

Imobilização de nitrogênio em solo cultivado com milho em sucessão à aveia preta nos sistemas plantio direto e convencional¹

Nitrogen immobilization in soil cropped with maize in sequence to black oats in conventional and in no-till systems

Luciano Kayser Vargas² Pedro Alberto Selbach³ Enilson Luiz Saccol de Sá³

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivos avaliar a quantidade de nitrogênio imobilizado e a sua remineralização, nos sistemas plantio direto (SPD) e convencional (SC), ao longo do ciclo do milho. Para tal, foram coletadas amostras da camada de 0-5cm de solo semeado com milho em sucessão à aveia preta, sob os sistemas convencional e plantio direto, no dia da semeadura do milho e 46, 62, 88 e 112 dias após. Amostras da parte aérea das plantas de milho foram coletadas nas mesmas épocas, com exceção da primeira, e avaliadas quanto à quantidade de nitrogênio acumulado. As amostras de solo foram avaliadas quanto à quantidade de nitrogênio mineral no solo, de nitrogênio e carbono potencialmente mineralizáveis, atividade de urease e de nitrogênio imobilizado na biomassa microbiana. A imobilização microbiana do nitrogênio foi maior no sistema plantio direto, levando a uma menor quantidade de nitrogênio mineral no solo e resultando em menor acúmulo de nitrogênio na parte aérea do milho ao final do seu ciclo neste sistema, em comparação com o convencional. Não foi observada remineralização do nitrogênio imobilizado, indicando que a biomassa microbiana atuou mais como agente da mineralização de nitrogênio orgânico do que como fonte de nitrogênio potencialmente mineralizável.

Palavras-chave: nitrogênio da biomassa microbiana, preparos de solo, atividade microbiana, N mineral.

ABSTRACT

The present research aimed to evaluate the amount of nitrogen immobilized and its remineralization, in

conventional and in no-till systems, during the corn cycle. A soil that was used for oats crop was seeded with corn and subjected to under conventional and no-till systems. Samples were collected from the top (0-5cm) soil layer on the day of the corn seeding and after 46, 62, 88 and 112 days. At the same time, the aerial parts of corn plants were collected and nitrogen accumulation was evaluated. Soil samples were assayed for mineral N, potentially mineralizable N and C, activity and immobilized N. Microbial nitrogen immobilization was higher in no-till system, reducing the soil mineral nitrogen concentration and resulting in a lower amount of nitrogen in the aerial parts of corn plants at the end of the growth cycle. Nitrogen remineralization was not observed, indicating that the microbial biomass acted more as an agent of organic N mineralization than as a source of potentially mineralizable N.

Key words: microbial biomass nitrogen, soil tillage, microbial activity, mineral N.

INTRODUÇÃO

Na Região Sul do Brasil, a adoção crescente do sistema plantio direto fez com que a utilização de plantas de cobertura durante o período de outono/inverno passasse a ser priorizada. A aveia preta é a planta de cobertura mais usada na Região, em função de sua elevada produção de fitomassa, rusticidade, facilidade para obtenção de sementes, aliadas a sua

¹Parte da Tese de Doutorado apresentada pelo primeiro autor Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) para a obtenção do título de Doutor em Ciência do Solo.

²Pesquisador da Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária (FEPAGRO), Rua Gonçalves Dias 570, 90130-060, Porto Alegre (RS). Autor para correspondência.

³Professor Adjunto do departamento de Solos da Faculdade de Agronomia, UFRGS. E mail: pselbach@conex.com.br. Autor para correspondência.

decomposição lenta e seu rápido crescimento inicial (CERETTA et al., 2002). Esta é freqüentemente sucedida pela cultura do milho, estabelecendo uma sucessão de gramíneas. Nesta situação, o milho pode ter o rendimento de grãos afetado quando for cultivado em níveis baixos de adubação nitrogenada.

O problema da baixa disponibilidade de nitrogênio em sucessões de gramíneas parece ser agravado no sistema plantio direto. Embora o plantio direto promova um aumento nos teores de nitrogênio total do solo, freqüentemente se observa uma menor absorção de nitrogênio por cereais neste sistema, em comparação com o sistema convencional (KITUR et al., 1984; AMADO et al., 2000). Diversas causas têm sido apontadas para explicar essa menor disponibilidade de nitrogênio: maiores perdas por lixiviação e desnitrificação, menor mineralização dos resíduos da cultura anterior e do N orgânico do solo e uma maior imobilização microbiana do fertilizante nitrogenado aplicado em cobertura, além da possibilidade de interações entre alguns desses fatores (AMADO et al., 2000). Dentre as causas prováveis para a menor disponibilidade de nitrogênio no sistema plantio direto, a imobilização microbiana do N tem sido considerada a mais importante (KITUR et al., 1984). A maior imobilização microbiana ocorre nas camadas superficiais do solo sob plantio direto (VARGAS & SCHOLLES, 1998), podendo ser suficientemente elevada para, isoladamente, afetar a absorção de nitrogênio pelas plantas.

