



**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA**

**DOSES DE NITROGÊNIO E SEU EFEITO NOS
INDICADORES MICROBIOLÓGICOS DE
QUALIDADE DE SOLO NA CULTURA DA CEVADA**

THAIS RODRIGUES COSER

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS

**BRASÍLIA/DF
MARÇO/2006**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA**

**DOSES DE NITROGÊNIO E SEU EFEITO NOS INDICADORES
MICROBIOLÓGICOS DE QUALIDADE DE SOLO NA CULTURA DA CEVADA**

THAIS RODRIGUES COSER

ORIENTADORA: MARIA LUCRÉCIA GEROSA RAMOS

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS

PUBLICAÇÃO: 225/2006

**BRASÍLIA/DF
MARÇO/2006**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA**

**DOSES DE NITROGÊNIO E SEU EFEITO NOS INDICADORES
MICROBIOLÓGICOS DE QUALIDADE DE SOLO NA CULTURA DA CEVADA**

THAIS RODRIGUES COSER

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO SUBMETIDA À FACULDADE DE AGRONOMIA
E MEDICINA VETERINÁRIA DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, COMO PARTE
DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS À OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM
CIÊNCIAS AGRÁRIAS NA ÁREA DE CONCENTRAÇÃO DE DISCIPLINAS DE
GESTÃO DE SOLO E ÁGUA.**

APROVADA POR:

**MARIA LUCRÉCIA GEROSA RAMOS, Ph.D. (UnB – FAV)
(ORIENTADOR) CPF: 002.094.438-12, e-mail: lucrecia@unb.br**

**WALTER QUADROS RIBEIRO JÚNIOR, Ph.D. (Embrapa - Cerrados)
(CO-ORIENTADOR) CPF: 906.075.388-72, e-mail: walter@cpac.embrapa.br**

**JEAN KLEBER DE ABREU MATTOS, DOUTORADO (UnB – FAV)
(EXAMINADOR INTERNO) CPF: 002.288.181-68, e-mail: kleber@unb.br**

**IÊDA DE CARVALHO MENDES, ph.D. (Embrapa – Cerrados)
(EXAMINADOR EXTERNO) CPF: 393.403.761-53, e-mail: mendes@cpac.embrapa.br**

BRASÍLIA/DF, 31 de MARÇO de 2006

FICHA CATALOGRÁFICA

Coser, Thais Rodrigues

Doses de nitrogênio e seu efeito nos indicadores microbiológicos de qualidade de solo na cultura da cevada. / Thais Rodrigues Coser; orientação de Maria Lucrecia Gerosa Ramos. – Brasília, 2006.

81 p. : il.

Dissertação de Mestrado (M) – Universidade de Brasília/Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, 2006.

1. Nitrogênio da biomassa microbiana. 2. Carbono da biomassa microbiana. 3. Quociente metabólico. 4. Respiração basal. 5. Cerrado. 6. Manejo do solo. I. Ramos, R. II. Ph.D.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

COSER, T. R. **Doses de nitrogênio e seu efeito nos indicadores microbiológicos de qualidade de solo na cultura da cevada.** Brasília: Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, 2006, 81 p. Dissertação de Mestrado.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Thais Rodrigues Coser

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO: Doses de nitrogênio e seu efeito nos indicadores microbiológicos de qualidade de solo na cultura da cevada.

GRAU: Mestre ANO: 2006

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva-se a outros direitos de publicação e nenhuma parte desta dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

Thais Rodrigues Coser
CPF: 689.113.001-87
CLN 409, Bloco A, Apartamento 207
70857-510 - Brasília/DF - Brasil
E-mail: thacoser@yahoo.com.br

Dedico aos meus pais Lucimar e Valter, pelo amor de toda uma vida.

AGRADECIMENTOS

À Universidade de Brasília e à Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária (FAV) pela oportunidade.

À Embrapa Cerrados, pela realização do experimento de campo.

À professora Maria Lucrecia G. Ramos pela orientação, confiança e amizade.

Ao pesquisador Walter Quadros R. Júnior, pela orientação e sugestões.

Ao Bruno Tarchetti, pela ajuda indispensável.

Aos professores Wenceslau Goedert, Carlos Spehar, Marilusa Lacerda, Sebastião de Oliveira, Connie McMannus, Carlos Alberto Oliveira, pelos conhecimentos adquiridos.

Aos funcionários Gervaso, Hamilton e Ronaldo da Embrapa Cerrados, pela ajuda nas coletas de solo.

Aos funcionários Netto, Wellington, Márcio, Fernando e Antônio por toda a ajuda nos laboratórios.

Aos amigos Anderson Cordeiro e Fernanda Meneghin pela ajuda e sugestões durante o trabalho.

Ao Adley C. Ziviani e aos alunos da faculdade UPIS.

Aos colegas de mestrado pelo suporte e amizade.

À secretaria da Pós-Graduação da Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária

Ao querido pesquisador Helvécio De-Polli a quem devo grande parte da paixão pela microbiologia dos solos.

Às minhas avós Lucy e Justina pela inspiração.

Ao André (Tonca) pelo amor, companheirismo, paciência e constante ajuda no decorrer deste processo.

Aos meus irmãos Andréa, Larissa, Thiago e Igor, meu cunhado e sobrinhos pelo amor e a felicidade que me proporcionam.

À Dona Dorinha e Sr Adilon pelo acolhimento e amor que sempre me deram.

E a todos aqueles que de alguma forma contribuíram com este trabalho

ÍNDICE

INTRODUÇÃO GERAL.....	1
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	2
O CERRADO.....	2
CARBONO DA BIOMASSA MICROBIANA DO SOLO (C_{BMS}).....	4
NITROGÊNIO DA BIOMASSA MICROBIANA DO SOLO (N_{BMS}).....	7
METODOLOGIA DA FUMIGAÇÃO-EXTRAÇÃO.....	13
OBJETIVOS.....	14
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	15
CAPÍTULO 1.....	20
RESUMO.....	21
ABSTRACT.....	22
INTRODUÇÃO.....	23
MATERIAL E MÉTODOS.....	25
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	27
RESPIRAÇÃO BASAL.....	27
CARBONO DA BIOMASSA MICROBIANA DO SOLO (C_{BMS}).....	31
QUOCIENTE METABÓLICO (qCO_2).....	34
CARBONO ORGÂNICO (C_{ORG}).....	37
RELAÇÃO CARBONO DA BIOMASSA MICROBIANA DO SOLO E CARBONO ORGÂNICO ($C_{BMS}:C_{ORG}$).....	38
pH DO SOLO.....	39
CORRELAÇÕES ENTRE OS PARÂMETROS AVALIADOS.....	40
CONCLUSÕES.....	42
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	43
CAPÍTULO 2.....	54
RESUMO.....	55
ABSTRACT.....	56
INTRODUÇÃO.....	57
MATERIAL E MÉTODOS.....	59
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	61
NITROGÊNIO DA BIOMASSA MICROBIANA DO SOLO (N_{BMS}).....	61
NITROGÊNIO TOTAL (N_{TOTAL}).....	64
RELAÇÃO NITROGÊNIO DA BIOMASSA MICROBIANA E NITROGÊNIO TOTAL DO SOLO ($N_{BMS}:N_{TOTAL}$).....	65
pH DO SOLO.....	66
CORRELAÇÕES ENTRE OS PARÂMETROS AVALIADOS.....	67
CONCLUSÕES.....	69
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	70
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	80
ANEXOS.....	81

ÍNDICE DE TABELAS E FIGURAS

Tabela 1.01: Respiração basal do solo (mg C-CO ₂ /Kg solo/dia) em solo cultivado com cevada e submetido a diferentes doses de N, em quatro profundidades, no perfilhamento.....	47
Tabela 1.02: Respiração basal do solo (mg C-CO ₂ /Kg solo/dia) em solo cultivado com cevada e submetido a diferentes doses de N, em quatro profundidades, na floração.....	47
Tabela 1.03: Respiração basal do solo (mg C-CO ₂ /Kg solo/dia) em solo cultivado com cevada e submetido a diferentes doses de N, em quatro profundidades, logo após a colheita.....	47
Tabela 1.04: Carbono da biomassa microbiana do solo (mg C. Kg ⁻¹ de solo) em solo cultivado com cevada e submetido a diferentes doses de N, em quatro profundidades, no perfilhamento.....	48
Tabela 1.05: Carbono da biomassa microbiana do solo (mg C. Kg ⁻¹ de solo) em solo cultivado com cevada e submetido a diferentes doses de N, em quatro profundidades, na floração.....	48
Tabela 1.06: Carbono da biomassa microbiana do solo (mg C. Kg ⁻¹ de solo) em solo cultivado com cevada e submetido a diferentes doses de N, em quatro profundidades, logo após a colheita.....	48
Tabela 1.07: Quociente metabólico (mg C/Kg solo/dia) em solo cultivado com cevada e submetido a diferentes doses de N, em quatro profundidades, no perfilhamento.....	49
Tabela 1.08: Quociente metabólico (mg C/Kg solo/dia) em solo cultivado com cevada e submetido a diferentes doses de N, em quatro profundidades, na floração.....	49
Tabela 1.09: Quociente metabólico (mg C/Kg solo/dia) em solo cultivado com cevada e submetido a diferentes doses de N, em quatro profundidades, logo após a colheita.....	49
Tabela 1.10: Carbono orgânico (g/Kg solo) em solo cultivado com cevada e submetido a diferentes doses de N, em quatro profundidades, no perfilhamento.....	50
Tabela 1.11: Carbono orgânico (g/Kg solo) em solo cultivado com cevada e submetido a diferentes doses de N, em quatro profundidades, na floração.....	50
Tabela 1.12: Carbono orgânico (g/Kg solo) em solo cultivado com cevada e submetido a diferentes doses de N, em quatro profundidades, logo após a colheita.....	50
Tabela 1.13: C _{BMS} :C _{ORG} (%) em solo cultivado com cevada e submetido a diferentes doses de N, em quatro profundidades, no perfilhamento.....	51
Tabela 1.14: C _{BMS} :C _{ORG} (%) em solo cultivado com cevada e submetido a diferentes doses de N, em quatro profundidades, na floração.....	51

