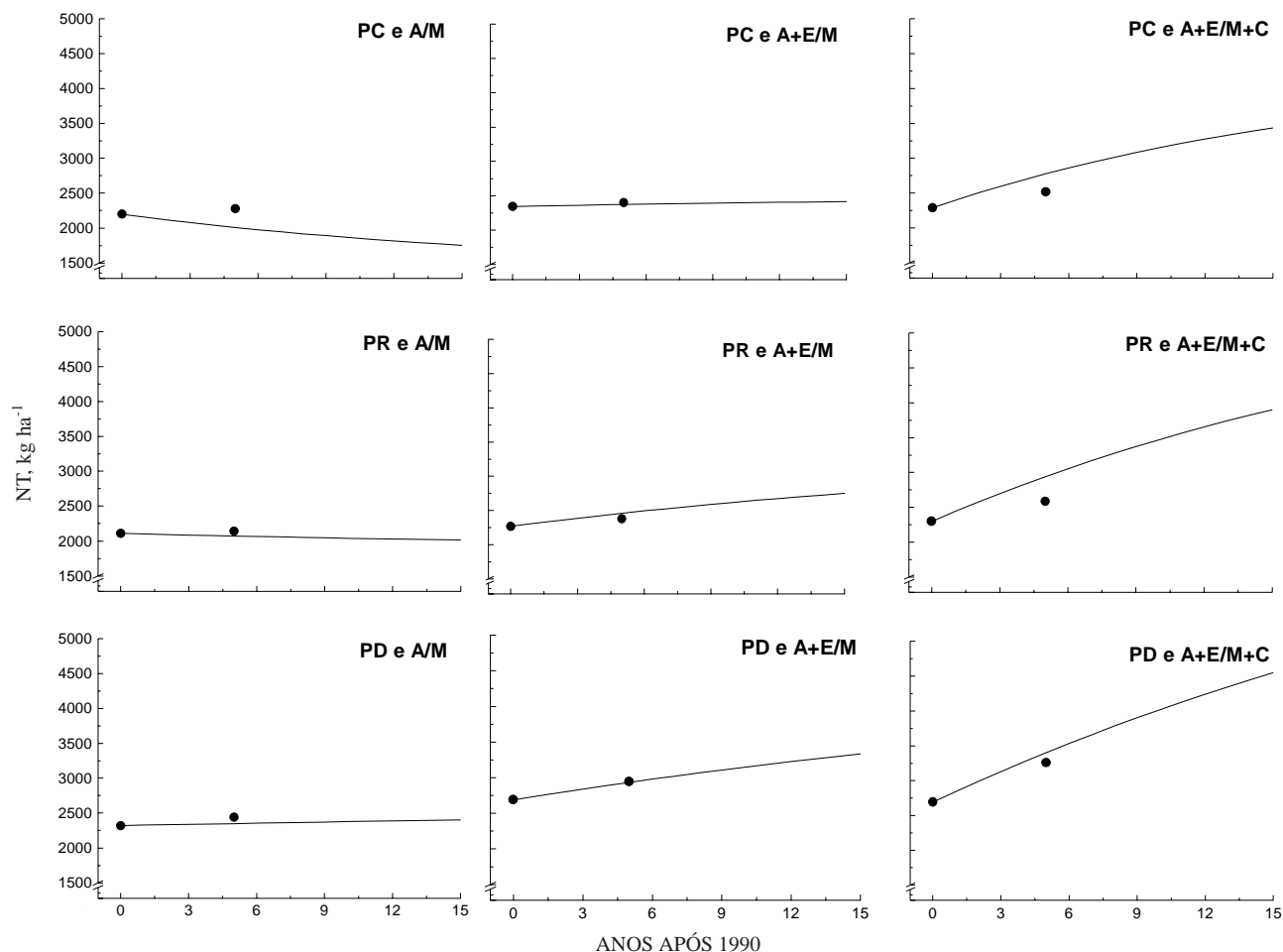


Figura 2. Simulação do efeito dos sistemas de preparo e de cultura sobre os estoques de nitrogênio total (NT) da camada de 0-17,5 cm do solo, durante quinze anos (1990-2005), por meio do ajuste do modelo $N_t = N_e + (N_o - N_e) e^{-Kz.t}$. Linhas correspondem aos valores estimados pelo modelo e os pontos aos dados experimentais.

Constatou-se um ajuste consistente entre os dados experimentais e os valores preditos pelo modelo, o qual é um indicador de que os procedimentos realizados para ajuste do modelo foram satisfatórios e permitiram alcançar os objetivos propostos. É importante salientar que o ajuste deste modelo não resulta em estimativas precisas. A sua aplicação permite apenas a obtenção das tendências dos estoques de CO e NT do solo nas diferentes combinações de sistemas de preparo e de cultura.

CONCLUSÕES

1. A utilização do plantio direto resultou na redução pela metade da taxa de perda da matéria orgânica, comparativamente ao preparo convencional.
2. A utilização do plantio direto, associado a sistemas de sucessão/rotação de culturas com alto

aporte de resíduos e de N pela inclusão de leguminosas, é fundamental, permitindo acelerar o aumento dos teores de matéria orgânica e diminuir a emissão de CO₂ do solo para atmosfera.