Mas, se por um lado a biomassa microbiana imobiliza o nitrogênio, diminuindo a sua disponibilidade para as culturas, por outro, pode se constituir em uma fonte de nitrogênio potencialmente mineralizável. Os nutrientes imobilizados pela comunidade microbiana podem atingir valores elevados, mas a sua reciclagem e liberação são mais rápidas do que as de outras frações da matéria orgânica do solo. À medida que ocorre a morte dos microrganismos, estes são rapidamente mineralizados pelos microrganismos remanescentes, liberando os nutrientes imobilizados no processo conhecido como remineralização (MARY et al., 1996). Tal processo pode suprir uma quantidade significativa de nitrogênio para as plantas (BONDE et al., 1988).

O presente trabalho teve como objetivo avaliar, de forma comparativa, a imobilização microbiana e sua relação com a disponibilidade de nitrogênio ao longo do ciclo do milho em solo manejado nos sistemas plantio direto e convencional, bem como testar a hipótese de que a remineralização contribui com uma quantidade expressiva de nitrogênio para a cultura, especialmente no sistema plantio direto.

MATERIAL E MÉTODOS

As amostras de solo e de tecido vegetal, analisadas no presente trabalho, foram coletadas em um experimento localizado em área pertencente à Estação Experimental Agronômica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (EEA/UFRGS), no município de Eldorado do Sul (RS), região fisiográfica da Depressão Central. O solo é classificado como Argissolo Vermelho distrófico, textura franco-argilosa (Paleudult). O experimento vem sendo conduzido, desde 1985, com tratamentos de preparos de solo e de sistemas de culturas, possuindo três repetições, em um delineamento experimental em blocos casualizados, com parcelas subdivididas. As características do solo e o histórico do experimento encontram-se descritas em BAYER & MIELNICZUK (1997).

No presente trabalho, foram avaliados dois sistemas de manejo do solo: o sistema plantio direto e o sistema convencional. O solo foi cultivado, nos dois sistemas, em parcelas de 5 x 10m, com a sucessão de gramíneas aveia preta / milho. Previamente à cultura do milho, a aveia preta foi rolada com o uso de um rolo-faca. Esta operação foi efetuada em 31/08/1999. No momento da rolagem, a palha da aveia preta apresentava uma relação C:N de 59. O preparo convencional do solo foi realizado em 13/09/1999 e a semeadura da cultura do milho, em 23/09/1999, em ambos os sistemas. A população foi de 69.000 plantas por hectare. Como fertilizante nitrogenado, aplicado em cobertura, utilizou-se uréia, em uma dose total equivalente a 180kg ha⁻¹ de N. O fertilizante foi aplicado a lanço, de modo fracionado, em duas doses, sendo aplicados 60kg ha⁻¹ de N aos 25 dias e 120kg ha⁻¹ de N aos 49 dias após a semeadura da cultura do milho. Imediatamente após cada aplicação do fertilizante nitrogenado, procedeu-se a uma irrigação equivalente a 20mm.

As amostras de solo foram coletadas na camada de 0-5cm, com o uso de uma espátula. Foram coletadas amostras compostas de cinco subamostras por parcela, as quais foram mantidas intactas, até a sua chegada ao laboratório, onde foram homogeneizadas com o uso de peneira com malha de 4mm. Após, parte das amostras foi pesada para as avaliações de nitrogênio da biomassa microbiana e nitrogênio mineral do solo, enquanto o restante das amostras foi armazenado sob refrigeração até o momento em que foram efetuadas as demais análises. As amostras de solo foram coletadas no dia da semeadura do milho e 46, 62, 88 e 112 dias após a semeadura. Nos mesmos dias, com exceção da primeira coleta, coletou-se, aleatoriamente, a parte aérea de quatro plantas de milho

de cada parcela. Estas foram avaliadas quanto à produção de massa seca e quantidade de nitrogênio total no tecido vegetal mediante o procedimento descrito por TEDESCO et al. (1995).