Tabela 1.15:	$C_{BMS}:C_{ORG}$ (%) em solo cultivado com cevada e submetido a diferentes doses de N, em quatro profundidades, logo após a colheita.....	51
Tabela 1.16:	pH do solo em solo cultivado com cevada e submetido a diferentes doses de N, em quatro profundidades, no perfilhamento.....	52
Tabela 1.17:	pH do solo em solo cultivado com cevada e submetido a diferentes doses de N, em quatro profundidades, na floração.....	52
Tabela 1.18:	pH do solo em solo cultivado com cevada e submetido a diferentes doses de N, em quatro profundidades, logo após a colheita.....	52
Tabela 1.19:	Coefficiente de Correlação Linear de Pearson entre carbono da biomassa microbiana (C_{BMS}), carbono orgânico (C_{ORG}), relação C_{BMS} e C_{ORG} , quociente metabólico (qCO_2), respiração basal (RB) e pH nas diferentes dose de nitrogênio em Kg N/ha, considerando todas as épocas e profundidades.....	53
Tabela 2.01:	Nitrogênio da biomassa microbiana (mg N. Kg ⁻¹ de solo) em solo cultivado com cevada e submetido a diferentes doses de N, em quatro profundidades, no perfilhamento.....	73
Tabela 2.02:	Nitrogênio da biomassa microbiana (mg N. Kg ⁻¹ de solo) em solo cultivado com cevada e submetido a diferentes doses de N, em quatro profundidades, na floração.....	73
Tabela 2.03:	Nitrogênio da biomassa microbiana (mg N. Kg ⁻¹ de solo) em solo cultivado com cevada e submetido a diferentes doses de N, em quatro profundidades, logo após a colheita.....	73
Tabela 2.04:	Nitrogênio Total (g N. Kg ⁻¹ de solo) em solo cultivado com cevada e submetido a diferentes doses de N, em quatro profundidades, no perfilhamento.....	74
Tabela 2.05:	Nitrogênio Total (g N. Kg ⁻¹ de solo) em solo cultivado com cevada e submetido a diferentes doses de N, em quatro profundidades, na floração.....	74
Tabela 2.06:	Nitrogênio Total (g N. Kg ⁻¹ de solo) em solo cultivado com cevada e submetido a diferentes doses de N, em quatro profundidades, logo após a colheita.....	74
Tabela 2.07:	$N_{BMS}:N_{total}$ (%) em solo cultivado com cevada e submetido a diferentes doses de N, em quatro profundidades, no perfilhamento.....	75
Tabela 2.08:	$N_{BMS}:N_{total}$ (%) em solo cultivado com cevada e submetido a diferentes doses de N, em quatro profundidades, na floração.....	75
Tabela 2.09:	$N_{BMS}:N_{total}$ (%) em solo cultivado com cevada e submetido a diferentes doses de N, em quatro profundidades, logo após a colheita.....	75
Tabela 2.10:	pH do solo em solo cultivado com cevada e submetido a diferentes doses de N, em quatro profundidades, no perfilhamento.....	76
Tabela 2.11:	pH do solo em solo cultivado com cevada e submetido a diferentes doses de N, em quatro profundidades, na floração.....	76

Tabela 2.12:	pH do solo em solo cultivado com cevada e submetido a diferentes doses de N, em quatro profundidades, logo após a colheita.....	76
Tabela 2.13:	Coefficiente de correlação linear de Pearson entre nitrogênio da biomassa microbiana do solo (N_{BMS}), nitrogênio total (N_{TOTAL}), relação N_{BMS} e N_{TOTAL} e pH nas diferentes dose de nitrogênio em Kg N/ha, considerando todas as épocas e profundidades.....	77
Tabela 2.14:	Nitrogênio da folha bandeira da cevada ($g\ N.\ Kg^{-1}$) em solo cultivado com cevada e submetido a diferentes doses de N, coletadas na fase de perfilhamento da cevada.....	77
Figura 1:	Efeito do pH no N_{BMS} para a dose de 90 Kg N/ha.....	78
Figura 2:	Efeito do pH no N_{BMS} para a dose de 120 Kg N/ha.....	78

DOSES DE NITROGÊNIO E SEU EFEITO NOS INDICADORES MICROBIOLÓGICOS DE QUALIDADE DE SOLO NA CULTURA DA CEVADA

RESUMO GERAL

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito de doses de nitrogênio mineral, no nitrogênio (N_{BMS}) e carbono (C_{BMS}) da biomassa microbiana do solo em diferentes profundidades, em um Latossolo Vermelho Amarelo cultivado com cevada. O experimento foi instalado em junho de 2004, em área experimental da Embrapa Cerrados no Distrito Federal, a qual foi anteriormente cultivada com milho por três anos e posteriormente com soja por duas safras. Estabeleceu-se, pela primeira vez neste estudo, o sistema de plantio direto, empreendendo os seguintes tratamentos: quatro doses de nitrogênio (30, 60, 90 e 120 Kg N/ha) e o controle sem adubação nitrogenada. As amostras de solo foram coletadas em quatro profundidades: 0-5, 5-10, 10-20 e 20-30 cm e em três épocas: perfilhamento, floração e logo após a colheita. O C_{BMS} foi avaliado pelo método da fumigação-extração. Em geral, o C_{BMS} diminuiu com a profundidade, com exceção do tratamento sem adubação nitrogenada. Em doses mais elevadas, em geral, houve diminuição do C_{BMS} e da razão $C_{BMS}:C_{ORG}$ com a aplicação de nitrogênio, principalmente nas camadas mais profundas do solo. Em geral, a adubação nitrogenada aumentou o qCO_2 e a atividade respiratória microbiana, principalmente nas doses entre 60 e 90 Kg N/ha. Correlações negativas entre a razão $C_{BMS}:C_{ORG}$, e o pH do solo foram observadas apenas na dose de 120 Kg N/ha. O N_{BMS} e a razão $N_{BMS}:N_{TOTAL}$ diminuíram com a profundidade. Em geral, doses mais elevadas de nitrogênio não aumentaram o N_{BMS} . O N_{TOTAL} não foi alterado nas diferentes doses de nitrogênio, mas diminuiu com a profundidade. Houve correlação negativa entre o N_{BMS} e o pH do solo em todas as doses de nitrogênio, com exceção da dose zero. Houve também, correlação positiva entre a razão $N_{BMS}:N_{TOTAL}$ e o N_{BMS} , porém não entre a razão $N_{BMS}:N_{TOTAL}$ e o N_{TOTAL} .

Palavras chave: carbono da biomassa microbiana, nitrogênio da biomassa microbiana.

NITROGEN DOSES AND ITS EFFECT ON MICROBIAL SOIL QUALITY INDICATORS OF BARLEY CROP

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the effect of different nitrogen doses and soil depths on microbial biomass carbon and nitrogen in a sandy textured Oxisol, cultivated with barley. The experiment was installed in June, 2004, in an area located at Embrapa Cerrados, Federal District, which had been cultivated with millet for three years and subsequently with soya beans for two seasons. A first year no-till system was established in this experiment. The treatments were four doses of nitrogen (30, 60, 90 e 120 Kg N/ha) and a control without it. Soil samples were collected in four depths: 0-5, 5-10, 10-20 e 20-30 cm, with three replicates and in three sampling periods: tillering, flowering and right after the harvest. The C_{SMB} was analyzed through the fumigation-extraction method. As a whole, the C_{SMB} decreased with depth, except for the treatment where nitrogen was not added. The C_{SMB} and $C_{SMB}:C_{ORG}$ decreased with higher doses of nitrogen, especially in the deeper layers of the soil. Nitrogen fertilization increased the metabolic quotient and microbial activity, especially in the doses of 60 e 90 Kg N/ha. For the treatment of 120 Kg N/ha, there was negative correlations between the $C_{SMB}:C_{ORG}$ and soil pH. The N_{SMB} and $N_{SMB}:N_{TOTAL}$ decreased with depth. As a whole, higher doses of nitrogen didn't increase the N_{SMB} . The N_{TOTAL} wasn't altered with the application of nitrogen, but it decreased with depth. There were negative correlations between the N_{SMB} and soil pH for all the doses, with an exception for the treatment without nitrogen. There were also positive correlations between the $N_{SMB}:N_{TOTAL}$ and N_{SMB} , but not between $N_{SMB}:N_{TOTAL}$ and N_{TOTAL} .

Key words: microbial biomass carbon, microbial biomass nitrogen.

INTRODUÇÃO GERAL

Apesar de representar uma baixa percentagem do carbono orgânico (2 a 5%) e do nitrogênio total (1 a 5%) do solo, a biomassa microbiana do solo (BMS) que corresponde à parte viva e ativa da matéria orgânica, é uma indicadora sensível das mudanças no solo (Moreira & Siqueira, 2002; Smith & Paul, 1990) por ser a principal responsável pela transformação da matéria orgânica, pela ciclagem de nutrientes e pelo fluxo de energia no solo (Wardle, 1992; Jenkinson & Ladd, 1981). A BMS funciona como um reservatório lábil de carbono e de nutrientes importantes para a produção vegetal (Joergensen and Scheu, 1999; Thirukkumaran and Parkinson, 2000), como o nitrogênio, o fósforo e enxofre, pois os utiliza para o seu crescimento e metabolismo, podendo, assim, imobilizar 100 Kg de nitrogênio e 80 kg de fósforo por hectare (Anderson & Domsch, 1980).

Fatores que afetam a densidade e a atividade de microorganismos nos solos, como por exemplo, o pH e a disponibilidade de nitrogênio e carbono, influenciam na decomposição da matéria orgânica e na conseqüente assimilação do carbono e nitrogênio, diminuindo ou aumentando, a quantidade e a atividade da BMS, assim como a disponibilidade dos nutrientes às plantas.

O nitrogênio, nutriente mais demandado pelas plantas (principalmente gramíneas), encontra-se em quantidades mínimas nas formas minerais no solo (NH_4^+ e NO_3^-), pois 98 % do nitrogênio encontra-se complexado na forma orgânica, e ao contrário dos outros nutrientes, não é liberado pelo intemperismo de minerais nos solos (Schulten & Schnitzer, 1998). As transformações do nitrogênio orgânico em inorgânico são bem complexas e influenciadas por fatores ambientais do solo, como a acidez, aeração, umidade, temperatura, teor de nutrientes e a mineralogia do solo. A deficiência de nitrogênio na forma mineral, somada à sua dinâmica complexa no solo que resulta em perdas consideráveis de nitrogênio por nitrificação e volatilização, faz com que seja um dos nutrientes que mais limita a produção da maioria das

culturas (Camargo, 1996). Por isso, adições de fertilizantes nitrogenados no solo são utilizadas para suprimento de nitrogênio às culturas.

Sabe-se que apenas entre 40 a 60 % do nitrogênio aplicado na forma de fertilizantes é absorvido pelas plantas e 20-50 % é incorporado ao solo como nitrogênio orgânico (Furtini Neto et al., 2001). Porém, pouco se sabe sobre o efeito causado pelas aplicações de fertilizantes nitrogenados na biomassa microbiana do solo, principalmente em ecossistemas tropicais, e em solos sob cerrado. Segundo Jenkinson e Ladd (1981), a biomassa microbiana é a fonte principal de nutrientes no solo, sendo uma das maneiras de conservar o fertilizante nitrogenado no sistema solo-planta e imobilizá-lo por um determinado período.

O crescimento microbiano é limitado, muitas vezes, pela escassez de nutrientes encontrados no solo, mas a adição de fontes de carbono ou nitrogênio ao solo pode aumentar a biomassa e com isso imobilizá-los na sua constituição celular (Peacock et al., 2001; Raiesi, 2004; Graham et al., 2002; Vance & Chapin III, 2001). A adição de nitrogênio ao solo tem mostrado efeito neutro (Moore et al., 2000; Hatch et al., 2000; Tiquia et al., 2002; Kautz, et al., 2004), de aumento (Raiesi, 2004; 2001; Zaman et al., 2002; Peacock et al., 2001; Silvan et al., 2003; Graham et al., 2002) e de diminuição (Fisk & Fahey, 2001; Cerny et al., 2003; Lovell & Jarvis, 1998) no nitrogênio e carbono da biomassa microbiana do solo.

