

SISTEMAS DE ROTAÇÃO DE CULTURAS EM PLANTIO DIRETO E OS MICRORGANISMOS DO SOLO, NA CULTURA DA SOJA, EM LONDRINA⁽¹⁾

A.J. CATTELAN⁽²⁾, C.A. GAUDÊNCIO⁽²⁾ & T.A. SILVA⁽³⁾

RESUMO

Estudaram-se os efeitos de oito sistemas de rotação de culturas, com soja e/ou milho, no verão, e trigo, aveia-preta e/ou tremoço-branco, no inverno, sobre o rendimento de grãos de soja, a biomassa e a população microbiana durante as safras de 1991/92, 1992/93 e 1993/94. O ensaio foi instalado na fazenda experimental da EMBRAPA-CNPSo, em Londrina (PR), em latossolo roxo eutrófico. As avaliações foram feitas em amostras de solo coletadas durante o florescimento da soja, a 0-8 e 8-20 cm de profundidade. Os microrganismos foram afetados pelas condições químicas do solo observadas nos diferentes sistemas de rotação estudados, principalmente as relacionadas ao complexo acidez, sendo que a diminuição da acidez estimulou seu desenvolvimento. Os microrganismos também foram favorecidos pelos maiores teores de carbono orgânico e disponibilidade de água no solo. A biomassa microbiana e a população fúngica a 8-20 cm de profundidade correlacionaram-se, positivamente, com o rendimento de grãos de soja durante a safra de 1992/93.

Termos de indexação: biomassa microbiana, latossolo roxo eutrófico, *Glycine max*, *Triticum aestivum*, *Avena strigosa*, *Lupinus albus*, *Zea mays*.

SUMMARY: CROP ROTATION SYSTEMS UNDER NO-TILL AND SOIL MICROORGANISMS, DURING THE SOYBEAN CROP, IN LONDRINA

The effects of eight crop rotation systems, including soybean and/or maize in the summer, and wheat, black oat and/or white lupine, in the winter, on soybean yield, and soil microbial biomass and population count were studied during the 1991/92, 1992/93 and 1993/94 growing seasons. The field experiment was conducted at the "Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária-Centro Nacional de Pesquisa de Soja" (EMBRAPA-CNPSo) experimental station in Londrina (North of Paraná state), Brazil. Soil at this site is classified as a Eutrothox (American Soil Taxonomy). Evaluations were made on soil samples collected during soybean flowering at 0-8 cm and 8-20 cm deep. In the different rotation systems studied, soil chemistry, particularly those factors related to soil acidity, affected microorganisms. Lower acidity stimulated microbial development. Higher organic carbon content and soil water availability were also beneficial to microorganisms. Microbial biomass and fungi counts at 8-20 cm deep were positively correlated with soybean yield in the 1992/93 growing season.

Index terms: microbial biomass, Eutrothox, *Glycine max*, *Triticum aestivum*, *Avena strigosa*, *Lupinus albus*, *Zea mays*.

⁽¹⁾ Recebido para publicação em outubro de 1994 e aprovado em maio de 1997.

⁽²⁾ Engenheiro-Agrônomo, Pesquisador da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária-Centro Nacional de Pesquisa de Soja (EMBRAPA-CNPSo). Caixa Postal 1061, CEP 86001-970 Londrina (PR).

⁽³⁾ Estudante do Curso de Ciências Biológicas da Universidade Estadual de Londrina (UEL). Com bolsa de iniciação científica do CNPq.

INTRODUÇÃO

O uso contínuo da sucessão trigo/soja, a movimentação intensa do solo e a reposição inadequada dos nutrientes exportados pelas culturas podem estar constituindo fatores limitantes para o aumento da produtividade de tais culturas. Esse manejo inadequado também tem influência sobre o desenvolvimento microbiano do solo.

A rotação de culturas, aliada ao manejo correto do solo, faz com que ele seja biologicamente mais ativo e com maior potencial produtivo. Esse efeito se deve à conjunção de fatores como, entre outros, proteção do solo mediante cobertura viva ou morta, maior retenção de umidade, efeito rizosférico das culturas, maior disponibilidade de matéria orgânica e melhores condições físicas do solo.

Khan (1970) observou, em um solo do Canadá, que a rotação de cereais e leguminosas apresentou maior atividade enzimática do que o sistema pouso/trigo, após 39 anos de cultivo. A atividade enzimática também foi maior nos tratamentos que receberam adubação orgânica ou mineral do que naquele sem adubação.

O solo adjacente às raízes sofre grande influência destas, principalmente devido aos exsudatos e aos tecidos radiculares mortos que vão sendo destacados. Os exsudatos são mais prontamente disponíveis aos microrganismos do que os restos vegetais (Lynch, 1984). Esse estímulo rizosférico aos microrganismos varia com a espécie vegetal, sendo, para as leguminosas, geralmente, mais pronunciado por unidade de

raiz. No entanto, as gramíneas, por seu sistema radicular mais desenvolvido e de renovação mais intensa, apresentam efeito total maior do que as leguminosas (Rovira, 1978; Lynch, 1984). O efeito das raízes pode ser diferenciado sobre os diferentes grupos de microrganismos, sendo as bactérias, normalmente, mais beneficiadas do que os fungos e actinomicetos (Rovira & Davey, 1974). Cattelan & Vidor (1990a,b), em estudo realizado com sete sistemas de rotação e sucessão de culturas, no Rio Grande do Sul, observaram que os sistemas com maior produção de biomassa vegetal e acúmulo de resíduos na superfície apresentaram os maiores valores para a biomassa microbiana total e para as contagens das bactérias, na camada de 0-5 cm, enquanto as populações de fungos e actinomicetos foram pouco afetadas. Esse comportamento se deveu, em parte, ao estímulo rizosférico das culturas sobre os microrganismos.