Nas amostras de solo, foram avaliadas as quantidades de nitrogênio mineral no solo, de carbono e de nitrogênio potencialmente mineralizáveis, a atividade de urease e a quantidade de nitrogênio na biomassa microbiana. Os valores expressos em mg kg^{-1} foram convertidos para kg ha^{-1} , considerando-se, para tal, a densidade aparente do solo de $1,49 \text{ g cm}^{-3}$ no sistema convencional e $1,59 \text{ g cm}^{-3}$ no sistema plantio direto determinada por SALTON & MIELNICZUK (1995).

Para a medida das quantidades de carbono e de nitrogênio potencialmente mineralizáveis ao longo do período avaliado, foram utilizadas as amostras de solo coletadas no dia da semeadura do milho, sendo determinados o C-CO_2 liberado e o nitrogênio mineralizado após 112 dias de incubação das amostras. Para tal, amostras com 50g de solo de cada parcela, com a umidade do solo ajustada para $\pm 70\%$ da sua capacidade de campo, foram incubadas, a $26 \pm 2^\circ \text{C}$, em frascos de vidro com volume de 1,5 L. No interior de cada frasco, foi colocado um copo contendo 2 mL de $\text{NaOH } 1,0 \text{ mol L}^{-1}$. Em intervalos de 10 dias, os frascos foram abertos e mediu-se a produção de C-CO_2 de cada subamostra por titulação com $\text{HCl } 0,1 \text{ mol L}^{-1}$. Para o cálculo do carbono potencialmente mineralizável, efetuou-se a soma do C-CO_2 liberado em cada leitura. Aos 112 dias de incubação, determinou-se o nitrogênio potencialmente mineralizável, por meio da quantidade de nitrogênio mineral presente no solo ao final deste período.

A atividade de urease foi estimada de acordo com DICK et al. (1996), determinando-se o NH_4^+ na suspensão do solo por destilação com MgO , tal como descrito em TEDESCO et al. (1995). Para a avaliação do nitrogênio da biomassa microbiana

empregou-se o método de fumigação-extração proposto por BROOKES et al. (1985), pesando-se 20g de solo (base úmida), os quais foram extraídos com 80 mL de $\text{K}_2\text{SO}_4 \text{ } 0,5 \text{ mol L}^{-1}$ e agitados por 30 minutos. Simultaneamente, outra amostra, de massa igual, foi fumigada com clorofórmio por 24 horas. O clorofórmio foi removido mantendo-se os frascos abertos em capela por 6 a 8 horas, sendo então feita a extração do modo descrito anteriormente. Após a agitação, os extratos foram filtrados em papel filtro e mantidos em geladeira até o momento da análise de N total no extrato (TEDESCO et al., 1995). O N da biomassa microbiana foi calculado subtraindo-se o N total no extrato de solo não-fumigado do valor encontrado para o extrato de solo fumigado e dividindo-se o valor obtido pelo fator 0,54. Este fator representa a fração de nitrogênio da biomassa microbiana extraído após a fumigação com clorofórmio.

Os dados das variáveis estudadas foram analisados segundo um delineamento experimental em blocos completos casualizados com três repetições e um delineamento de tratamentos fatorial: sistemas de manejo de solo, com dois níveis e épocas de avaliação, com cinco níveis. As médias foram comparadas pelo teste de Duncan, ao nível de significância de 5%.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Quantidade de nitrogênio mineral no solo e nitrogênio acumulado pela cultura do milho

Os sistemas de manejo influenciaram a disponibilidade de nitrogênio para a cultura do milho, estimada por meio da quantidade de nitrogênio mineral presente no solo (Tabela 1). Apenas na primeira avaliação não houve diferença entre os dois sistemas com relação à quantidade de nitrogênio mineral. Nas demais avaliações, a quantidade de nitrogênio mineral foi maior no sistema convencional. Já as quantidades

Tabela 1 - Nitrogênio mineral total do solo ($\text{NH}_4^+ + \text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$) na camada de 0-5cm e quantidade de nitrogênio total acumulado na parte aérea de plantas de milho nos sistemas plantio direto (SPD) e convencional (SC).

Dias após a semeadura	Nitrogênio Mineral		Nitrogênio na parte aérea do milho	
	SPD	SC	SPD	SC
	kg ha^{-1}		kg ha^{-1}	
0	2 Ab	1,64 Ac	-	-
46	3,49 Bb	32,78 Ab	8,55 Ad	10,26 Ad
62	70,43 Ba	127,79 Aa	86,82 Ac	58,27 Bc
88	3,25 Bb	44,33 Ab	142,32 Ab	133,95 Ab
112	10,49 Bb	40,24 Ab	174,00 Ba	208,48 Aa

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si, pelo teste de Duncan, a 5% de probabilidade de erro. Letras maiúsculas comparam sistemas de manejo dentro de cada época, e letras minúsculas comparam épocas dentro de cada sistema de manejo.

de nitrogênio total na parte aérea das plantas de milho diferiram entre os sistemas de manejo aos 62 e aos 112 dias após a semeadura do milho (Tabela 1).