Este trabalho teve como objetivo avaliar o efeito de doses de nitrogênio e diferentes profundidades, no carbono e nitrogênio da biomassa microbiana do solo para a cultura da cevada, no cerrado.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O CERRADO

O cerrado representa o segundo maior bioma do Brasil e ocupa cerca de duzentos milhões de hectares, distribuídos, principalmente, pelo Planalto Central Brasileiro, nos

Estados de Goiás, Tocantins, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, parte de Minas Gerais, Bahia e Distrito Federal. O cerrado, também chamado de savana brasileira, é visto como a savana mais diversificada do mundo possuindo cerca de 30% da biodiversidade nacional e 5% da flora e fauna mundiais, além de ser um grande abastecedor de nascentes que dão origem a grandes bacias hidrográficas brasileiras – Amazonas, Tocantins, Paraná, Paraguai, São Francisco e Parnaíba (IBAMA, 2000). A partir da década de 60 a ocupação do cerrado se intensificou principalmente devido à transferência da capital do Brasil para o Planalto Central e à inovação tecnológica conjugada com políticas agrícolas. Desde então, a região tem enfrentado modificações profundas na sua estrutura e funcionamento devido à intensa urbanização e exploração agropecuária. Hoje apenas 7% do cerrado permanece inalterado e os outros 93% foram submetidos a algum tipo de ação antrópica como, por exemplo, o uso do solo em diversas maneiras: produção de alimentos, fibras e madeiras, para finalidades urbanas e industriais e para transportes rodoviários entre outras (IBAMA, 2000). Com isso, em face de certas peculiaridades da zona ecológica dos cerrados, percebe-se que o conhecimento e a conscientização a respeito dos problemas ambientais do cerrado devem ser cada vez mais demandados para a adoção de tecnologias adequadas, tanto para a produção econômica como para as atividades ligadas à conservação e à preservação, sejam elas econômicas, científicas ou ambientais (Rocha, 1997).

O clima tropical estacional do cerrado (chamado de bimodal) apresenta chuvas que oscilam entre 1200 a 1800mm o qual se caracteriza por uma época de déficit hídrico durante 5 a 6 meses que coincide com a época mais fria do ano. Os solos do cerrado abrangem várias classes, dos quais 89% são distróficos, apresentam baixa fertilidade natural, elevada acidez (pH entre 4,0 a 5,5) e altos teores de alumínio (Adámoli et al, 1987).

As classes de solos de ocorrência mais comum no cerrado são os latossolos (45,7%), os neossolos quartzarênicos (15,2%), argissolos (15,1%), plintossolos (9,0%), gleissolos

(2,5%), neossolos litólicos (7,3%), cambissolos (3,1%) e nitossolo vermelho (1,7%) (Correia et al, 2004). Os latossolos, que cobrem a maioria da região têm um relevo de plano a suave ondulado e declividade menor que 7%. Estes são solos intemperizados e, portanto, bastante profundos, que possuem boas condições físicas devido ao enriquecimento por óxidos de ferro e alumínio, que dão ao solo um aspecto maciço e poroso (Correia et al, 2004; Resende et al, 1995), facilitando a mecanização. Entretanto, sua estrutura forte, muito pequena e granular favorece a erosão e facilita o encrostamento, pois acredita-se que sua argila comporta-se como silte daí a necessidade de mantê-los sempre cobertos (Resende et al, 1995), o qual é possível por meio da adoção do sistema de plantio direto. Estes solos são ácidos, pobres em nutrientes e com elevada saturação de alumínio, devido ao seu material de origem, à intemperização dos minerais primários e à sua fração argilosa (sesquióxidos e argila do tipo 1:1), que apresenta baixa atividade (Resende et al, 1995). Portanto, em solos como os latossolos, onde predominam argilas de baixa atividade, com suscetibilidade ao encrostamento e erosão, os sistemas de manejo que visam a manutenção da matéria orgânica do solo e a racionalização do uso de fertilizantes devem ser encorajados e pesquisados para promover a melhoria ou a manutenção de suas propriedades físicas, químicas e biológicas.

CARBONO DA BIOMASSA MICROBIANA DO SOLO (C_{BMS})

A biomassa microbiana do solo (BMS) corresponde à parte viva e ativa da matéria orgânica do solo, que é composta por organismos menores que $5.10^{-3} \mu\text{m}^3$, ou seja, bactérias, actinomicetos, fungos, protozoários, algas e microfauna (Moreira & Siqueira, 2002). Apesar de representar uma baixa percentagem do carbono orgânico (2 a 5%) e do nitrogênio total (1 a 5%) do solo, esta é uma indicadora sensível das mudanças neste ecossistema (Moreira & Siqueira, 2002; Smith & Paul, 1990) por ser a principal responsável pela transformação da matéria orgânica, pela ciclagem de nutrientes e pelo fluxo de energia no solo (Jenkinson & Ladd, 1981). A biomassa microbiana oxida materiais carbonáceos que resultam em matéria

orgânica estabilizada, mineraliza (libera) nutrientes para o sistema solo-planta-atmosfera e armazena carbono e elementos minerais na sua constituição (Anderson & Domsch, 1980). A BMS funciona, portanto, como um considerável reservatório lábil de carbono e de nutrientes, como o nitrogênio, o fósforo e enxofre, pois os utiliza para o seu crescimento e metabolismo, podendo, assim, imobilizar valores superiores a 100 e 80 Kg de nitrogênio e fósforo por hectare, respectivamente (Anderson & Domsch, 1980).

O carbono da biomassa microbiana do solo (C_{BMS}) representa a quantidade de carbono que a biomassa microbiana do solo imobilizou nas suas células. Fatores que afetam a densidade e a atividade destes microorganismos nos solos, como por exemplo, o pH e a disponibilidade de nitrogênio e carbono, influenciam na decomposição da matéria orgânica e na conseqüente assimilação do carbono, diminuindo ou aumentando assim, a quantidade e a atividade da BMS. Esta é a principal responsável pela decomposição da matéria orgânica no solo, devido a mudanças na sua qualidade e quantidade e pode ser considerada como um indicador sensível às mudanças da matéria orgânica no solo (Tótola & Chaer, 2002).

Por meio da avaliação da biomassa microbiana do solo, é possível realizar comparações entre solos e mudanças de manejo, avaliando assim, os impactos ambientais causados (Insam, 2001). Um maior acúmulo de biomassa microbiana ocorre em solos sob cultivo mínimo, com vegetação e teores mais elevados de argila, e menor acúmulo em solos mais arenosos, degradados pela erosão ou por contaminação com substâncias orgânicas tóxicas ou metais pesados (Moreira & Siqueira, 2002). Sistemas de manejo que visam a manutenção da matéria orgânica e a ausência de revolvimento no solo, como o plantio direto, podem aumentar em 85% a BMS em camadas superficiais (0-5cm), em comparação com sistemas convencionais (Balota et al., 2004; Perez et al., 2004). Este aumento pode estar associado a um maior acúmulo de matéria orgânica na superfície do solo, que favorece temperaturas menores, maior acúmulo de água, maior agregação do solo e teores elevados de

carbono orgânico, propiciando um ambiente mais favorável para o crescimento de microorganismos (Balota et al., 2004). Comparações feitas entre sistemas agrícolas e áreas de vegetação nativa em Latossolos Vermelho-Amarelo, mostraram aumentos de 50 a 70% de C_{BMS} para o último (Matsuoka et al., 2003; Perez et al., 2004). Foram encontrados ainda, valores entre 60,5 e 124 mg C Kg⁻¹ de solo para culturas perenes e entre 16,6 e 96,8 mg C Kg⁻¹ para culturas anuais (Matsuoka et al., 2003).

A adição de nitrogênio ao solo tem mostrado efeito neutro (Kautz, et al., 2004; Zaman et al., 2002; Chu et al., 2005; Moore et al., 2000; Lovell & Hatch, 1998), de aumento (Raiesi, 2004; Kanchikerimath & Singh, 2001; Graham et al., 2002) e de inibição (Fisk, et al., 2001; Lovell & Jarvis, 1998; Soderstrom et al., 1983) do C_{BMS} , em sistemas agrícolas e florestais. Resultados de pesquisas sobre o efeito do nitrogênio no solo mostram aumentos do C_{BMS} apenas com adição conjunta de algum substrato orgânico (Sampaio et al., 1982). Portanto, novamente, a adoção do plantio direto favorece o aumento do C_{BMS} quando o nitrogênio é aplicado no solo. Outros trabalhos mostram uma associação entre o aumento do carbono da biomassa microbiana com uma maior fertilidade causada pela adição de nitrogênio e a subsequente deposição dos restos vegetais ao solo (Goyal, et al., 1999, Lovell, et al., 1995). Também, foi observado o efeito do nitrogênio no C_{BMS} nas diferentes camadas do solo (Compton et al., 2004).

Mudanças no manejo que afetam a qualidade e decomposição da matéria orgânica do solo são mais sensíveis de serem observadas quando analisadas a partir do C_{BMS} , pois, a BMS responde de forma mais rápida às alterações benéficas ou adversas do que a própria matéria orgânica (Anderson & Domsch, 1989). A relação entre o C_{BMS} e o carbono orgânico (C_{ORG}) fornece uma medida da qualidade da matéria orgânica (Wardle, 1994), e alta relação $C_{BMS}:C_{ORG}$ é associada a uma matéria orgânica de boa qualidade (Wardle 1992). Segundo

Sparling (1992), variações dessa relação, fornece dados sobre a eficiência da conversão do C_{ORG} em C_{BMS} , estabilização do C_{ORG} na fração mineral do solo e as suas perdas.

A respiração microbiana reflete a atividade microbiológica do solo, e é medida através da quantificação de CO_2 liberado e/ou de O_2 absorvido, resultante da atividade dos microorganismos. A quantificação do CO_2 é comumente utilizada devido à sua menor concentração na atmosfera (0,035%) em relação ao O_2 (20%) (Paul & Clark, 1989), e também por refletir a atividade tanto de microorganismos aeróbios quanto anaeróbios (Gama-Rodrigues, 1999).

Quando a respiração microbiana é relacionada com o carbono da biomassa microbiana, é possível determinar o quociente metabólico (qCO_2), o qual possibilita quantificar de forma mais clara e com menor variabilidade a atividade microbiana (Aquino et al., 2005), além de caracterizar os efeitos na atividade biológica decorrente de atividade antrópica, como o empobrecimento dos solos causado pelo revolvimento e a adição de fertilizantes nitrogenados. O quociente metabólico indica alta atividade específica por unidade de biomassa quando seu valor for baixo. Valores altos de qCO_2 mostram que a eficiência da atividade microbiana do solo está baixa e que os microorganismos do solo estão sob estresse ambiental (Wardle et al, 1995), pois uma biomassa microbiana eficiente libera menos carbono em forma de CO_2 pela respiração, mas incorpora carbono em sua constituição aumentando assim a sua massa microbiana (Aquino et al., 2005). Isto pode refletir, também, variações na proporção de BMS metabolicamente ativa e em crescimento e quanto maior essa proporção de BMS ativa, maior será o quociente metabólico (Fisk & Fahey, 2001).

NITROGÊNIO DA BIOMASSA MICROBIANA DO SOLO (N_{BMS})

O nitrogênio é o nutriente mais demandado pela planta e o quarto elemento mais comum na sua composição, perdendo apenas para o carbono, hidrogênio e oxigênio (Paul & Clark, 1989). Porém, o nitrogênio é, também, o único entre os nutrientes essenciais ao

crescimento das plantas, que não é liberado pelo intemperismo de minerais nos solos e, portanto, uma quantidade mínima deste é encontrada na forma mineral (N-NH₄ e N-NO₃), sendo que esta é a forma assimilada pelas culturas (Schulten & Schnitzer, 1998). Assim, o nitrogênio disponível no solo encontra-se quase que totalmente complexado na forma orgânica (98%), dependendo dos microorganismos presentes no solo para a sua transformação e, conseqüente, absorção pelas plantas. A deficiência do nitrogênio no solo, somada à grande demanda pelas plantas, faz com que seja um dos nutrientes que mais limita a produção da maioria das culturas (Camargo, 1996).