A rotação de culturas, além de contribuir para a quebra do ciclo dos patógenos, é muito importante para a manutenção ou aumento da biodiversidade do solo. Johnson et al. (1992), em um trabalho feito com ensaios de longa duração com milho e soja, em monocultura ou rotação, em Minnesota (EUA), observaram, que a monocultura selecionou os fungos micorrízicos vesículoarbusculares (VAM) de mais rápido crescimento e esporulação. Esses fungos podem ser ineficientes ou até prejudiciais à espécie cultivada. Já a interrupção da monocultura (rotação) reduziu a ocorrência desses fungos prejudiciais e aumentou a dos VAM benéficos.

Com o objetivo de: (a) avaliar a biomassa microbiana total e a composição relativa da população

Quadro 1. Culturas de inverno e de verão nos sistemas estudados, de 1986/87 a 1993/94

Sistemas de rotação de culturas	1986/87		1987/88		1988/89		1989/90		1990/91		1991/92		1992/93		1993/94	
	In-verno	Verão														
1. Trigo/soja contínuos	Trigo	Soja														
2. Soja contínua/aveia-preta e trigo alternados	Aveia	Soja	Trigo	Soja												
3. Milho e soja (1:3) /tremoço, aveia-preta e trigo (1:1:2) alternados	Tremoço	Milho	Aveia	Soja	Trigo	Soja	Trigo	Soja	Tremoço	Milho	Aveia	Soja	Trigo	Soja	Trigo	Soja
4. Milho e soja (1:3) /tremoço e trigo (1:3) alternados	Tremoço	Milho	Trigo	Soja	Trigo	Soja	Trigo	Soja	Tremoço	Milho	Trigo	Soja	Trigo	Soja	Trigo	Soja
5. Milho e soja/tremoço e trigo alternados	Tremoço	Milho	Trigo	Soja												
6. Soja contínua/aveia-preta e trigo (3:1) alternados	Aveia	Soja	Aveia	Soja	Aveia	Soja	Trigo	Soja	Aveia	Soja	Aveia	Soja	Aveia	Soja	Trigo	Soja
7. Milho e soja (1:3) /tremoço, aveia-preta e trigo (1:2:1) alternados	Tremoço	Milho	Aveia	Soja	Aveia	Soja	Trigo	Soja	Tremoço	Milho	Aveia	Soja	Aveia	Soja	Trigo	Soja
8. Milho e Soja (2:2) /tremoço, aveia-preta e trigo (2:1:1) alternados	Tremoço	Milho	Tremoço	Milho	Aveia	Soja	Trigo	Soja	Tremoço	Milho	Tremoço	Milho	Aveia	Soja	Trigo	Soja

Quadro 2. Rendimento de grãos de soja em diferentes sistemas de rotação de culturas, em latossolo roxo eutrófico, nas safras de 1991/92 a 1993/94, em Londrina (PR)

Sistemas de rotação de culturas	Rendimento de grãos		
	1991/92	1992/93	1993/94
	t ha ⁻¹		
1. Trigo/soja contínuos	2,44a	2,71d	3,17a
2. Soja contínua/aveia-preta e trigo alternados	2,82a	3,42ab	3,32a
3. Milho e soja (1:3)/tremoço, aveia-preta e trigo (1:1:2) alternados	2,57a	2,78cd	3,22a
4. Milho e soja (1:3)/tremoço e trigo (1:3) alternados	2,72a	2,96bcd	3,30a
5. Milho e soja/tremoço e trigo alternados	2,53a	Milho	2,99a
6. Soja contínua/aveia-preta e trigo (3:1) alternados	2,81a	3,36a-d	3,28a
7. Milho e soja (1:3)/tremoço, aveia-preta e trigo (1:2:1) alternados	2,52a	3,24a-d	3,27a
8. Milho e soja (2:2)/tremoço, aveia-preta e trigo (2:1:1) alternados	Milho	3,55a	3,25a

Médias seguidas pela mesma letra, dentro de cada coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5%.

microbiana (bactérias, fungos e actinomicetos) em solo submetido a diferentes sistemas de rotação de culturas e (b) verificar se o desenvolvimento microbiano estava correlacionado com a capacidade produtiva do solo, principalmente em relação à soja, foram feitas avaliações em um ensaio de campo instalado em Londrina (PR).

MATERIAL E MÉTODOS

O ensaio de campo foi instalado durante o inverno de 1986, em latossolo roxo eutrófico, na fazenda experimental do CNPSo, em Londrina (23° 12' S, 51° 11' W e 585 m de altitude). Os tratamentos consistiram em oito sistemas de rotação e sucessão de culturas compostos por soja e/ou milho, no verão, e trigo, aveia-preta e/ou tremoço-branco, no inverno. Os sistemas de rotação de culturas podem ser vistos em detalhe no quadro 1. Para todos, foi utilizado o plantio direto. O delineamento experimental foi de blocos casualizados, com quatro repetições e com parcelas medindo 4,0 x 14,0 m. Os resultados da análise química, do latossolo roxo eutrófico, na profundidade de 0-20 cm, por ocasião da instalação do experimento, foram: C orgânico = 21,9 g kg⁻¹; P = 16,7 mg kg⁻¹; pH CaCl₂ = 6,0; e em mmol_c kg⁻¹: Al = 0,0; K = 8,1; Ca = 98,6; Mg = 25,0, e H + Al = 36,0. As adubações de manutenção e aplicação de herbicidas foram feitas segundo as recomendações técnicas e a necessidade de cada cultura (EMBRAPA, 1989). Antes da instalação, o solo recebeu

Quadro 3. Biomassa microbiana em duas profundidades de um latossolo roxo eutrófico sob diferentes sistemas de rotação de culturas com soja, avaliada durante o florescimento da soja nas safras de 1991/92 a 1993/94, em Londrina (PR)