Na primeira avaliação, foram observados os menores valores de nitrogênio mineral nos dois sistemas de manejo. Esta avaliação foi realizada no dia da semeadura do milho, 23 dias após a rolagem da aveia preta e 10 dias após o preparo convencional do solo; antes, portanto, da primeira dose de adubação nitrogenada ter sido aplicada ao solo. O nitrogênio presente no solo seria originado da mineralização tanto da matéria orgânica quanto de resíduos adicionados recentemente. A mineralização deveria estar sendo favorecida, sobretudo no sistema convencional após o preparo do solo, de modo que a quantidade de nitrogênio mineral verificada dificilmente estaria associada a taxas de mineralização reduzidas. Naquele momento, também não existiam ainda plantas de milho, as quais poderiam absorver o nitrogênio da solução do solo e reduzir acentuadamente a quantidade de nitrogênio mineral (MALHI et al., 2001). Assim, embora possam ter ocorrido perdas de nitratos por lixiviação, a baixa quantidade de nitrogênio mineral estaria, aparentemente, associada à presença, em grande quantidade, dos resíduos da cultura anterior.

Na segunda avaliação, 46 dias após a semeadura e 21 dias após a aplicação da primeira dose de nitrogênio, observou-se um aumento do nitrogênio mineral no sistema convencional em relação à primeira avaliação. No sistema plantio direto, o nitrogênio mineral permaneceu estável, tendo sido mais baixo do que no sistema convencional. Não houve diferenças na quantidade de nitrogênio na parte aérea do milho.

Na terceira avaliação, 62 dias após a semeadura do milho e 13 dias após a aplicação da segunda dose de nitrogênio, verificou-se um aumento no nitrogênio mineral nos dois sistemas, em relação à avaliação anterior, devido à aplicação de 120kg N ha^{-1} . Somente nesta avaliação a quantidade de nitrogênio mineral do solo no sistema plantio direto superou a das demais avaliações, neste sistema. Simultaneamente, o nitrogênio acumulado na parte aérea do milho foi maior no sistema plantio direto, de modo que o teor elevado de nitrogênio no solo, após a aplicação da segunda dose de nitrogênio, favoreceu a absorção de N pela cultura do milho. No entanto, outros fatores devem ter contribuído para o maior acúmulo de nitrogênio pelas plantas no sistema plantio direto, pois os teores de nitrogênio mineral foram ainda mais elevados no sistema convencional. Neste sentido, destaca-se a maior conservação de água no SPD (SALTON & MIELNICZUK, 1995), a qual possibilita uma maior taxa de transpiração, determinando um maior

fluxo de nitratos em direção à superfície das raízes (SALET, 1994).

Aos 88 e aos 112 dias, houve uma diminuição na quantidade de nitrogênio mineral do solo nos dois sistemas, em comparação com o verificado aos 62 dias. As quantidades de nitrogênio mineral voltaram para níveis semelhantes aos verificados aos 46 dias, indicando que o fertilizante aplicado já havia sido utilizado pela cultura do milho ou havia sido perdido. A redução na quantidade de nitrogênio mineral foi mais acentuada no sistema plantio direto, o que poderia indicar maiores perdas do nutriente, maior absorção pela cultura do milho ou uma maior imobilização microbiana mesmo no final do ciclo do milho.

Por sua vez, as quantidades de nitrogênio na parte aérea do milho não diferiram aos 88 dias após a semeadura. Já aos 112 dias, o sistema convencional apresentou uma quantidade maior de nitrogênio acumulado no tecido vegetal. A menor quantidade de nitrogênio acumulado na parte aérea das plantas descarta a possibilidade de que uma maior absorção de nitrogênio pela cultura do milho tenha levado à diminuição dos teores de nitrogênio mineral no sistema plantio direto aos 88 e 112 dias.