Na atmosfera, o nitrogênio representa em média 78 % da sua constituição, o qual encontra-se em forma molecular (N₂) altamente estável, passível de assimilação apenas por alguns microorganismos, não sendo diretamente absorvido pelas plantas. Assim sendo, essa fonte de nitrogênio para ser utilizada pelas plantas, precisa ser transformada em formas orgânicas ou inorgânicas. A concentração de nitrogênio na biosfera varia entre 2,8 a 6,5. 10²¹ g, sendo que do total de nitrogênio orgânico terrestre, 98 % e 4 % representam a matéria orgânica morta e os organismos vivos respectivamente (Moreira & Siqueira, 2002). Dessa matéria viva, 94 % do nitrogênio pertencem às plantas, 4 % à microbiota e 2% aos animais (Moreira & Siqueira, 2002). As proteínas, os ácidos nucléicos e outros constituintes da membrana celular dos microorganismos são as formas principais de nitrogênio encontrado no solo (Paul & Clark, 1989).

Apesar de representar uma baixa percentagem de nitrogênio total (1 a 5%) do solo, a biomassa microbiana do solo (BMS), que corresponde à parte viva e ativa da matéria orgânica, é uma indicadora sensível das mudanças no solo (Moreira & Siqueira, 2002; Smith & Paul, 1990), porque é a principal responsável pelas transformações da matéria orgânica, pela ciclagem de nutrientes e pelo fluxo de energia no solo (Wardle, 1992; Jenkinson & Ladd, 1981). A BMS funciona como um reservatório lábil de carbono e de nutrientes importantes

para a produção vegetal (Joergensen and Scheu, 1999; Thirukkumaran and Parkinson, 2000), como o nitrogênio, o fósforo e enxofre, pois os utiliza para o seu crescimento e metabolismo, podendo, assim, imobilizar 100 Kg de nitrogênio e 80 kg de fósforo por hectare (Anderson & Domsch, 1980). Portanto, o nitrogênio da biomassa microbiana do solo (N_{BMS}) representa a quantidade de nitrogênio que foi imobilizado nas células da biomassa microbiana do solo. Na medida em que a atividade microbiana torna-se mais elevada e a relação C:N dos resíduos vegetais encontrados no solo é também alta (C:N > 30), a imobilização do nitrogênio aumenta e a sua degradação no solo diminui (Paul & Clark, 1989) podendo causar deficiência de nitrogênio às plantas. Este processo fica mais acentuado no sistema de plantio direto, devido à ocorrência de maior biomassa microbiana no solo (Siqueira & Moreira, 2002). Espera-se, então, que quando se adiciona o nitrogênio em resíduos com alta relação C:N, a taxa de degradação destes aumentaria e, conseqüentemente, a imobilização seria menor e a mineralização maior.

A mineralização ou liberação de nutrientes pela microbiota do solo no sistema solo-planta-atmosfera, é também influenciada pela relação C:N dos resíduos vegetais. Quando estes apresentam uma relação C:N menor que 25, ocorrerá uma maior mineralização, pois os microorganismos utilizam o nitrogênio do resíduo. A mineralização de nitrogênio orgânico baseia-se na transformação de proteínas, aminoácidos e ácidos nucléicos em amônio (NH_4^+), uma forma mineral assimilada pelas plantas (Paul & Clark, 1989). Esta forma mineral pode sofrer vários processos bioquímicos e ser perdida no sistema. Estas perdas decorrem da conversão do NH_4^+ em amônia (NH_3), NH_4^+ em NO_2^- e NO_3^- , e do conseqüente processo de desnitrificação (N_2O). A oxidação do amônio (NH_4^+) em nitrito (NO_2^-) e/ou nitrato (NO_3^-), é feita por bactérias autotróficas do gênero *Nitrossomonas* e *Nitrobacter*; o nitrito e nitrato são íons muito móveis no solo e por isso são facilmente perdidos por lixiviação. O nitrito pode ainda ser reduzido a nitrogênio molecular (N_2) e a óxido nitroso (N_2O). Este óxido é

responsável, em parte, pelo efeito estufa. Os microorganismos heterotróficos são os principais responsáveis por estas transformações de mineralização, imobilização e desnitrificação do nitrogênio no solo. São, dessa forma, influenciáveis por fatores que afetam a sua densidade e atividade microbiana, como por exemplo, o pH, a disponibilidade de nitrogênio e carbono e a aeração do solo. Estes fatores podem, portanto, influenciar o processo de mineralização e a conseqüente perda de nitrogênio no solo, levando a uma diminuição ou aumento da quantidade e atividade da BMS. Entre as perdas totais de nitrogênio no solo, 43 % são provenientes da desnitrificação e 29 % são perdidas por meio da lixiviação de nitrato, que é ainda mais acentuado quando a precipitação ou umidade do solo é alta (Moreira & Siqueira, 2002). O nitrogênio (NH_4^+) pode ainda ser adsorvido nos minerais de argila, se condensar com a matéria orgânica – húmus - e formar complexos de quinonas- NH_2 , processos estes que indisponibilizam o nitrogênio para o consumo dos microorganismos (Nohrstedt et al., 1989; Paul & Clark, 1989). Se fosse possível estimular a redução do nitrato para amônia e sua incorporação na matéria orgânica do solo, perdas de nitrogênio resultantes da lixiviação ou desnitrificação poderiam ser evitadas (Schulten & Schnitzer, 1998).

Diferenciações entre os grupos funcionais microbianos, no que diz respeito ao requerimento de nitrogênio, podem determinar a maior ou menor mineralização e/ou imobilização deste no solo. As bactérias apresentam concentrações mais altas de nitrogênio na sua constituição (11%) do que os fungos (3%) e, portanto podem imobilizar mais nitrogênio que estes (Paul & Clark, 1989). As bactérias representam, juntamente com seus predadores, as amebas, os principais responsáveis pela mineralização do nitrogênio no solo (Perez et al., 2004). As bactérias representam entre 25 a 30% e os fungos entre 70 a 80 % da biomassa microbiana da maioria dos solos (Siqueira & Franco, 1988). Os fungos são organismos acidófilos, ou seja, seu crescimento é mais pronunciado em solos mais ácidos, enquanto que as bactérias, preferem solos mais neutros (Siqueira & Franco, 1988). Assim, a imobilização

e/ou nitrificação vai depender, também, da quantidade de biomassa microbiana fisiologicamente ativa no solo (Fisk & Fahey, 2001).

Estima-se que os solos podem conter até 6000 Kg N ha⁻¹ em formas orgânicas combinadas, porém apenas 0,1 % deste nitrogênio encontra-se disponível na forma inorgânica (NH₄⁺ e NO₃⁻) para a assimilação pelas plantas (Siqueira & Moreira, 2002). As transformações do nitrogênio orgânico em inorgânico, citadas anteriormente, são bem complexas e influenciadas por fatores ambientais do solo, como a acidez, aeração, umidade, temperatura, teor de nutrientes e a mineralogia do solo. Por isso, adições de fertilizantes nitrogenados no solo são, portanto, utilizadas para suprimento de nitrogênio às culturas.

Sabe-se que apenas entre 40 a 60 % do nitrogênio aplicado na forma de fertilizantes é absorvido pelas plantas e 20-50 % é incorporado ao solo como nitrogênio orgânico (Furtini Neto et al., 2001). Porém, pouco se sabe sobre o efeito causado pelas aplicações de fertilizantes nitrogenados na biomassa microbiana do solo, principalmente em ecossistemas tropicais, e em solos sob cerrado. Segundo Jenkinson e Ladd (1981), a biomassa microbiana é a fonte principal de disponibilidade de nutrientes, sendo uma das maneiras de conservar o fertilizante nitrogenado no sistema solo-planta e imobilizá-lo por um determinado período.

O crescimento microbiano é limitado, muitas vezes, pela escassez de nutrientes encontrados no solo, mas a adição de fontes de carbono ou nitrogênio ao solo pode aumentar a biomassa e com isso imobilizá-los na sua constituição celular (Peacock et al., 2001; Raiesi, 2004; Graham et al., 2002; Vance & Chapin III, 2001). Por sua vez, a adição de nitrogênio ao solo tem mostrado efeito neutro (Moore et al., 2000; Hatch et al., 2000; Tiquia et al., 2002), de aumento (McCarty et al., 1995; Vance & Chapin III, 2001; Zaman et al., 2002; Peacock et al., 2001; Silvan et al., 2003; Ledgard et al., 1998) e de diminuição (Fisk & Fahey, 2001; Cerny et al., 2003; Lovell et al., 1995) do N_{BMS}, em sistemas agrícolas e florestais. Estudos têm mostrado um aumento da acidez do solo causado pela adição dos fertilizantes

nitrogenados, e, em algumas vezes, é associado às mudanças no N_{BMS} (Moore et al., 2000; Witter et al., 1993). Foram encontradas, também, associações entre o aumento do N_{BMS} com uma maior fertilidade causada pela adição de nitrogênio e o subsequente retorno dos restos vegetais ao solo (Hatch et al., 2000; Silvan et al., 2003; Zaman et al., 2002). Outros estudos mostraram que a adição de fertilizantes nitrogenados na superfície do solo afeta a BMS e sua atividade, não apenas nas camadas superficiais, mas também nas camadas mais profundas. (Zaman et al., 2002).

A relação do nitrogênio da biomassa microbiana e nitrogênio total ($N_{BMS}:N_{TOTAL}$) fornece uma estimativa da quantidade de nutriente na BMS, da disponibilidade de substrato e da dinâmica da matéria orgânica no solo (Sparling, 1992). A BMS reflete, portanto, a qualidade da matéria orgânica encontrada no solo. Valores altos da relação $N_{BMS}:N_{TOTAL}$ refletem uma matéria orgânica de boa qualidade, enquanto que valores mais baixos indicam que a matéria orgânica é de baixa qualidade. Quando a matéria orgânica do solo apresenta baixa qualidade nutricional, a BMS pode encontrar-se sob condições de estresse e não ser capaz de assimilar totalmente o nitrogênio orgânico (Gama-Rodrigues, 1999).

A disponibilidade de nutrientes e a produtividade de agroecossistemas dependem, grandemente, do tamanho e da atividade da BMS, pois esta representa o carbono e o nitrogênio mais lábil do solo (Jenkinson & Ladd, 1981). Segundo Smith & Paul (1990), o tempo de *turnover* da biomassa microbiana para que o nitrogênio seja liberado ao sistema, é dez vezes maior do que daquele nitrogênio que encontra-se no material vegetal em decomposição. Assim, a determinação do N_{BMS} é de extrema importância para a quantificação da dinâmica do nitrogênio em agroecossistemas, pois controla a disponibilidade e as perdas de nitrogênio inorgânico do solo, principalmente em sistemas em que há um grande fluxo de nitrogênio no solo (Moore et al., 2000).

Este estudo está pautado na hipótese de que a aplicação de fertilizantes nitrogenados no solo aumentaria a BMS, imobilizando o nitrogênio temporariamente, evitando assim, perdas deste elemento sob formas de nitrato ou óxidos de nitrogênio e aumentando o seu aproveitamento pelas plantas.