Sistemas de rotação de culturas	Biomassa microbiana					
	1991/92		1992/93		1993/94	
	0-8 cm	8-20 cm	0-8 cm	8-20 cm	0-8 cm	8-20 cm
	mg de C 100 g ⁻¹ de solo seco					
1. Trigo/soja contínuos	52,16a	71,14a	36,58a	26,19a	53,16a	36,72a
2. Soja contínua/aveia-preta e trigo alternados	44,70a	52,51ab	49,22a	45,53a	35,59a	37,82a
3. Milho e soja (1:3)/tremoço, aveia-preta e trigo (1:1:2) alternados	50,48a	53,36ab	50,03a	42,29a	51,11a	40,64a
4. Milho e soja (1:3)/tremoço e trigo (1:3) alternados	57,62a	43,62ab	43,13a	43,67a	46,66a	46,90a
5. Milho e soja/tremoço e trigo alternados	44,42a	44,24ab	53,21a	40,54a	48,83a	44,88a
6. Soja contínua/aveia-preta e trigo(3:1) alternados	50,60a	36,38b	59,52a	36,31a	43,67a	39,52a
7. Milho e soja (1:3)/tremoço, aveia-preta e trigo (1:2:1) alternados	42,91a	41,14ab	46,82a	33,37a	54,47a	36,07a
8. Milho e soja (2:2)/tremoço, aveia-preta e trigo (2:1:1) alternados	51,09a	61,98ab	48,79a	42,61a	54,15a	48,06a

Médias seguidas pela mesma letra, dentro de cada coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5%.

adubação uniforme de 170 kg ha⁻¹ da fórmula 0-30-15, sendo toda a área cultivada com soja para uniformização.

As amostragens de solo foram realizadas durante o segundo ciclo de rotação nas safras de verão de 1991/92, 1992/93 e 1993/94, no florescimento da soja. Nas entrelinhas de cada parcela, coletou-se, com trado holandês, uma amostra composta, constituída de 16 subamostras, nas profundidades de 0-8 e de 8-20 cm. As amostras foram acondicionadas em sacos plásticos e mantidas sob refrigeração ($\pm 4^{\circ}\text{C}$) até seu processamento, que ocorreu o mais rápido possível. A umidade gravimétrica das amostras foi determinada por diferença de massa após secagem de 30 g de solo úmido em estufa a 105^o C até massa constante. Antes das análises químicas e biológicas, as amostras foram passadas em peneira com malha de 2 mm, sendo as subamostras de 10 g de solo úmido usadas para nova determinação da umidade gravimétrica.

A biomassa microbiana foi estimada pelo método da fumigação-incubação (Jenkinson & Powlson, 1976). De cada amostra de solo, retiraram-se duas subamostras de 100 g, base úmida. Metade delas foi fumigada com clorofórmio livre de álcool, em dessecadores, por 22 a 24 horas, à temperatura ambiente. Após, cada subamostra foi colocada em vidros de 2 L, com vedação hermética. A umidade foi corrigida para $\pm 75\%$ da capacidade de campo, com adição de água destilada. As subamostras fumigadas foram reinoculadas com 1g de solo úmido, da mesma amostra original. Em cada vidro, colocou-se um frasco contendo 50 mL de NaOH 0,5 mol L⁻¹ e um frasco contendo 20 mL de água destilada, para manter a umidade do meio. A incubação foi feita em estufa, com temperatura ajustada para $25 \pm 1,5^{\circ}\text{C}$. A liberação de CO₂ foi medida aos dez e aos vinte dias de incubação, através da titulação do excesso de NaOH com HCl 1,0 mol L⁻¹ padronizado. Para o cálculo da biomassa microbiana, utilizou-se a fórmula

$$B = (X-Y)/K,$$

onde:

B é a biomassa (dados finais expressos em mg de C 100 g⁻¹ de solo seco); **X**, o C-CO₂ liberado pelo solo fumigado no período de zero-dez dias (mg 100 g⁻¹ de solo seco); **Y**, o C-CO₂ liberado pelo solo não fumigado em dez-vinte dias (mg 100 g⁻¹ de solo seco); e **K**, a fração da biomassa mineralizada em dez dias, nas condições dadas, tendo sido utilizado o valor de 0,411 (Anderson & Domsch, 1978).

A população microbiana, representada pelo grupo dos fungos, actinomicetos e bactérias, foi avaliada nas safras 1992/93 e 1993/94, por meio da contagem do número de unidades formadoras de colônias em placas de Petri. Para isso, preparou-se uma diluição decimal em série, partindo-se de 10 g de solo úmido. Para cada grupo de microrganismos, prepararam-se três placas por diluição. De cada suspensão, inoculou-se 0,1 mL por placa, espalhando-o com uma alça de Drigalsky sobre o meio de cultura já solidificado na placa, empregando-se os seguintes meios de cultura

para a contagem dos respectivos grupos: meio de Thornton, para bactéria (Parkinson et al., 1971); meio de Martin, para fungos (Menziés, 1965) e meio caseinato-dextrose-ágar, para actinomicetos (Clark, 1965). Realizaram-se as contagens das colônias de bactérias e fungos depois de sete dias de incubação e, a de actinomicetos, após dez dias.

O restante do solo de cada amostra foi utilizado para as análises químicas de rotina: pH em CaCl₂; Ca, Mg, Al, K e H + Al, em mmol kg⁻¹ de solo; P, em mg kg⁻¹ e C orgânico, em g kg⁻¹ (Vettori, 1969).

Para o rendimento de grãos, colheu-se uma área útil de 36 m² (3 x 12 m) para cada parcela, sendo dados expressos com a umidade dos grãos corrigida para 13%.