Nitrogênio e carbono potencialmente mineralizáveis

Os sistemas de manejo modificaram significativamente as quantidades de nitrogênio potencialmente mineralizável na camada de 0-5cm de solo. No sistema plantio direto, a quantidade de nitrogênio mineralizada ao longo de 112 dias de incubação foi mais do que o dobro da quantidade mineralizada no sistema convencional (Tabela 2). O aumento do nitrogênio orgânico total e do nitrogênio potencialmente mineralizável em solo sob plantio direto tem sido reportado por autores como DORAN et al. (1998) e FOLLETT & SCHIMEL (1989). Fatores tais como o acúmulo de resíduos vegetais junto à superfície do solo, o controle da erosão e a proteção física da matéria orgânica em complexos organominerais possibilitam este aumento.

A matéria orgânica é a maior reserva de nitrogênio orgânico no solo, e a sua mineralização supre quantidades substanciais deste nutriente durante o ciclo das culturas (MENDEL, 1996). O aumento da quantidade de nitrogênio potencialmente mineralizável significa uma maior capacidade do solo em suprir este nutriente (DRINKWATER et al., 1996), bem como uma maior conservação do nitrogênio no sistema solo (DORAN et al., 1998). A sua manutenção em formas orgânicas impede, ou ao menos minimiza, a ocorrência de perdas de nitrogênio por lixiviação ou desnitrificação.

Tabela 2 - Carbono potencialmente mineralizável (CPM), nitrogênio potencialmente mineralizável (NPM) e relação C:N da fração potencialmente mineralizável da matéria orgânica do solo nos sistemas plantio direto e convencional, na camada de 0-5cm.

Sistema de manejo	CPM	NPM	Relação C:N
	kg ha ⁻¹		
Plantio direto	351,5 a	72,1 a	4,9 b
Convencional	187,3 b	29,6 b	6,4 a

Valores seguidos por letras distintas diferem entre si, pelo teste F, 5% de probabilidade de erro.

A maior quantidade de carbono potencialmente mineralizável verificada no sistema plantio direto dá suporte a essa idéia. De acordo com FOLLETT & SCHIMEL (1989), o SC apresenta uma menor capacidade de imobilização e conservação de nitrogênio, decorrente de uma quantidade mais limitada de carbono disponível para a microbiota. O nível mais elevado de carbono disponível para a microbiota no SPD possibilitaria uma maior imobilização do nitrogênio, bem como o seu acúmulo gradual em formas orgânicas, aumentando a capacidade de suprimento deste nutriente ao longo do tempo.

Foi verificada ainda uma menor relação entre C e N potencialmente mineralizáveis no sistema plantio direto. Estes resultados indicam a presença de compostos mais humificados – o que é pouco provável – ou o enriquecimento em nitrogênio da matéria orgânica lábil no solo sob plantio direto. KRISTENSEN et al. (2000) encontraram uma relação C:N mais elevada na matéria orgânica total do solo sob plantio direto, atribuindo o fato à presença de compostos em estado menos avançado de humificação. Por outro lado, CALDERÓN et al. (2001) afirmam que compostos com baixa relação C:N podem estar protegidos em agregados no sistema plantio direto, sendo, eventualmente mineralizados. Por sua vez, KANCHIKERIMATH & SINGH (2001) relacionaram a diminuição da relação C:N da fração lábil da matéria orgânica ao aumento da fertilidade do solo. No presente trabalho, as melhorias nas condições químicas do solo sob plantio direto, verificadas ao longo do tempo nesta área experimental (BAYER & MIELNICZUK, 1997), podem ter levado ao enriquecimento em nitrogênio na matéria orgânica potencialmente mineralizável.

Atividade de urease

Foi verificado um efeito dos sistemas de manejo sobre a atividade de urease, o qual foi dependente

da época de avaliação (Tabela 3). A atividade de urease apresentou uma menor oscilação no sistema plantio direto, tendo sido 33mg NH₄⁺ kg⁻¹ h⁻¹ na média das cinco avaliações. A média do sistema convencional não diferiu deste valor. No entanto, a atividade de urease apresentou uma oscilação muito maior neste sistema, variando de 13 a 70mg NH₄⁺kg⁻¹ h⁻¹.

A maior atividade de urease constatada no sistema plantio direto antes da aplicação da primeira dose de uréia poderia ter resultado em maiores perdas de nitrogênio por volatilização quando da aplicação do fertilizante (MALHI et al., 2001). Porém, após essa aplicação, a atividade de urease não diferiu entre os dois sistemas e foi maior no sistema convencional após a aplicação da segunda dose. Em todas estas ocasiões, à exceção do dia da semeadura do milho, a quantidade de nitrogênio mineral no solo foi menor no sistema plantio direto, independentemente da atividade de urease, o que indica que esta pode ter contribuído mais para a mineralização de compostos nitrogenados heterocíclicos (MONREAL et al., 1998) do que para a volatilização de N-NH₃.