METODOLOGIA DA FUMIGAÇÃO-EXTRAÇÃO

A determinação da biomassa microbiana pode ser feita por vários métodos, porém os mais eficientes e que não exigem recursos técnicos e financeiros muito elevados são os de fumigação-incubação e fumigação-extração (Pfenning et al, 1992). O método da fumigação-extração baseia-se na morte dos microorganismos pela ação do clorofórmio (fumigação) e extração e quantificação de parte dos constituintes dos microorganismos como é o caso do carbono e do nitrogênio. No método da fumigação-incubação, a quantificação da biomassa microbiana é calculada em função do fluxo de CO₂ liberado após a morte dos microorganismos, o qual é considerado proporcional ao tamanho da biomassa microbiana presente no solo. Estudos indicam que o método da fumigação-extração é o mais indicado para solos ácidos e com recentes adições de material orgânico (Harden et al, 1993; Ocio & Brookes, 1990; Martens, 1995; Vance et al, 1987; Oliveira et al., 2001). A fumigação-extração comparada com o método da fumigação-incubação apresenta as vantagens de não depender do estado fisiológico da população microbiana e de permitir a quantificação de outros nutrientes incorporados à biomassa no mesmo extrato, como o nitrogênio e o fósforo. Todavia, a extração é mais trabalhosa e exige o uso de produtos tóxicos (Oliveira et al, 2001). Em um estudo desenvolvido na Amazônia (Pfenning et al, 1992), o método da fumigação-extração apresentou coeficientes de variações baixos em comparação ao método de fumigação-incubação e mostrou-se mais adequado para os solos estudados (latossolo amarelo, latossolo vermelho amarelo e o solo glei pouco húmico). As duas metodologias foram

consideradas apropriadas para a área de cerrado cultivada sob latossolo vermelho de textura argilosa, pois os valores de carbono da biomassa não diferiram significativamente (Oliveira et al, 2001). Outro estudo conduzido no Rio de Janeiro nos solos Podzol Vermelho Amarelo, Gley Pouco-Húmico e Planossolo evidenciou boa correlação entre os dois métodos para a quantificação de carbono microbiano, mostrando que ambos os métodos quantificam compartimentos semelhantes do solo (Rodrigues et al, 1994).

OBJETIVOS

1. Estudar o efeito de doses de nitrogênio mineral, no nitrogênio e carbono da biomassa microbiana do solo em diferentes profundidades.
2. Estudar o efeito de doses de nitrogênio na atividade microbiana do solo em diferentes profundidades.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADÂMOLI, J., MACÊDO, J., AZEVEDO, L. G., NETTO, J. M. Caracterização da região dos Cerrados. In: GOEDERT, W. **Solos do cerrado: Tecnologias e estratégias de manejo**. São Paulo: Nobel; Brasília: EMBRAPA-CPAC, 1985.

ANDERSON, J. P. E., DOMSCH, K. H. Quantities of plant nutrients in the microbial biomass of selected soils. **Soil science**, Baltimore, v. 130, n. 4, p. 211-6, 1980.

ANDERSON, T. ., DOMSCH, K. H. Ratios of microbial biomass carbon to total organic carbon in arable soils. **Soil Biol. Biochem.** Vol. 21, No. 4, pp. 471-479, 1989.

AQUINO, A. M., SILVA, E. M. R., SAGGIN JUNIOR, O., RUMJANEK, N., DE POLLI, H., REIS, V. M. A biota do solo e processos relevantes num novo contexto da agricultura. In: **Recomendações para adubação e manejo da fertilidade do solo no estado do Acre**. Rio Branco, 2005, v. prelo, cap. 4.

BALOTA, E. L., COLOZZI FILHO, A. ANDRADE, D. S., DICK, R. P. Long-term aand crop rotation effect on microbial biomass and C and N mineralization in a Brazilian Oxisol. **Soil & Tillage Research** 77 (2004) 137-145.

BEZERRA, M. C. L., VEIGA, J. E. **Agricultura Sustentável**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente; Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis; Consórcio Museu Emílio Goeldi, p. 190, 2000.

CAMARGO, F. O., GIANELLO, C. TEDESCO, M. J., VIDOR, C. Nitrogênio orgânico do solo. In: SANTOS, G. A., CAMARGO, F. O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo. Ecossistemas Tropicais e Subtropicais**. Porto Alegre, RS, p. 117-135.

CERNY, J., BALÍK, D. P., ZITKOVÁ, M., SÝKORA, K. The influence of organic and mineral nitrogen fertilizers on microbial biomass nitrogen and extractable organic nitrogen in long-term experiments with maize. **Plant Soil Environ.**, 49, 2003 (12): 560-564.

CHANDINI, M. THIRUKMARAN; PARKINSON, D. Microbial respiration, biomass, metabolic quotient and litter decomposition in a lodgepole pine forest floor amended with nitrogen and phosphorus fertilizers. **Soil Biology and Biochemistry** 32, 59-66, 2000.

CHU, H. Y., HOSEN, Y. YAGI, K., OKADA, K., ITO, O. Soil microbial biomass and activities in a Japanese Andisol as affected by controlled release and application depth of urea. **Biol. Fertil. Soils** (2005) 42: 89-96.

COMPTON, J. E., WATRUD, L. S., PORTEOUS, L. A., DEGROOD, S. Response of soil microbial biomass and community composition to chronic nitrogen additions at Harvard Forest. **Forest Ecology and Management** 196 (2004) 143-158.

CORREIA, J. R., REATTO, A., SPERA, S. T. Solos e suas relações com o uso e o manejo. In: SOUSA, D. M. G., LOBATO, E. **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2 ed. Brasília, DF: EMBRAPA Informação Tecnológica. 2004. 416 p.

- FISK, M. C., FAHEY, T. J. Microbial biomass and nitrogen cycling responses to fertilization and litter removal in young northern hardwood forests. **Biogeochemistry** 53: 201-223, 2001.
- FURTINI NETO, A. E., VALE, F. R., RESENDE, A. V., GUILHERME, L. R. G., GUEDES, G. A. A. **Fertilidade do solo**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2001.
- GAMA-RODRIGUES, E. F. Biomassa microbiana e ciclagem de nutrientes. In: SANTOS, G. A., CAMARGO, F. O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo. Ecossistemas Tropicais e Subtropicais**. Porto Alegre, RS, p. 227-243, 1999.
- GOYAL, S. CHANDER, K., MUNDRA, M. C., KAPOOR, K. K. Influence of inorganic fertilizers and organic amendments on soil organic matter and soil microbial properties under tropical conditions. **Biol. Fertil. Soils** (1999) 29: 196-200.
- GRAHAM, M. H., HAYNES, R. J., MEYER, J. H. Soil organic matter content and quality: effects of fertilizer applications, burning and trash retention on a long-term sugarcane experiment in South Africa. **Soil Biology & Biochemistry** 34 (2002) 93-102.
- HARDEN, T., Joergensen, R. G., MEYER, B., WOLTERS, V. Mineralization of straw and formation of soil microbial biomass in a soil treated with simazine and dinoterb. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 25, p. 1273-1276, 1993.
- HATCH, D. J., LOVELL, R. D., ANTIL, R. S., JARVIS, S. C. Nitrogen mineralization and microbial activity in permanent pastures amended with nitrogen fertilizer or dung. **Biol Fertil Soils** (2000) 30: 288-293.
- INSAM, H. Developments in soil microbiology since the mid 1960s. **Geoderma** 100, 389-402, 2001.
- JENKINSON, D. S., LADD, J. N. Microbial biomass in soil: measurement and turnover. In: PAUL, E. A., LADD, J. N. **Soil Biochemistry**. New York: Marcel Dekker, v. 5, p. 415-471, 1981.
- JOERGENSEN, R. G., SCHEU, S. Response of soil microorganisms to the addition of carbon, nitrogen and phosphorus in a forest Rendzina. **Soil Biology and Biochemistry** 31 (1999) 859-866.
- 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 Índia. **Agriculture, Ecosystems and Environment** 86 (2001) 155-162.
- KAUTZ, T. WIRTH, S. ELLMER, F. Microbial activity in a sandy arable soil is governed by the fertilization regime. **European Journal of Soil Biology**. 40 (2004) 87-94.
- LEDGARD, S. F., JARVIS, S. C., HATCH, D. J. Short-term nitrogen fluxes in grassland soils under different long-term nitrogen management regimes. **Soil Biol. Biochem.** Vol. 30, No. 10/11, pp. 1233-1241, 1998.

LOVELL, R. D., HATCH, D. J. Stimulation of microbial activity following spring applications of nitrogen. **Biol. Fertil. Soils** (1998) 26: 28-30.

LOVELL, R. D., JARVIS, S. C. Soil microbial biomass and activity in soil from different grassland management treatments stored under controlled conditions. **Soil Biol. Biochem.** Vol. 30, No. 14, pp. 2077-2085, 1998.

LOVELL, R. D., JARVIS, S. C., BARDGETT, R. D. Soil microbial biomass and activity in long term grassland: effects of management changes. **Soil Biol Biochem** 27: 969-975. 1995.

MARTENS, R. Current methods for measuring microbial biomass C in soil: Potentials and limitations. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 19, p. 87-99, 1995.

MATSUOKA, M., MENDES, J. C., LOUREIRO, M. F. Biomassa microbiana e atividade enzimática em solos sob vegetação nativa e sistemas agrícolas anuais e perenes na região primavera do leste (MT). **R. Bras. Ci. Solo**, 27: 425-433, 2003.

McCARTY, G. W., MEISINGER, J. J., JENNINSKENS, F. M. M. Relationships between total-N, biomass-N and active-N in soil under different tillage and N fertilizer treatments. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 27, n. 10, p. 1245-1250, 1995.

MOORE, J. M., KLOSE, S., TABATABAI, M. A. Soil microbial biomass carbon and nitrogen as affected by cropping systems. **Biol Fertil Soils** (2000) 31: 200-210.

MOREIRA, F. M. S., SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: Editora UFLA, 2002. 625p.

OCIO, J. A., BROOKES, P. C., 1990. An evaluation of methods for measuring the microbial biomass in soils following recent additions of wheat straw and the characterization of the biomass that develops. **Soil Biology and Biochemistry** 22, 685-694.

OLIVEIRA, J. R. A., MENDES, I. C., VIVALDI, L. J. **Carbono da biomassa microbiana em solos de cerrado: comparação dos métodos fumigação-incubação e fumigação-extração**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2001.

PAUL, E. A., CLARK, F. E. **Soil Microbiology and Biochemistry**. San Diego, CA, Academic Press, 1989. 275p.

PEACOCK, A. D., MULLEN, M. D., RINGELBERG, D. B., TYLER, D. D., HEDRICK, D. B., GALE, P. M., WHITE, D. C. Soil microbial community responses to dairy manure or ammonium nitrate applications. **Soil Biology & Biochemistry** 33 (2001) 1011-1019.

PEREZ, K. S. S., RAMOS, M. L. G., McManus, C. Carbono da biomassa microbiana em solo cultivado com soja sob diferentes sistemas de manejo nos cerrados. **Pesq. Agropec. Bras.**, Brasília, v. 39, p. 567-573, jun. 2004.

PFENNING, L., EDUARDO, B. de P., CERRI, C. C. Os métodos da fumigação-incubação e fumigação-extração na estimativa da biomassa microbiana de solos da Amazônia. **R. Bras. Ci. Solo**, Campinas, 16: 31-37, 1992.