Os dados foram submetidos à análise da variância e as médias dos tratamentos, comparadas pelo teste de Tukey, ao nível de 5%. Efetuaram-se também análises de regressão entre os resultados do rendi-

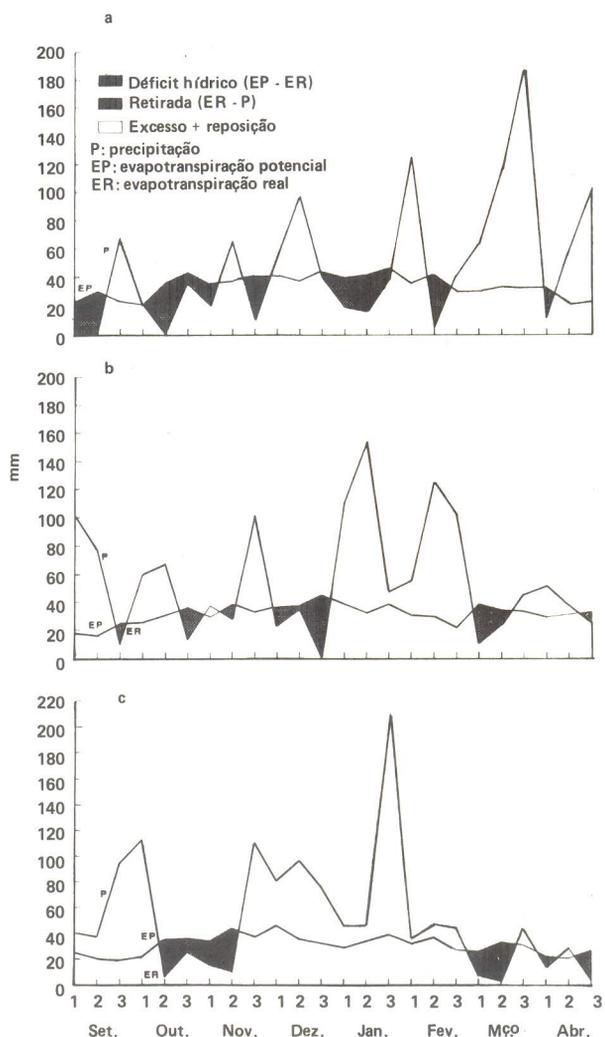


Figura 1. Balanço hídrico decenal, pelo método de Thornthwaite-Mather, para 50 mm de capacidade de armazenamento, para a as safras de 1991/92 (a), 1992/93 (b) e 1993/94 (c) em Londrina (PR).

mento de grãos e das avaliações microbianas (resultados de cada repetição) e as demais variáveis determinadas (Anderson et al., 1991).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A influência dos sistemas de rotação de culturas sobre o rendimento de grãos de soja variou em função dos anos, mas observou-se uma tendência de os diversos sistemas de rotação (tratamentos 2 a 8) proporcionarem maiores rendimentos do que a tradicional sucessão trigo/soja (tratamento 1; Quadro 2). Na safra 1992/93, os tratamentos 8 (dois invernos seguidos com tremoço, um com aveia e outro com trigo e dois verões com milho e dois com soja) e 2 (alternância de aveia e trigo no inverno e apenas soja no verão) proporcionaram rendimento de grãos de soja superiores aos do tratamento 1 (sucessão trigo/soja). Nessa safra, os efeitos foram mais significativos, provavelmente, em função da melhor distribuição de chuvas, não havendo déficit hídrico nas fases de florescimento e enchimento de grãos, conforme balanço hídrico calculado pelo método de Thornthwaite & Mather (1957; Figura 1).

Na safra de verão de 1991/92, não se observaram diferenças significativas na biomassa microbiana avaliada na camada de 0-8 cm (Quadro 3). Já na de

8-20 cm, a maior biomassa foi observada no tratamento 1 (sucessão trigo/soja), embora apenas o tratamento 6 (com aveia-preta nos três primeiros invernos e trigo no quarto) tenha apresentado valores significativamente inferiores. Nas avaliações das safras 1992/93 e 1993/94, não se observaram diferenças significativas na biomassa entre os tratamentos.

Na avaliação da população microbiana na safra de verão de 1992/93, o tratamento 5, o único que possuía milho nessa safra, apresentou a maior contagem de bactérias na camada de 0-8 cm e de fungos na camada de 8-20 cm (Quadro 4). Os actinomicetos não foram afetados significativamente pelos tratamentos.

Na avaliação da safra 1993/94, em que a soja estava presente em todos os tratamentos, o único efeito observado foi no grupo dos fungos na camada de 0-8 cm, cuja maior contagem, novamente, ocorreu no tratamento 5 (tremoço e trigo intercalados no inverno e milho e soja no verão), não obstante apenas os tratamentos 4 (um ano com a sucessão tremoço/milho e três com a sucessão trigo/soja) e 6 tenham apresentado contagens significativamente menores (Quadro 5).

Embora não se tenha feito análise estatística para verificar o efeito da profundidade, tanto a biomassa quanto a contagem da população microbiana foram semelhantes nas duas camadas amostradas (0-8 e 8-20 cm), ao contrário do observado para outros tipos de solo (Martinez & Ramirez, 1978; Campbell & Biederbeck, 1982). Cattelan & Vidor (1990a,b) encon-

Quadro 4. População microbiana em duas profundidades de um latossolo roxo eutrófico sob diferentes sistemas de rotação de culturas com soja, avaliada durante o florescimento da soja na safra 1992/93, em Londrina (PR)