A atividade de urease foi maior no sistema plantio direto em duas avaliações. Neste sistema, o aumento da atividade enzimática de um modo geral, e da atividade de urease em particular, tem sido atribuído ao aumento da matéria orgânica do solo ao longo do tempo. A matéria orgânica influencia a atividade enzimática, pois favorece a atividade microbiana e estabiliza enzimas como a urease em complexos com os argilominerais do solo (KLOSE & TABATABAI, 1999). A atividade de urease e o nitrogênio potencialmente mineralizável verificados no sistema plantio direto sugerem que

Tabela 3 - Atividade de urease do solo nos sistemas plantio direto (SPD) e convencional (SC), na camada de 0-5cm.

Dias após a semeadura	Atividade de urease	
	SPD	SC
	mg kg ⁻¹ h ⁻¹ de NH ₄ ⁺	
0	42,00 Aa	13,28 Bb
46	32,55 Aab	25,41 Ab
62	31,10 Bab	70,50 Aa
88	31,59 Aab	23,04 Ab
112	27,09 Ab	13,36 Bb

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si, pelo teste de Duncan, a 5% de probabilidade de erro. Letras maiúsculas comparam sistemas de manejo dentro de cada época, e letras minúsculas comparam épocas dentro de cada sistema de manejo.

a quantidade de nitrogênio mineralizada ao longo do ciclo do milho não foi inferior neste sistema em comparação com o convencional. Neste caso, a menor absorção de nitrogênio pela cultura do milho ao final do seu ciclo e a menor quantidade de nitrogênio mineral no solo não seriam devidas a uma menor atividade microbiana e a uma conseqüente menor quantidade de nitrogênio mineralizada.

Nitrogênio imobilizado pela biomassa microbiana

A quantidade de nitrogênio imobilizado na biomassa microbiana foi afetada significativamente pelos sistemas de manejo (Tabela 4). O nitrogênio microbiano foi maior no sistema plantio direto em todas as avaliações, com exceção da última, realizada 112 dias após a semeadura da cultura do milho.

Na primeira avaliação, o nitrogênio da biomassa microbiana foi maior no sistema plantio direto, coincidindo com a baixa quantidade de nitrogênio mineral no solo. No entanto, a quantidade de nitrogênio mineral foi igualmente baixa no sistema convencional, embora a quantidade de nitrogênio imobilizado na biomassa microbiana tenha sido menor neste sistema. Este resultado sugere que a quantidade de nitrogênio disponível foi limitante para a comunidade microbiana no sistema convencional.

Na segunda avaliação, houve uma relação inversa entre as quantidades de nitrogênio da biomassa microbiana e as de nitrogênio mineral no solo. No sistema plantio direto, foram verificadas uma maior quantidade de nitrogênio na biomassa microbiana e uma menor quantidade

de nitrogênio mineral no solo, ocorrendo o contrário no sistema convencional. Ainda nesta avaliação, observou-se um aumento de nitrogênio na biomassa microbiana, tanto no sistema plantio direto como no sistema convencional, em relação à primeira avaliação, o que explica a baixa disponibilidade de nitrogênio mineral após a aplicação da primeira dose de fertilizante nitrogenado, especialmente no sistema plantio direto. Estes resultados demonstram que os baixos teores de nitrogênio mineral no solo estão associados à imobilização microbiana, decorrente da disponibilidade de resíduos de aveia preta, como sugerido anteriormente. De acordo com WHITE et al. (1988), o processo de imobilização predomina sobre o de mineralização durante a decomposição de resíduos deficientes em nitrogênio, ou seja, aqueles resíduos com a relação C:N maior do que a relação C:N crítica. Tal relação crítica é definida como a relação C:N da biomassa microbiana dividida por sua eficiência de assimilação e, normalmente, situa-se entre 20 e 30 (DOUGLAS JR. et al., 1980). No presente trabalho, os resíduos de aveia preta possuíam uma relação C:N inicial elevada, em torno de 60. Assim, ao utilizar este resíduo como fonte de carbono e de energia, a biomassa microbiana deve ter usado tanto o nitrogênio orgânico presente no resíduo como o nitrogênio mineral presente no solo.