LITERATURA CITADA

- BAYER, C. Dinâmica da matéria orgânica em sistemas de manejo de solos. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1996. 241 p. (Tese de Doutorado)
- BAYER, C. & MIELNICZUK, J. Características químicas do solo afetadas por métodos de preparo e sistemas de cultura. R. Bras. Ci. Solo, 21:105-112, 1997a.
- BAYER, C. & MIELNICZUK, J. Estoque de nitrogênio total num solo submetido a diferentes métodos de preparo e sistemas de cultura. R. Bras. Ci. Solo, 21:235-239, 1997b.

- BAYER, C.; MIELNICZUK, J. & PAVINATO, A. Sistemas de manejo do solo e seus efeitos sobre o rendimento do milho. *R. Ci. Rural*, 28:23-28, 1998.
- BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J. & CERETTA, C.A. Effect of no till cropping systems on soil organic matter in a sandy clay loam Acrisol from southern Brazil monitored by electron spin resonance and nuclear magnetic resonance of ^{13}C . *Soil Till. Res.*, 53:95-104, 2000a.
- BAYER, C.; AMADO, T.J.C.; MIELNICZUK, J.; MARTIN NETO, L. & FERNANDES, S.V. Tillage and cropping system effects on organic matter storage in an Acrisol soil in southern Brazil. *Soil Till. Res.*, 54:101-109, 2000b.
- BERGAMASCHI, H. & GUADAGNIN, M.R. *Agroclima da Estação Experimental Agronômica*. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1990. 96p.
- BRASIL. Ministério da Agricultura. Serviço Nacional de Pesquisa Agropecuária. Divisão de Pesquisa Pedológica. Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Rio Grande do Sul. Recife, 1973. 431p. (Boletim Técnico, 30)
- BURLE, M.L.; MIELNICZUK, J. & FOCCHI, S. Effect of cropping systems on soil chemical characteristics, with emphasis on soil acidification. *Plant Soil*, 190:309-316, 1997.
- CERRI, C.C. Dinâmica da matéria orgânica do solo no agrossistema cana-de-açúcar. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"-USP, 1986. 197 p. (Tese de Livre Docência)
- DALAL, R.C. & MAYER, R.J. Long term trends in fertility of soils under continuous cultivation and cereal cropping in southern Queensland. II. Total organic carbon and its rate of loss from de soil profile. *Aust. J. Soil Res.*, 24:281-292, 1986.
- 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.
- DENARDIN, J.E.; CIPRANDI, M.A.O. & KOCHHANN, R. Viabilização e difusão do plantio direto no Rio Grande do Sul. *R. Plantio Direto*, 41:44-46, 1997.
- FORTIN, M.C.; ROCHETTE, P. & PATTEY, E. Soil carbon dioxide fluxes from conventional and no-tillage small-grain cropping systems. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 60:1541-1547, 1996.
- HENIN, S. & DUPUIS, M. Essai du bilan de la matière organique du sol. *Ann. Agron.*, 15:17-29, 1945.
- JANSSEN, B.H. A simple method for calculating decomposition and accumulation of "Young" soil organic matter. *Plant Soil*, 76:297-304, 1984.
- KERN, J.S. & JOHNSON, M.G. Conservation tillage impacts on national soil and atmospheric carbon levels. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 57:200-210, 1993.
- PARFITT, R.L.; THENG, B.K.G.; WHITTON, J.S. & SHEPHERD, T.G. Effects of clay minerals and land use on organic matter pools. *Geoderma*, 75:1-12, 1997.
- PARTON, W.J.; SCHIMMEL, D.S.; COLE, C.V. & OJIMA, D.S. Analysis of factors controlling soil organic matter levels in great plains grasslands. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 51:1173-1179, 1987.
- REICOSKY, D.C. & LINDSTROM, M.J. Effect of fall tillage method on short term carbon dioxide flux from soil. *Agron. J.*, 85:1237-1243, 1993.
- SALTON, J.C. Relações entre sistemas de preparo, temperatura e umidade do solo. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1991. 91p. (Tese de Mestrado)
- SILVA, J.E., LEMAINSKI, J. & RESCK, D.V.S. Perdas de matéria orgânica e suas relações com a capacidade de troca catiônica em solos da região de cerrados do Oeste Baiano. *R. Bras. Ci. Solo*, 18:541-547, 1995.
- TEDESCO, M.J., GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H.; WOLKWEISS, S.J. & BOHNEN, H. Análise de solo, plantas e outros materiais. Porto alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 174p. 1995. (Boletim Técnico de Solos, 5)
- WOODRUFF, C.M. Estimating the nitrogen delivey of soil from the organic matter determination as reflected by sanborn field. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 52:1371-1376, 1949.
- van VEEN, J.A. & PAUL, E.A. Organic carbon dynamics in grassland soil. I. Background information and computer simulation. *Can. J. Soil Sci.*, 61:185-201, 1981.