Sistemas de rotação de culturas	População microbiana					
	Bactérias		Fungos		Actinomicetos	
	0-8 cm	8-20 cm	0-8 cm	8-20 cm	0-8 cm	8-20 cm
	n.º de propágulos g ⁻¹ de solo seco					
	x 10 ⁵		x 10 ³		x 10 ⁴	
1. Trigo/soja contínuos	47,3b	38,1a	23,5a	14,0b	59,7a	51,1a
2. Soja contínua/aveia-preta e trigo alternados	53,3b	40,6a	17,4a	10,2b	46,0a	38,0a
3. Milho e soja (1:3)/tremoço, aveia-preta e trigo (1:1:2) alternados	44,9b	108,0a	22,6a	7,7b	50,8a	21,0a
4. Milho e soja (1:3)/tremoço e trigo (1:3) alternados	65,4b	55,0a	19,2a	12,6b	63,5a	44,9a
5. Milho e soja/tremoço e trigo alternados	158,4a	36,8a	32,6a	30,9a	50,1a	55,7a
6. Soja contínua/aveia-preta e trigo (3:1) alternados	87,7ab	50,6a	19,1a	10,1b	—	49,4a
7. Milho e soja (1:3)/tremoço, aveia-preta e trigo (1:2:1) alternados	57,5b	81,7a	31,7a	17,3b	71,2a	43,2a
8. Milho e soja (2:2)/tremoço, aveia-preta e trigo (2:1:1) alternados	52,4b	40,3a	24,2a	17,6b	60,4a	47,6a

Médias seguidas pela mesma letra, dentro de cada coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5%.

Quadro 5. População microbiana em duas profundidades de um latossolo roxo eutrófico sob diferentes sistemas de rotação de culturas com soja, avaliada durante o florescimento da soja na safra 1993/94, em Londrina (PR)

Sistemas de rotação de culturas	População microbiana					
	Bactérias		Fungos		Actinomicetos	
	0-8 cm	8-20 cm	0-8 cm	8-20 cm	0-8 cm	8-20 cm
	n.º de propágulos g ⁻¹ de solo seco					
	x 10 ⁵		x 10 ³		x 10 ⁴	
1. Trigo/soja contínuos	40,79a	42,43a	17,22ab	11,75a	70,38a	62,40a
2. Soja contínua/aveia-preta e trigo alternados	59,00a	53,13a	14,45ab	16,95a	87,57a	80,53a
3. Milho e soja (1:3)/tremoço, aveia-preta e trigo (1:1:2) alternados	36,18a	44,63a	21,77ab	15,68a	56,95a	59,78a
4. Milho e soja (1:3)/tremoço e trigo (1:3) alternados	44,13a	34,23a	14,00b	11,53a	74,50a	67,13a
5. Milho e soja/tremoço e trigo alternados	40,23a	58,18a	25,40a	13,45a	62,15a	65,60a
6. Soja contínua/aveia-preta e trigo (3:1) alternados	59,18a	45,78a	12,12b	11,63a	89,12a	74,50a
7. Milho e soja(1:3)/tremoço, aveia-preta e trigo (1:2:1) alternados	36,18a	34,80a	21,00ab	14,80a	48,50a	53,88a
8. Milho e soja (2:2)/tremoço, aveia-preta e trigo (2:1:1) alternados	39,50a	33,23a	17,05ab	15,30a	31,51a	52,58a

Médias seguidas pela mesma letra, dentro de cada coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5%.

Quadro 6. Coeficientes de correlação linear (r) entre o rendimento de grãos de soja e a biomassa microbiana e os diversos parâmetros avaliados em duas profundidades de um latossolo roxo eutrófico sob diferentes sistemas de rotação de culturas com soja, para a safra de verão 1991/92, em Londrina (PR)

Rendimento/Biomassa microbiana	Biomassa	Umidade gravimétrica	pH CaCl ₂	K	Ca	Mg	H + Al	C orgânico	P
	mg C-CO ₂ 100 g ⁻¹	g kg ⁻¹		mmolc kg ⁻¹				g kg ⁻¹	mg kg ⁻¹
Camada de 0-8 cm									
Rendimento de grãos de soja (t ha ⁻¹) (2,10) (3,13) ⁽¹⁾	+0,2566ns	+0,2768ns	+0,5830*	-0,2550ns	+0,5571*	+0,4072*	-0,5950*	+0,0356ns	-0,0795ns
Biomassa	-	+0,0472ns	+0,5891*	+0,1898ns	+0,4938*	+0,5117*	-0,5777*	+0,2118ns	+0,2177ns
	(13,22)	(260,0)	(4,90)	(6,5)	(45,2)	(16,8)	(34,3)	(16,0)	(12,90)
	(94,87)	(311,2)	(5,83)	(11,9)	(84,6)	(27,4)	(53,8)	(24,1)	(44,30)
Camada de 8-20 cm									
Rendimento de grãos de soja	+0,1627ns	+0,1301ns	+0,6238*	-0,0853ns	+0,5658*	+0,4940*	-0,6397*	+0,5283*	-0,0389ns
Biomassa	-	+0,1693ns	+0,4209*	-0,1764ns	+0,3938*	+0,3651*	-0,3821*	+0,2730ns	+0,1430ns
	(17,56)	(256,8)	(4,91)	(6,4)	(44,1)	(16,0)	(32,1)	(15,9)	(9,10)
	(99,54)	(306,1)	(5,87)	(10,3)	(83,4)	(26,4)	(53,3)	(22,9)	(25,40)

⁽¹⁾ Valores entre parênteses constituem a amplitude de variação do parâmetro considerado para determinada profundidade; ns: não significativo ao nível de 5%; *: significativo ao nível de 5%.

traram maiores valores para a biomassa e população microbiana na camada de 0-5 cm em relação à de 5-15 cm, em um podzólico vermelho-escuro, no Rio Grande do Sul. Os autores atribuíram esse comportamento, principalmente, ao acúmulo de resíduos vegetais e de nutrientes verificados na camada superficial. O fato de as amostragens, no presente trabalho, terem sido feitas de 0-8 cm talvez tenha diluído um pouco essas diferenças, mas os principais motivos desse comportamento devem ter sido o menor acúmulo de resíduos na superfície, devido à degradação mais rápida, ocasionada por temperaturas mais elevadas durante todo o ano e à transição gradual entre os horizontes do latossolo, ao contrário do que ocorre com o podzólico (EMBRAPA, 1984).