A aplicação da segunda dose de fertilizante nitrogenado não levou a um aumento de imobilização no sistema plantio direto, como na segunda avaliação. Ao contrário, houve uma redução na imobilização, que se refletiu no aumento de nitrogênio mineral no solo. Pode-se afirmar que a disponibilidade de nitrogênio mineral não foi limitante para a microbiota nesta avaliação. A mineralização de carbono e a imobilização de nitrogênio aumentam com a adição de fertilizante nitrogenado apenas até atingir uma taxa máxima (MARY et al., 1996). Quando a quantidade de nitrogênio não limita a degradação do resíduo, a imobilização permanece constante, não havendo um consumo excessivo do nutriente com o aumento da sua disponibilidade. Na terceira avaliação, observou-se ainda um aumento na imobilização no sistema convencional, o qual poderia estar associado ao crescimento das populações já existentes ou a uma mudança na estrutura da comunidade microbiana em função da adubação nitrogenada. Ainda assim, porém, o nitrogênio na biomassa microbiana no sistema convencional foi menor do que no sistema plantio direto.

Tabela 4 - Quantidade de nitrogênio na biomassa microbiana do solo nos sistemas plantio direto (SPD) e convencional (SC), na camada de 0-5cm.

Dias após a semeadura	Nitrogênio da biomassa microbiana	
	SPD	SC
	kg ha ⁻¹	
0	33,51 Abc	14,13 Bc
46	42,12 Aa	21,55 Bb
62	35,75 Ab	24,96 Bab
88	29,45 Ac	15,49 Bc
112	32,61 Abc	28,78 Aa

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si, pelo teste de Duncan, a 5% de probabilidade de erro. Letras maiúsculas comparam sistemas de manejo dentro de cada época, e letras minúsculas comparam épocas dentro de cada sistema de manejo.

Aos 88 dias após a semeadura do milho, houve uma diminuição no nitrogênio da biomassa microbiana, a qual foi mais acentuada no sistema convencional. O decréscimo na quantidade de nitrogênio imobilizado pode estar associado a fatores ambientais, uma vez que foram verificados os menores valores de umidade gravimétrica no solo, nesta avaliação, especialmente no sistema convencional.

A diminuição do nitrogênio na biomassa microbiana aos 88 dias após a semeadura do milho poderia representar a liberação do nitrogênio anteriormente imobilizado, no processo conhecido como remineralização, resultante do esgotamento de fontes de carbono e da morte de parte dos microrganismos pelo ressecamento do solo. No entanto, aos 112 dias, a quantidade de nitrogênio imobilizado tornou a aumentar. Até os 112 dias após a semeadura do milho, uma grande quantidade de nitrogênio permaneceu imobilizada no sistema plantio direto, acompanhada de uma baixa disponibilidade de nitrogênio mineral. Não houve, portanto, uma remineralização considerável, como indicavam os resultados obtidos por BONDE et al. (1988).

No sistema convencional o aumento do nitrogênio na biomassa microbiana não foi acompanhado do decréscimo de nitrogênio mineral. De acordo com APPEL (1998), a remineralização não é o processo predominante após um ciclo de secamento/umedecimento do solo. Segundo este autor, as flutuações na quantidade de nitrogênio imobilizado na biomassa microbiana não são suficientes para explicar a mineralização ao longo do ciclo de uma cultura apenas por meio do decréscimo da quantidade de nitrogênio imobilizado. Assim, a principal fonte de nitrogênio potencialmente mineralizável seria o nitrogênio lábil, excluindo-se a biomassa microbiana. Esta matéria orgânica lábil é mais suscetível ao ataque microbiano após o ciclo de secamento/umedecimento do solo, explicando o aumento simultâneo do nitrogênio na biomassa microbiana e do nitrogênio mineral verificado no solo sob sistema convencional. Mais do que fonte de nitrogênio potencialmente mineralizável, a biomassa microbiana contribuiu para a cultura do milho por meio da mineralização de nitrogênio orgânico do solo, tanto no sistema convencional como no plantio direto.

CONCLUSÕES

A imobilização microbiana do nitrogênio foi maior no sistema plantio direto, levando a uma menor quantidade de nitrogênio mineral no solo. Isto resultou em menor acúmulo de nitrogênio na parte aérea do