- RAIESI, F. Soil properties and N application effects on microbial activities in two winter wheat cropping systems. **Biol. Fertil. Soils** (2004) 40: 88-92.
- RESENDE, M., CURI, N., REZENDE, S. B., CORRÊA, G. F. **Pedologia: base para distinção de ambientes**. 2 ed. Viçosa: NEPUT, 1997. 367p.
- ROCHA, C. M. C. In: VARGAS, M. A, T.; HUNGRIA, M. **Biologia dos solos do cerrado**, Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1997. 524p.
- RODRIGUES, E. F. da G., GUERRA, J. G. M., ALMEIDA, D. L. de, DE-POLLI, H. Biomassa microbiana de carbono de solos de Itaguaí (RJ): Comparação entre os métodos fumigação-incubação e fumigação-extração. **R. bras. Ci. Solo**, Campinas, 18: 427-432, 1994.
- SAMPAIO, E. V. S. B., SALCEDO, I. H. Efeito da adição de nitrogênio e palha na liberação de CO₂ e formação de biomassa microbiana em Latossolo vermelho-amarelo. **R. Bras. Ci. Solo** 6: 177-181, 1982.
- SCHULTEN, H. R., SCHNITZER, M. The chemistry of soil organic nitrogen: a review. **Biol. Fertil. Soils** (1998) 40: 26 1-15.
- SILVAN, N., VASANDER, H., KARSISTO, M., LAINE, J. Microbial immobilisation of added nitrogen and phosphorus in constructed wetland buffer. **Applied Soil Ecology** 24 (2003) 143-149.
- SIQUEIRA, J. O., FRANCO, A. A. **Biotecnologia do solo: Fundamentos e Perspectiva**. Brasília, MEC, ABEAS; Lavras: ESAL, FAEPE, 1988.
- SMITH, J. L., PAUL, E. A. The significance of soil microbial biomass estimations. In: BOLLAG, J. M., STOTSKY, G. **Soil Biochemistry**. New York: Marcel Dekker, v. 6, p. 357-396, 1990.
- SODERSTROM, B., BAATH, E., LUNDGREN, B. Decrease in soil microbial activity and biomass owing to nitrogen amendments. **Can. J. Microbiol.** Vol. 29, 1983.
- SPARLING, G. P. Ratio of microbial biomass carbon to soil organic carbon as a sensitive indicator of changes in soil organic matter. **Australian Journal Soil research**, Victoria, n. 30, p. 195-207, 1992.
- TIQUIA, S. M., LLOYD, J., HERMS, D. A., HOITINK, H. A. J., MICGEL Jr, F. C. Effects of mulching and fertilization on soil nutrients, microbial activity and rhizosphere bacterial community structure determined by analysis of TRFLPs of PCR-amplified 16S rRNA genes. **Applied Soil Ecology** 21 (2002) 31-48.
- TÓTOLA, M. R., CHAER, G. M. Microrganismos e processos microbiológicos como indicadores da qualidade dos solos. **Tópicos Ci. Solo**, 2: 195-276, 2002.
- VANCE, E. D., BROOKES, P. C., JENKINSON, D. S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. **Soil Biol. Biochem.**, v.19, p.703-707, 1987.

VANCE, E. D., CHAPIN III, F. S. Substrate limitations to microbial activity in taiga forest floors. **Soil Biology & Biochemistry** 33 (2001) 173-188.

WARDLE, D. A. A comparative assessment of factors which influence microbial biomass carbon and nitrogen levels in soil. **Biol. Rev.** (1992), 67, pp. 321-358.

WARDLE, D. A. Metodologia para a quantificação da biomassa microbiana do solo. In: HUNGRIA, M., ARAÚJO, R. S. **Manual de métodos empregados em estudos de microbiologia agrícola**. Embrapa, Brasília, DF. 1994, 542p.

WARDLE, D. A., GHANI, AA. A critique of the microbial metabolic quotient as a bioindicator of disturbance and ecosystem development. **Soil Biol. Biochem.** Vol. 27, No. 12, pp. 1601-1610, 1995.

WITTER, E., MARTENSSON, A. M., GARCIA, F. V. Size of the soil microbial biomass in a long-term field experiment as affected by different N-fertilizers and organic manures. **Soil Biol. Biochem.** Vol. 25, No. 6, pp. 659-669, 1993.

ZAMAN, M., CAMERON, K. C., DI, H. J., INUBUSHI, K. Changes in mineral N, microbial biomass and enzyme activities in different soil depths after surface applications of dairy shed effluent and chemical fertilizer. **Nutrient Cycling in Agroecosystems** 63: 275-290, 2002.

CAPÍTULO 1

DOSES DE NITROGÊNIO E SEU EFEITO NO CARBONO DA BIOMASSA MICROBIANA DO SOLO NO CERRADO

(Trabalho a ser enviado para a revista Pesquisa Agropecuária Brasileira - PAB)

DOSES DE NITROGÊNIO E SEU EFEITO NO CARBONO DA BIOMASSA MICROBIANA DO SOLO NO CERRADO

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito de doses de nitrogênio no carbono da biomassa microbiana do solo (C_{BMS}), em diferentes profundidades do solo em um Latossolo Vermelho Amarelo cultivado com cevada. O experimento foi instalado em junho de 2004, em área experimental de primeiro ano de plantio direto da Embrapa Cerrados no Distrito Federal, a qual foi anteriormente cultivada com milho por três anos e posteriormente com soja por duas safras. Foram utilizados os seguintes tratamentos: quatro doses de nitrogênio (30, 60, 90 e 120 Kg N/ha) e o controle sem adubação nitrogenada. As amostras de solo foram coletadas em quatro profundidades: 0-5, 5-10, 10-20 e 20-30 cm, com três repetições e em três épocas: perfilhamento pleno, floração e logo após a colheita. O C_{BMS} foi avaliado pelo método da fumigação-extração. Em geral, o C_{BMS} diminuiu com a profundidade, com exceção do tratamento sem adubação nitrogenada. Em doses mais elevadas, em geral, houve diminuição do C_{BMS} e da razão $C_{BMS}:C_{ORG}$ com a aplicação de nitrogênio, principalmente nas camadas mais profundas do solo. Em geral, a adubação nitrogenada aumentou o qCO_2 e a atividade respiratória microbiana, principalmente nas doses entre 60 e 90 Kg N/ha. Correlações negativas entre a razão $C_{BMS}:C_{ORG}$, e o pH do solo, ocorreram apenas na dose de 120 Kg N/ha.

Termos de indexação: qualidade do solo, quociente metabólico, atividade microbiana, pH do solo, cevada.

NITROGEN DOSES AND ITS EFFECT ON THE SOIL MICROBIAL BIOMASS CARBON IN THE CERRADO

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the effect of different nitrogen doses and soil depths on soil microbial biomass carbon (C_{SMB}) in a sandy textured Oxisol, cultivated with barley. The experiment was installed in June, 2004, in an area located at Embrapa Cerrados, Federal District, which had been cultivated with millet for three years and subsequently with soya beans for two seasons. A first year no-till system was established for the first time in this experiment. The treatments were four doses of nitrogen (30, 60, 90 e 120 Kg N/ha) and a control without it. Soil samples were collected in four depths: 0-5, 5-10, 10-20 e 20-30 cm, with three replicates and in three sampling periods: tillering, flowering and right after the harvest. The C_{SMB} as analyzed through the fumigation-extraction method. As a whole, the C_{SMB} decreased with depth, except for the treatment where nitrogen was not added. The C_{SMB} and $C_{SMB}:C_{ORG}$ decreased with higher doses of nitrogen, especially in the deeper layers of the soil. Nitrogen fertilization increased the metabolic quotient and microbial activity, especially in the doses of 60 e 90 Kg N/ha. For the treatment of 120 Kg N/ha, there was negative correlations between the $C_{SMB}:C_{ORG}$ and soil pH.

Index terms: soil quality, metabolic quotient, microbial activity, soil pH, barley.

INTRODUÇÃO

A biomassa microbiana do solo apesar de representar uma baixa percentagem do carbono orgânico (2 a 5%), é uma indicadora sensível das mudanças nos solos (Moreira & Siqueira, 2002; Smith & Paul, 1990) por ser a principal responsável pela transformação da matéria orgânica, pela ciclagem de nutrientes e pelo fluxo de energia no solo (Wardle, 1992, Jenkinson & Ladd, 1981).

A biomassa microbiana oxida materiais carbonáceos que resultam em matéria orgânica estabilizada, mineraliza (libera) nutrientes para o sistema solo-planta-atmosfera e armazena carbono e elementos minerais na sua constituição (Anderson & Domsch, 1980). Funciona, portanto, como um considerável reservatório lábil de carbono e de nutrientes, como o nitrogênio, o fósforo e enxofre, pois os utiliza para o seu crescimento e metabolismo. Fatores que afetam a densidade e a atividade destes microorganismos nos solos, como por exemplo, o pH e a disponibilidade de nitrogênio e carbono, influenciam na decomposição da matéria orgânica e na conseqüente assimilação do carbono, diminuindo ou aumentando assim, a quantidade e a atividade da BMS.

Por meio da avaliação da biomassa microbiana do solo, é possível realizar comparações entre solos e mudanças de manejo, avaliando assim, os impactos ambientais causados (Insam, 2001). Um maior acúmulo de biomassa microbiana ocorre em solos sob cultivo mínimo, com vegetação e teores mais elevados de argila, e menor acúmulo em solos mais arenosos, degradados pela erosão ou por contaminação com substâncias orgânicas tóxicas ou metais pesados (Moreira & Siqueira, 2002). Sistemas de manejo que visam a manutenção da matéria orgânica e a ausência de revolvimento no solo, como o plantio direto, podem aumentar em 85% a BMS em camadas superficiais (0-5 cm), em comparação com sistemas convencionais (Balota et al., 2004; Perez et al., 2004). Comparações feitas entre sistemas agrícolas e áreas de vegetação nativa em Latossolos Vermelho-Amarelo, mostraram

aumentos de 50 a 70% de C_{BMS} para o último (Matsuoka et al., 2003; Oliveira, 2000, Perez et al., 2004). Foram encontrados também, valores entre 60,5 e 124 mg C Kg⁻¹ de solo para culturas perenes e 16,6 e 96,8 mg C Kg⁻¹ para culturas anuais (Matsuoka et al., 2003).

A adição de nitrogênio ao solo tem mostrado efeito neutro (Kautz, et al., 2004; Zaman et al., 2002; Chu et al., 2005; Moore et al., 2000; Lovel & Hatch, 1998), de aumento (Raiesi, 2004; Kanchikerimath & Singh, 2001; Graham et al., 2002) e de inibição (Fisk, et al., 2001; Lovell & Jarvis, 1998; Soderstrom et al., 1983) do C_{BMS} , em sistemas agrícolas e florestais. Resultados de pesquisas sobre o efeito do nitrogênio no solo mostram aumentos do C_{BMS} apenas com adição conjunta de algum substrato orgânico (Sampaio et al., 1982). Outros trabalhos mostram uma associação entre o aumento do carbono da biomassa microbiana com uma maior fertilidade causada pela adição de nitrogênio e a subsequente deposição dos restos vegetais ao solo (Goyal, et al., 1999, Lovell, et al., 1995). Foi observado também, o efeito do nitrogênio no C_{BMS} nas diferentes camadas do solo (Compton et al., 2004). Portanto, o efeito de doses de nitrogênio na BMS ainda é muito contraditório e dificilmente encontram-se trabalhos de pesquisas que envolvem ecossistemas tropicais e solos do cerrado.