Por meio das análises de regressão entre o rendimento de grãos e as avaliações microbianas com os parâmetros determinados para as duas profundidades (Quadros 6, 7 e 8), observa-se que o rendimento de grãos de soja foi afetado principalmente pelo complexo acidez do solo (pH, Ca, Mg e H + Al), sendo favorecido pela diminuição da acidez (não foi feita análise de regressão com o Al pois os teores encontrados sempre foram zero ou muito próximos de zero).

Houve influência positiva do teor de carbono orgânico do solo (safras 1991/92 e 1993/94) e do teor de potássio (safra 1993/94). Sobre o carbono orgânico, é importante ressaltar que seu teor foi pouco influenciado pelos diferentes sistemas de rotação (dados não apresentados). Já o de fósforo, na camada de 0-8 cm, influenciou, negativamente, o rendimento de grãos de soja na safra 1992/93, quando estava em níveis bastante elevados (amplitude de variação de 11,2 a 49,4 mg kg⁻¹), talvez causando algum desequilíbrio nutricional e, positivamente, na safra 1993/94, quando os níveis já estavam um pouco mais baixos (amplitude de variação de 8,2 a 33,6 mg kg⁻¹). A produção de grãos esteve correlacionada com a biomassa microbiana apenas na safra 1992/93, na camada de 8-20 cm, quando também esteve correlacionada com a população de fungos.

A biomassa microbiana esteve relacionada ao complexo acidez do solo, sendo estimulada pela diminuição desta (amplitude total de variação do pH em CaCl₂ de 4,85 a 6,03). A biomassa também esteve positivamente correlacionada com a umidade do solo, na camada de 0-8 cm, na safra 1992/93.

Nesta safra, em que também foi feita a avaliação da população microbiana mediante a contagem em

Quadro 7. Coeficientes de correlação linear (r) entre o rendimento de grãos de soja e as avaliações microbianas e os parâmetros avaliados em duas profundidades de um latossolo roxo eutrófico sob diferentes sistemas de rotação de culturas com soja, para a safra de 1992/93, em Londrina (PR)

Rendimento/ Avaliações microbianas	Bio- massa	Bacté- rias	Fun- gos	Acti- nomi- cetos	Umi- dade gravi- métrica	pH CaCl ₂	K	Ca	Mg	H + Al	C orgâ- nico	P
	mg C-CO ₂ 100 g ⁻¹	x 10 ⁵	x 10 ³	x 10 ⁴	g kg ⁻¹				mmolc kg ⁻¹		g kg ⁻¹	mg kg ⁻¹
Camada de 0-8 cm												
Rendimento de grãos de soja (t ha ⁻¹) (2,26) (3,75) ⁽¹⁾	+0,1620ns	+0,1870ns	-0,0900ns	-0,0350ns	+0,1660ns	+0,5700*	+0,0400ns	+0,4710*	+0,4920*	-0,4660*	+0,3350ns	-0,5340*
Biomassa	-	+0,0320ns	+0,0150ns	-0,3030ns	+0,4250*	+0,0280ns	+0,0310ns	+0,1120ns	+0,1340ns	-0,0430ns	+0,3260ns	-0,0700ns
Bactérias	-	-	+0,1050ns	-0,2780ns	-0,0800ns	-0,0150ns	-0,0030ns	-0,0900ns	+0,1580ns	+0,1390ns	+0,1420ns	-0,0010ns
Fungos	-	-	-	-0,1080ns	-0,0160ns	-0,1270ns	+0,1160ns	-0,1340ns	+0,0500ns	+0,2760ns	-0,1320ns	+0,1270ns
Actinomicetos	-	-	-	-	-0,1790ns	-0,1040ns	-0,0310ns	+0,0150ns	-0,1250ns	+0,1260ns	-0,2030ns	-0,2620ns
	(30,16)	(12,53)	(11,76)	(26,01)	(268,7)	(5,18)	(4,7)	(44,7)	(16,4)	(33,2)	(16,4)	(11,20)
	(72,00)	(205,09)	(94,21)	(95,57)	(328,0)	(6,10)	(9,0)	(88,6)	(27,9)	(54,2)	(26,7)	(49,40)
Camada de 8-20 cm												
Rendimento de grãos de soja	+0,5334*	-0,3977ns	+0,4480*	+0,3300ns	+0,3200ns	+0,6120*	+0,0520ns	+0,4890*	+0,5450*	-0,5890*	+0,0950ns	-0,2560ns
Biomassa	-	-0,0080ns	+0,1030ns	+0,0450ns	+0,1700ns	+0,5740*	+0,1450ns	+0,6650*	+0,4940*	-0,5770*	+0,3050ns	+0,2490ns
Bactérias	-	-	-0,2720ns	-0,4670*	+0,1280ns	-0,2860ns	+0,0830ns	-0,1770ns	-0,0850ns	+0,2270ns	+0,1560ns	+0,2350ns
Fungos	-	-	-	+0,4130*	-0,1000ns	+0,2970ns	-0,1700ns	+0,3160ns	+0,4220*	-0,2740ns	+0,4010*	-0,3390ns
Actinomicetos	-	-	-	-	-0,2970ns	+0,4960*	+0,0770ns	+0,3810ns	+0,3070ns	-0,5400*	+0,0370ns	-0,3060ns
	(15,26)	(15,45)	(5,22)	(4,32)	(295,6)	(5,01)	(4,7)	(41,3)	(14,3)	(32,9)	(13,6)	(3,30)
	(58,90)	(192,71)	(47,53)	(86,00)	(329,9)	(6,03)	(8,5)	(89,9)	(26,6)	(55,5)	(20,9)	(18,30)

(1) Valores entre parênteses constituem a amplitude de variação do parâmetro considerado para determinada profundidade; ns : não significativo ao nível de 5%; * : significativo ao nível de 5%.