milho ao final do seu ciclo neste sistema em comparação com o sistema convencional. A quantidade de nitrogênio imobilizado na biomassa microbiana permaneceu elevada até o final da cultura do milho, indicando que a remineralização contribuiu pouco para a disponibilidade de nitrogênio no solo. A biomassa microbiana atuou mais como agente da mineralização de nitrogênio orgânico do que como fonte de nitrogênio potencialmente mineralizável.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMADO, T.J.C. et al. Leguminosas e adubação mineral como fontes de nitrogênio para o milho em sistemas de preparo de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.24, n.1, p.179-189, 2000.
- APPEL, T. Non-biomass soil organic N – the substrate for N mineralization flushes following soil drying-rewetting and for organic N rendered CaCl₂-extractable upon soil drying. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v.30, p.1445-1456, 1998.
- BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Características químicas do solo afetadas por métodos de preparo e sistemas de cultura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.21, n.1, p.105-112, 1997.
- BONDE, T.A. et al. Microbial biomass as a fraction of potentially mineralizable nitrogen in soils from long-term field experiments. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v.20, n.4, p.447-452, 1988.
- BROOKES, P.C. et al. Chloroform fumigation and the release of soil nitrogen: a rapid direct extraction method to measure soil microbial biomass nitrogen in soil. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v.17, n.6, p.837-842, 1985.
- CALDERÓN, F.J. et al. Short-term dynamics of nitrogen, microbial activity, and phospholipid fatty acids after tillage. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.65, n.1, p.118-126, 2001.
- CERETTA, C.A. et al. Manejo da adubação nitrogenada na sucessão aveia preta/milho, no sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.26, n.1, p.163-171, 2002.
- DICK, P.R. et al. Soil enzyme activities and biodiversity measurements as integrative microbiological indicators. In: DORAN, J.W.; JONES, A.J. **Methods for assessing soil quality**. Wisconsin : SSSA, 1996. Cap.15, p.247-271.
- DORAN, J.W. et al. Soil microbial activity nitrogen cycling, and long-term changes in organic carbon pools as related to fallow tillage management. **Soil Tillage Research**, v.49, n.1, p.3-18, 1998.
- DOUGLAS JR., C.L. et al. Wheat straw composition and placement effects on decomposition in dryland agriculture of the Pacific Northwest. **Soil Science Society of America Journal**, v.44, p.833-837, 1980.

- DRINKWATER, L.E. et al. Potentially mineralizable nitrogen as an indicator of biologically active soil nitrogen. In: DORAN, J.W.; JONES, A.J. **Methods for assessing soil quality**. Wisconsin : SSSA, 1996. Cap.13, p.217-229.
- FOLLETT, R.F.; SCHIMEL, D.S. Effect of tillage practices on microbial biomass dynamics. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.53, n.4, p.1091-1096, 1989.
- KANCHIKERIMATH, M.; SINGH, D. Soil organic matter and biological properties after 26 years of maize-wheat-cowpea cropping as affected by manure and fertilization in a Cambisol in semiarid region of India. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v.86, n.2, p.155-162, 2001.
- KITUR, B.K. et al. Fate of ¹⁵N-depleted ammonium nitrate applied to no-tillage corn. **Agronomy Journal**, Madison v.76, n.2, p.240-242, 1984.
- KLOSE, S.; TABATABAI, M.A. Urease activity of microbial biomass in soils. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v.31, p.205-211, 1999.
- KRISTENSEN, H.L. et al. Effects of soil disturbance on mineralization of organic soil nitrogen. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.64, n.1, p.371-378, 2000.
- MALHI, S.S. et al. Nitrogen fertilization management for no-till cereal production in the Canadian Great Plains: a review. **Soil Tillage Research**, Amsterdam, v.60, n.3-4, p.101-122, 2001.
- MARY, B. et al. Interactions between decomposition of plant residues and nitrogen cycling in soil. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.181, n.1, p.71-82, 1996.
- MENGEL, K. Turnover of nitrogen in soil and its availability to crops. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.181, n.1, p.83-93, 1996.
- MONREAL, C.M. et al. Impact of carbon sequestration on functional indicators of soil quality as influenced by management in sustainable agriculture. In: LAL, R. et al. **Soil processes and the carbon cycle**. Boca Raton : CRC, 1998. Cap.30, p.435-458.
- SALET, R.L. **Dinâmica de íons na solução de um solo submetido ao sistema plantio direto**. 1994. 110f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- SALTON, J.C.; MIELNICZUK, J. Relações entre sistemas de preparo, temperatura e umidade de um podzólico vermelho-escuro de Eldorado do Sul (RS). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.19, n.2, p.313-319, 1995.
- TEDESCO, J.M. et al. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre : Departamento de Solos da UFRGS, 1995. 174p. (Boletim técnico, 5).
- VARGAS, L.K.; SCHOLLES, D. Nitrogênio da biomassa microbiana, em sistemas de manejo do solo, estimado por métodos de fumigação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.22, n.3, p.411-417, 1998.
- WHITE, C.S. et al. Nitrogen mineralization-immobilization response to field N or C perturbations: an evaluation of a theoretical model. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v.20, n.1, p.101-105, 1988.