Mudanças no manejo do solo que afetam a qualidade e a decomposição da matéria orgânica do solo são mais sensíveis de serem observadas quando analisadas a partir do C_{BMS} , pois, a BMS responde de forma mais rápida às alterações benéficas ou adversas do que a própria matéria orgânica (Anderson & Domsch, 1989). A respiração microbiana (também chamada de respiração basal) quando relacionada com o carbono da biomassa microbiana, determina-se o quociente metabólico (qCO_2), o qual possibilita quantificar de forma mais clara e com menor variabilidade a atividade microbiana (Aquino et al., 2005), além de caracterizar os efeitos na atividade biológica decorrente de atividade antrópica, como o empobrecimento dos solos causado pelo revolvimento e a adição de fertilizantes nitrogenados.

O objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos do nitrogênio aplicado na forma de fertilizantes, no carbono da biomassa microbiana do solo em solo sob cerrado e cultivado com cevada.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado em junho de 2004 em uma área de Latossolo Vermelho Amarelo de textura argilosa da Embrapa Cerrados (CPAC), no Distrito Federal a qual foi anteriormente cultivada com milho por três anos e posteriormente com soja por duas safras. A análise química realizada antes do início do experimento encontra-se nos anexos. A vegetação espontânea foi dessecada com o produto comercial glifosate na dose de 3L ha⁻¹ em pós emergência, e após total dessecação foi introduzido, pela primeira vez, o sistema de plantio direto naquela área. A cultivar de cevada utilizada foi a BRS 195, comercialmente utilizada para a indústria cervejeira. Esta cultivar possui um ciclo médio de 110 dias para a região do cerrado, alto perfilhamento e devido ao seu porte baixo, dificilmente acama com doses altas de nitrogênio aplicadas no plantio e em cobertura. A área foi dividida em 15 parcelas de 1,8 x 3,5 m e com nove linhas de plantio cada, sendo que quatro linhas foram utilizadas para fins de produtividade e as outras cinco linhas foram utilizadas para coleta de solo e de plantas para posterior análise. O experimento compreendeu os seguintes tratamentos: quatro doses de nitrogênio (30, 60, 90 e 120 Kg N/ha) e o controle sem adubação nitrogenada. Cada parcela foi adubada com 80 Kg de P/ha e 60 Kg de K/ha e utilizou-se como fonte de nitrogênio o sulfato de amônio. O nitrogênio, fósforo e potássio foram aplicados a lanço devido à dificuldade proporcionada pela máquina no ato do plantio, a qual se utilizada, descaracterizaria o sistema de plantio direto. O nitrogênio foi parcelado, sendo que 30 Kg/ha foi aplicado logo após o plantio e o restante foi introduzido para cobertura do sistema no início do estágio de perfilhamento da planta. As amostras de solo foram coletadas em quatro profundidades: 0-5, 5-10, 10-20 e 20-30 cm e em três épocas: perfilhamento pleno (após

aplicação do nitrogênio em cobertura), floração e logo após a colheita. Em cada ponto de coleta de solo dentro de cada parcela foram coletadas cinco subamostras em cada profundidade, obtendo-se uma amostra composta para cada profundidade. A seguir, as amostras foram mantidas em caixas de isopor e resfriadas durante o transporte até o laboratório, onde foram preservadas em câmara fria a 4°C.

O delineamento experimental foi feito em blocos ao acaso, com três repetições, em parcelas subdivididas; as doses de nitrogênio foram as parcelas, e as profundidades, as subparcelas.

As análises para a determinação do carbono da biomassa microbiana do solo foram feitas pelo método da fumigação e extração, proposto por Vance et al. (1987). As amostras foram tamisadas em peneiras com abertura de 8mm, retirando-se fragmentos de raízes e restos vegetais. Antes do processo de fumigação, os teores de umidade das amostras foram corrigidos para 80% da capacidade máxima de retenção de água no solo. As amostras foram divididas em subamostras (triplicatas) de 20g de solo e incubadas por sete dias. Após este período, parte das amostras foi submetida ao processo de fumigação seguida de extração e a outra parte, apenas ao processo de extração. As amostras foram fumigadas com clorofórmio isento de etanol por 24 horas, sendo posteriormente retiradas e extraídas, juntamente com as amostras não fumigadas. As amostras foram extraídas com K_2SO_4 (0,5M) por 40 minutos em agitador contínuo a uma velocidade de 150 rpm, sendo então filtradas. Retiraram-se alíquotas de 8 mL que foram transferidas para tubos de vidro com 15 mL da solução H_2SO_4 : H_3PO_4 na proporção 2:1 e 2 mL de $K_2Cr_2O_7$ 0,4 N. Os tubos foram colocados no bloco digestor a uma temperatura de 100°C por 30 min. Em seguida, o conteúdo dos tubos foi completado com água destilada para 50 mL e transferido para um erlenmeyer de 125 mL com 7 gotas de indicador ferroína. A quantidade de carbono extraída foi então calculada por titulação com solução dissolvida de $Fe(NH_4)(SO_4)$ hexahidratado e H_2SO_4 para determinar a quantidade de

dicromato utilizado na oxidação. Titulou-se também, amostras sem a adição de substrato (branco). O carbono extraído pelas amostras fumigadas e não fumigadas foi calculado pela sua diferença com o branco, assumindo-se que 1 mL $K_2Cr_2O_7$ a 0,4 N, equivale a 1200 μ g de carbono. O carbono da biomassa microbiana foi determinado através da diferença entre o carbono extraído das amostras fumigadas e o das amostras não fumigadas. A fórmula para o cálculo do carbono da biomassa microbiana foi: $B = C_F - C_{NF}/K_{EC}$, onde C_F e C_{NF} , representam o C extraído das subamostras fumigadas e não fumigadas respectivamente e o K_{EC} (0,38) representa a proporção total do carbono microbiano extraído após fumigação (Wardle, 1994).

A respiração basal foi calculada pela quantidade de C-CO₂ liberado das amostras de solo não fumigadas em um período de sete dias. As amostras foram tamisadas em peneiras com abertura de 8mm, retirando-se fragmentos de raízes e restos vegetais. Os teores de umidade das amostras foram corrigidos para 80% da capacidade máxima de retenção de água no solo. As amostras foram divididas em subamostras (triplicatas) de 20g de solo e colocadas no interior de vidros herméticos de 500mL, juntamente com um frasco de vidro contendo 10 mL de KOH 0,3M. As amostras foram então incubadas por sete dias. Para quantificar o CO₂ liberado durante a incubação, foram adicionados àqueles frascos que continham KOH 0,3M, 3 mL de BaCl₂ 20%. A solução foi então transferida para erlenmeyers de 100 mL adicionando-se três gotas de fenolftaleína e posteriormente foi feita a titulação com HCl 0,1 N.

O teor de carbono orgânico do solo foi calculado pelo método da oxidação por via úmida (Walkley & Black).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

RESPIRAÇÃO BASAL

Na primeira, segunda e terceira coleta (no perfilhamento pleno, na floração e logo após a colheita), houve interação entre as doses de nitrogênio e as profundidades (Tabelas 1.01, 1.02 e 1.03).

Para a respiração basal, no perfilhamento, nas camadas de 0-5 e 5-10 cm a dose sem aplicação de nitrogênio comportou-se de maneira semelhante à dose de 120 Kg N/ha e as suas médias foram significativamente menores em relação a todas as outras doses (Tabela 1.01). A aplicação de nitrogênio em uma faixa entre 30 e 90 Kg N/ha aumentou a respiração basal entre as camadas 0-10 cm e proporcionou uma maior atividade microbiana e conseqüente mineralização da matéria orgânica do solo (Parkin et al., 1996) devido, provavelmente, a uma maior disponibilidade de nitrogênio prontamente disponível, porém não em doses muito altas, como 120 Kg N/ha. A inibição da respiração microbiana em faixas mais altas de nitrogênio pode ter sido devido à redução da produção de enzimas que atacam matéria orgânica composta de nitrogênio (Hu & van Bruggen, 1997), porém, isso não afetaria diretamente o suprimento de carbono pelos microorganismos (Vance et al, 2001), como pode ser observado com o aumento do carbono da biomassa microbiana na camada de 5-10 cm (Tabela 1.04). O amônio também, quando aplicado ao solo pode inibir a produção de enzimas lignolíticas de fungos, tornando-os impossibilitados de degradar a lignina (Paul and Clark, 1989; Keyser et al., 1978) e isso diminuiria a liberação de CO₂. Materiais como os polissacarídeos são envoltos por lignina e quando a atividade de fungos lignolíticos é reduzida, estes materiais de polissacarídeos ficam indisponibilizados para os microorganismos, diminuindo a sua atividade (Fog, 1988). A disponibilidade de carbono pode ser diminuída, pois o nitrogênio (NH₄⁺) pode se condensar com a matéria orgânica - húmus e formar complexos de quinonas-NH₂ indisponibilizando o carbono para os microorganismos (Nohrstedt et al., 1989; Paul & Clark, 1989) e diminuindo a sua atividade. Pode ainda causar inibição da BMS devido a estresses osmóticos (Paul & Clark, 1989; Sordestrom et al., 1983). Nas camadas entre 10-30

cm o mesmo ocorreu, porém a dose de 90 Kg N/ha apresentou juntamente com a de 120 Kg N/ha e o controle, os menores valores, cabendo às doses 30 e 60 Kg N/ha os maiores valores de respiração basal.

Já na floração (Tabela 1.02), na camada de 0-5 cm, a aplicação de nitrogênio aumentou a respiração microbiana até mesmo na dose de 120 Kg N/ha, e as doses 60 e 90 Kg N/ha apresentaram os maiores valores. Na camada de 5-10 cm novamente a dose sem aplicação de nitrogênio comportou-se de maneira semelhante à dose de 120 Kg N/ha e à dose de 30 Kg N/ha e as suas médias foram significativamente menores em relação às doses de 60 e 90 Kg N/ha. Estranhamente na camada de 10-20 cm a dose de 30 Kg N/ha apresentou o maior valor, mas a dose de 120 Kg N/ha o menor. Na camada de 20-30 cm o maior valor foi encontrado na dose sem aplicação de nitrogênio e o menor valor novamente para a dose de 120 Kg N/ha.

Na última coleta de solo (Tabela 1.03), as diferenças entre os tratamentos foram menos pronunciadas, talvez devido à falta da proteção da planta, e em geral, as doses 60 e 90 Kg N/ha apresentaram a maior respiração basal, mas se igualaram à não aplicação de nitrogênio nas camadas 5-10, 10-20 e 20-30 cm. O menor valor de respiração foi encontrado na dose 30 Kg N/ha seguido da dose de 120 Kg N/ha.