Quadro 8. Coeficientes de correlação linear (r) entre o rendimento de grãos de soja e as avaliações microbianas e os parâmetros avaliados em duas profundidades de um latossolo roxo eutrófico sob diferentes rotações de culturas com soja, para a safra de 1993/94, em Londrina (PR)

Rendimento/ Avaliações microbianas	Bio- massa	Bacté- rias	Fun- gos	Acti- nomi- cetos	Umi- dade gravi- métrica	pH CaCl ₂	K	Ca	Mg	H + Al	C orgâ- nico	P
	mg C-CO ₂ 100 g ⁻¹	x 10 ⁵	x 10 ³	x 10 ⁴	g kg ⁻¹		mmolc kg ⁻¹				g kg ⁻¹	mg kg ⁻¹
Camada de 0-8 cm												
Rendimento de grãos de soja (t ha ⁻¹) (2,60) (3,69) ⁽¹⁾	-0,0112ns	-0,1360ns	-0,0262ns	+0,2403ns	+0,2340ns	+0,5797*	+0,4175*	+0,6439*	+0,5647*	-0,3145ns	+0,3624*	+0,4607*
Biomassa	-	-0,2440ns	+0,0125ns	-0,1057ns	-0,2100ns	-0,1349ns	-0,0500ns	-0,0668ns	-0,1866ns	-0,2182ns	+0,0296ns	+0,1763ns
Bactérias	-	-	+0,0645ns	+0,3855*	+0,0922ns	-0,1327ns	+0,1576ns	-0,1415ns	-0,0199ns	+0,1523ns	-0,1552ns	-0,0087ns
Fungos	-	-	-	+0,1980ns	-0,0373ns	-0,1914ns	-0,1086ns	-0,2061ns	-0,0853ns	+0,1147ns	-0,2591ns	+0,0475ns
Actinomicetos	-	-	-	-	+0,1970ns	+0,2235ns	+0,1564ns	+0,1332ns	+0,1753ns	-0,2163ns	-0,2159ns	+0,2948ns
	(24,34)	(19,60)	(6,60)	(22,50)	(261,8)	(4,90)	(5,5)	(48,2)	(16,2)	(29,4)	(13,9)	(8,20)
	(82,36)	(155,30)	(35,50)	(158,20)	(422,9)	(5,81)	(9,0)	(93,1)	(29,3)	(55,9)	(20,9)	(33,60)
Camada de 8-20 cm												
Rendimento de grãos de soja	+0,1451ns	-0,2672ns	-0,0454ns	-0,0819ns	+0,2568ns	+0,6327*	+0,4509*	+0,6282*	+0,5573*	-0,2861ns	+0,3468ns	+0,2804ns
Biomassa	-	-0,0391ns	-0,1173ns	+0,1091ns	-0,0029ns	+0,2533ns	-0,0485ns	+0,1679ns	+0,2894ns	-0,1334ns	+0,1265ns	+0,0228ns
Bactérias	-	-	+0,2704ns	+0,6891*	-0,2067ns	-0,0408ns	-0,0813ns	-0,1831ns	-0,0929ns	+0,0296ns	-0,1484ns	+0,2200ns
Fungos	-	-	-	+0,1483ns	-0,2578ns	-0,1453ns	+0,2061ns	-0,2331ns	+0,0136ns	+0,0796ns	-0,0772ns	+0,3048ns
Actinomicetos	-	-	-	-	+0,1126ns	+0,1044ns	-0,1234ns	-0,0579ns	+0,0973ns	-0,1244ns	-0,1507ns	+0,2754ns
	(25,31)	(20,20)	(7,20)	(19,00)	(261,9)	(4,85)	(4,6)	(45,2)	(16,0)	(29,7)	(14,0)	(4,70)
	(78,44)	(119,10)	(26,90)	(140,00)	(320,5)	(5,88)	(8,5)	(83,9)	(27,3)	(54,2)	(17,7)	(15,40)

(1) Valores entre parênteses constituem a amplitude de variação do parâmetro considerado para determinada profundidade; ns: não significativo ao nível de 5%; *: significativo ao nível de 5%.

placas, observou-se que, na camada de 8-20cm, as bactérias correlacionaram-se, negativamente, com os actinomicetos, enquanto os fungos se correlacionaram, positivamente, com o mesmo grupo (Quadro 8). Os fungos foram afetados positivamente pelo teor de Mg e carbono orgânico do solo.

Cattelan & Vidor (1990a, b) também observaram que a matéria orgânica, a umidade gravimétrica e a disponibilidade de nutrientes do solo foram os fatores que mais estimularam a biomassa e a população microbiana. Witter et al. (1993), avaliando um ensaio de campo, com mais de trinta anos de duração, na Suécia, observaram que a biomassa microbiana apresentou alta correlação com o teor de carbono do solo e que o pH baixo afetou, negativamente, a biomassa. Wardle et al. (1993), estudando diferentes estratégias de controle de plantas invasoras, na Nova Zelândia, verificaram que a biomassa microbiana foi altamente favorecida, na camada de 0-5 cm, pela cobertura morta, provavelmente devido à maior disponibilidade de água no solo.

As análises de regressão são muito úteis para a compreensão do comportamento dos microrganismos no solo. Muitas vezes não se consegue detectar diferenças significativas pela análise da variância porque

a variação entre as repetições do mesmo tratamento, no campo, pode ser grande. Já a análise de regressão independe dos tratamentos, anulando essas diferenças entre repetições e consegue detectar quais parâmetros estão, realmente, influenciando os microrganismos, por exemplo, carbono orgânico. De posse dessa informação, vão-se buscar rotações e manejos do solo que favoreçam o aumento do carbono orgânico.

CONCLUSÕES

1. Em latossolo roxo eutrófico, sistemas de rotação de culturas com milho e soja no verão e com tremoço, aveia-preta e/ou trigo no inverno, apresentaram maior rendimento de grãos de soja do que a tradicional sucessão trigo/soja, porém esse efeito não foi constante para os anos estudados.

2. O desenvolvimento microbiano foi estimulado pela diminuição da acidez e pelo aumento no teor de carbono orgânico e disponibilidade de água no solo.

3. O desenvolvimento microbiano correlacionou-se, positivamente, com a rendimento de grãos de soja em alguns casos, mas não de maneira consistente.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Maria Cristina N. de Oliveira e Moisés de Aquino, o auxílio prestado nas análises estatísticas; a José Renato B. Farias, o fornecimento dos dados meteorológicos; a Leny M. Miura e Emerson S. Cioffi, os trabalhos de laboratório; a José Zucca Moraes e Rubson N. Sibaldelli, a coleta das amostras, e a todo o pessoal de apoio da EMBRAPA-CNPSO.

LITERATURA CITADA

- ANDERSON, J.P.E. & DOMSCH, K.H. Mineralization of bacteria and fungi in chloroform-fumigated soils. *Soil Biol. Biochem.*, Oxford, 10(3):207-213, 1978.
- ANDERSON, D.R.; SWEENEY, D.J. & WILLIAMS, T.A. Introduction to statistics: concepts and applications. 3.ed. West Publishing Company, St. Paul, Minnesota, 1991. 903p.
- CAMPBELL, C.A. & BIEDERBECK, V.O. Changes in mineral N and numbers of bacteria and actinomycetes during two years under wheat-fallow in Southwestern Saskatchewan. *Can. J. Soil Sci.*, Ottawa, 62(1):125-137, 1982.
- CLARK, F.E. Actinomycetes. In: BLACK, C.A.; EVANS, D.D.; WHITE, J.L.; ENSMINGER, L.E.; CLARK, F.E. & DINAUER, R.C., eds. *Methods of soil analysis*. Madison, American Society of Agronomy, 1965. v.2, p.1498-1501.
- CATTELAN, A.J. & VIDOR, C. Sistemas de culturas e a população microbiana do solo. *R. bras. Ci. Solo*, Campinas, 14(2):125-132, 1990a.
- CATTELAN, A.J. & VIDOR, C. Flutuações na biomassa, atividade e população microbiana do solo, em função de variações ambientais. *R. bras. Ci. Solo*, Campinas, 14(2):133-142, 1990b.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Soja (Londrina, PR). *Recomendações técnicas para a cultura da soja no Paraná, 1988/89*. Cascavel, OCEPAR-EMBRAPA/CNPSO, 1988. 100p. (OCEPAR, Boletim técnico, 23; EMBRAPA/CNPSO, Documentos, 34)
- EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. (Rio de Janeiro, RJ). *Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Paraná*. Curitiba, EMBRAPA-SNLCS/SUDESUL/IAPAR, 1984. 2t. 791p. (EMBRAPA-SNCLS, boletim de pesquisa, 27; IAPAR, boletim técnico, 16)
- JENKINSON, D.S. & POWLSON, P.S. The effects of biocidal treatments on metabolism in soil - V: A method for measuring soil biomass. *Soil Biol. Biochem.*, Oxford, 8(3):209-213, 1976.
- JOHNSON, N.C.; COPELAND, P.J.; CROOKSTON, R.K. & PFLEGER, F.L. Mycorrhizae: possible explanation for yield decline with continuous corn and soybean. *Agron. J.*, Madison, 84(3):387-390, 1992.
- KHAN, S.U. Enzymatic activity in a gray wooded soil as influenced by cropping systems and fertilizers. *Soil Biol. Biochem.*, Oxford, 2:137-139, 1970.
- LYNCH, J.M. Interactions between biological processes, cultivation and soil structure. *Plant Soil*, The Hague, 76(1-3):307-318, 1984.
- MARTINEZ, A.T. & RAMIREZ, C. Microfungal biomass and number of propagules in a andosol. *Soil Biol. Biochem.*, Oxford, 10(6):529-531, 1978.
- MENZIES, J.D. Fungi. In: BLACK, C.A.; EVANS, D.D.; WHITE, J.L.; ENSMINGER, L.E.; CLARK, F.E. & DINAUER, R.C., eds. *Methods of soil analysis*. Madison, American Society of Agronomy, 1965. v.2, p.1502-1505.
- PARKINSON, D.; GRAY, T.R.G. & WILLIAMS, S.T. *Methods for studying the ecology of soil microorganisms*. Oxford, Adlard, 1971. 116p.
- ROVIRA, A.D. Microbiology of pasture soil and some effects of microorganisms on pasture plants. In: WILSON, J.R., ed. *Plant relations in pastures*. Melbourne, CSIRO, 1978. p.95-110.
- ROVIRA, A.D. & DAVEY, C.B. Biology of the rhizosphere. In: CARSON, E.W., ed. *The plant root and its environment*. Charlottesville, University Press of Virginia, 1974. p.153-194.
- THORNTHWAITE, C.W. & MATHER, J.R. Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and the water balance. *Publ. Climatol.*, Centerton, 10(3):181-311, 1957.
- VETTORI, L. *Métodos de análise do solo*. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura, 1969. 24p. (Boletim técnico, 7)
- WARDLE, D.A.; YEATES, G.W.; WATSON, R.N. & NICHOLSON, K.S. Response of soil microbial biomass and plant litter decomposition to weed management strategies in maize and asparagus cropping systems. *Soil Biol. Biochem.*, Oxford, 25(7):857-868, 1993.
- WITTER, E.; MARTENSSON, A.M. & GARCIA, F.V. Size of the microbial biomass in a long-term field experiment as affected by different N-fertilizers and organic manures. *Soil Biol. Biochem.*, Oxford, 25(6):659-669, 1993.