Esses resultados indicam, que quando doses adequadas de nitrogênio (60-90 Kg N/ha) são aplicadas neste tipo de sistema, pode-se ter uma elevação da respiração basal e mineralização do carbono e conseqüente aumento da atividade microbiana. Porém, quando as doses são muito altas (120 Kg N/ha) o inverso ocorre. Foram constatados aumentos na respiração basal do solo com a adição de nitrogênio (Mahmood et al, 1997; Svensson et al, 2001, Dilly et al, 2003), assim como a diminuição (Lovell et al, 1995; Fisk & Fahey, 2001; Bowden et al, 2004). Muitos dos experimentos que revelaram uma maior respiração basal com a aplicação de nitrogênio são prolongados e, por isso, associam a maior respiração basal

à alta produtividade e à conseqüente quantidade de resíduos vegetais que são deixados no solo, além do tipo de cultura, que em alguns casos pode fornecer mais nitrogênio que outra (Svensson et al, 2001). Bowden et al. (2004) encontraram similaridades com este estudo em um sistema florestal, mostrando que a adição de N em doses mais baixas aumenta a respiração basal, mas quando aplicado em doses altas (150Kg N/ha) a respiração basal diminui, chegando a ser menor que o controle sem aplicação de nitrogênio. O aumento da acidificação do solo, causado pela adição da alta dose de sulfato de amônio (Graham & Haynes , 2005), pode ter alterado a comunidade microbiana e com isso a produção de enzimas e a eficiência de decomposição da matéria orgânica, reduzindo assim as taxas respiratórias do solo (Bowden et al, 2004).

Em geral a respiração basal diminuiu com a profundidade em concordância com outros trabalhos (Dilly et al, 2003, Graham & Haynes, 2005), com exceção da dose zero que apresentou uma respiração basal menor na camada 0-5 cm em comparação às outras profundidades na floração (Tabela 1.02). Logo após a colheita (Tabela 1.03), o tratamento com 90 Kg N/ha não proporcionou uma diferenciação de respiração basal nos diferentes perfis coletados ocorrendo desse modo uma capacidade de mineralização do carbono semelhante em todo o perfil estudado (0-30 cm).

Note que a emissão total global de CO₂ do solo é hoje considerada como um dos maiores fluxos no ciclo global do carbono e, portanto, alterações nos níveis de respiração do solo podem ter um grande efeito na concentração de CO₂ na atmosfera aumentando desse modo o efeito estufa (SCHLESINGER et al, 2000). Em geral, nas três épocas estudadas, a respiração basal diminuiu com a profundidade, o que é de se esperar, uma vez que ocorre uma diminuição da matéria orgânica com a profundidade.

CARBONO DA BIOMASSA MICROBIANA DO SOLO (C_{BMS})

Considerando que a área em estudo foi cultivada com milho e posteriormente com soja durante duas safras antes da implementação do experimento com cevada, e que a primeira coleta tenha sido feita no perfilhamento pleno, os valores obtidos para C_{BMS} para as três épocas estudadas equivalem aos encontrados por outros autores (Perez et al., 2004, Balota et al., 1998), que também utilizaram sistemas semelhantes a estes de plantio. Houve interação significativa entre as doses de nitrogênio aplicadas ao solo e as profundidades, nas três épocas de avaliação (Tabelas 1.04, 1.05 e 1.06). No perfilhamento, o maior valor de C_{BMS} foi encontrado na dose de 30 Kg N/ha na camada de 0-5 cm (230,27 mg C. Kg⁻¹ de solo) e o menor no tratamento sem aplicação de nitrogênio na camada de 10-20 cm (79,09 mg C. Kg⁻¹ de solo) (Tabela 1.04).

No perfilhamento (Tabela 1.04), na camada de 0-5 cm, as doses 60, 90 e 120 Kg N/ha forneceram valores de C_{BMS} estatisticamente iguais ao tratamento sem aplicação de nitrogênio, e a dose de 30 Kg N/ha foi superior a todas elas, com exceção da dose de 60 Kg N/ha que igualou-se com esta. Na camada de 5-10 cm, a aplicação de doses de 30 e 120 Kg N/ha proporcionou efeito semelhante ao controle, enquanto que as doses de 60 e 90 Kg N/ha diminuíram o C_{BMS} . A redução ou manutenção da biomassa microbiana pela adição de nitrogênio pode estar associada à maior taxa de nitrificação em solos de plantio direto e pastagem (Wardle, 1992) ou à diminuição na liberação de exsudatos ou rizodeposições pelas plantas diminuindo o suprimento de carbono prontamente disponível para os microorganismos (Vance et al., 2001). Pode ainda ser causada pela competição entre plantas e microorganismos, quando há deficiência de nitrogênio no sistema solo-planta (Paterson, 2003). Em sistema de pastagem, Lovel & Hatch (1998), mostraram que os valores de C_{BMS} não variaram com a adição de nitrogênio, mas que a mineralização foi maior e a imobilização menor, além de um conseqüente aumento da atividade microbiana.

Para a mesma época de coleta (Tabela 1.04), na camada de 10-20 cm, com exceção da dose de 90 Kg N/ha, a aplicação de nitrogênio proporcionou um valor maior de C_{BMS} , sendo que as doses de 60 e 120 Kg N/ha proporcionaram o maior aumento. Não houve diferenças significativas entre as doses na última camada de coleta, pois acredita-se que o nitrogênio já havia sido perdido por nitrificação e/ou volatilização.

Na segunda amostragem, na floração da cultura (Tabela 1.05), na camada de 0-5 cm, a dose de 120 Kg N/ha proporcionou o maior valor de C_{BMS} (297,31 C. Kg⁻¹ de solo). A biomassa vegetal, visualmente maior nesta dose, manteve o solo mais coberto que as outras doses e por isso pode ter proporcionado uma diminuição de temperatura, aumento da umidade do solo, com conseqüente aumento da atividade microbiana, melhor desenvolvimento radicular e maior liberação de exsudatos pela planta. O tratamento sem aplicação de nitrogênio, para esta mesma camada foi menor que todos os outros, provavelmente porque produziu uma quantidade bem menor de biomassa vegetal e, portanto não proporcionou temperaturas e teores de umidade favoráveis à BMS. O inverso ocorreu na camada de 5-10 cm, pois a aplicação de doses de nitrogênio teve o efeito de diminuir o C_{BMS} , e a dose de 60 Kg N/ha foi a que apresentou o menor valor. Na camada de 10-20 cm, o C_{BMS} diminuiu com a aplicação das doses de 60 e 120 Kg N/ha, enquanto que para as doses de 30 e 90 Kg N/ha, o C_{BMS} foi semelhante ao controle. Na camada de 20-30 cm a aplicação de 120 Kg N/ha causou uma diminuição de 67% no teor de C_{BMS} em relação à dose sem aplicação de nitrogênio e 76% em relação à dose de 90 Kg N/ha, que representou o maior valor de C_{BMS} .

Logo após a colheita (Tabela 1.06), na camada de 0-5 cm as doses de 90 e 120 Kg N/ha apresentaram os maiores valores de carbono da biomassa microbiana. Na camada de 5-10 cm, apenas a dose de 120 Kg N/ha aumentou o C_{BMS} e a dose de 90 Kg N/ha, levou a uma diminuição, enquanto que as outras não diferiram do controle. Na camada de 10-20 cm, a dose de 120 Kg N/ha afetou negativamente a microbiota do solo pois foi a única dose que não

se igualou estatisticamente com a dose sem aplicação de nitrogênio. Na camada de 20-30 cm, a adição de nitrogênio ao solo diminuiu o C_{BMS} e os valores mais baixos foram obtidos na dose de 120 Kg N/ha que não diferiu significativamente das doses 30 e 60 Kg N/ha.

Em geral, o C_{BMS} diminuiu com a profundidade para todos os tratamentos de doses de nitrogênio e épocas de coleta. Este efeito foi mais pronunciado a partir da segunda época de coleta (Tabela 1.05), onde havia maior cobertura do solo devido à maior biomassa vegetal proporcionada pela planta. Esta maior cobertura provavelmente forneceu aos microorganismos, temperaturas e umidades mais favoráveis ao seu crescimento na camada de 0-5 cm. Resultados semelhantes foram observados em outros trabalhos (Moore et al., 2000; Houot & Chaussod, 1995; Bohme et al., 2005).

Na época do perfilhamento (Tabela 1.04), dentro de cada dose, o C_{BMS} variou com a profundidade. No tratamento sem aplicação de nitrogênio, o C_{BMS} foi semelhante entre as profundidades, com exceção da camada de 10-20 cm. Na dose de 30 Kg N/ha, o C_{BMS} foi maior somente na profundidade de 0-5 cm. Na dose de 60 Kg N/ha, o C_{BMS} foi maior nas camadas de 0-5 cm e 10-20 cm e menor na de 5-10 cm. Na dose de 90 Kg N/ha, o C_{BMS} foi maior na profundidade de 0-5 cm e menor na de 5-10 cm, e na dose de 120 Kg N/ha, o C_{BMS} foi maior nas profundidades de 5-10 cm e 10-20 cm. Na floração da cultura e logo após a colheita (Tabela 1.05 e 1.06) no tratamento sem aplicação de nitrogênio, o C_{BMS} foi maior na profundidade de 5-10 cm e menor na de 20-30 cm e nas doses de nitrogênio, em geral, o C_{BMS} diminuiu com a profundidade. Considerando a floração, o efeito do nitrogênio no C_{BMS} variou de acordo com a profundidade nas diferentes doses de nitrogênio aplicadas, indicando que o nitrogênio acumulou em diferentes partes dos perfis do solo, de acordo com as diferentes doses.

Na camada de 0-5 cm e para a amostragem na época da floração e logo após a colheita, percebe-se que a aplicação de nitrogênio no solo desencadeia um certo aumento de

C_{BMS} , principalmente para a dose de 120 Kg N/ha como pode ser observado nas Tabelas 1.05 e 1.06. Porém, à medida que se aumenta a profundidade (assim como se diminui a matéria orgânica), essa relação se inverte, pois, a aplicação de nitrogênio passa a diminuir o C_{BMS} , com danos maiores para a dosagem de 120 Kg N/ha. Efeitos no C_{BMS} foram apenas constatados em pesquisas onde havia aplicações de nitrogênio e resíduos orgânicos simultaneamente (Sampaio et al., 1982; Graham et al., 2002; Raiesi, 2004). Portanto, a ausência de efeito e o decréscimo no C_{BMS} com a adição de nitrogênio em solos ou camadas de solo ocorreram provavelmente devido à intensa mineralização de nitrogênio (Kautz et al., 2004).

Ao contrário do que observamos neste trabalho, Raiesi (2004) encontrou uma relação de aumento de C_{BMS} com aumento da dose de nitrogênio (150 e 300 Kg N/ha) em solo cultivado com trigo. Vance et al (2001) e Kanchickerimath & Singh (2001), observaram que a aplicação de doses balanceadas de nitrogênio para a planta no solo tem efeito na BMS enquanto doses desbalanceadas (insuficientes ou excessivas) não afetam ou diminuem a BMS. Efeitos diferenciados como estes podem estar relacionados, às variações de BMS com as mudanças no crescimento da planta (Bardgett et al., 1999) e com a liberação de exsudatos pela rizosfera da planta.

QUOCIENTE METABÓLICO (qCO_2)

O quociente metabólico (qCO_2) que relaciona a respiração basal com a biomassa microbiana indica alta atividade específica por unidade de biomassa quando valores de qCO_2 forem baixos. Valores altos de qCO_2 mostram que a eficiência da atividade microbiana do solo está baixa e que os microorganismos do solo estão sob estresse ambiental (Wardle et al, 1995), pois uma biomassa microbiana eficiente libera menos carbono em forma de CO_2 pela respiração, mas incorpora carbono em sua constituição aumentando assim a sua massa microbiana (Aquino et al., 2005). Podem refletir, também, variações na proporção de BMS

metabolicamente ativa e em crescimento, pois quanto maior a proporção de BMS ativa maior será o quociente metabólico (Fisk & Fahey, 2001).

Houve interação significativa entre as doses de nitrogênio e as profundidades no qCO_2 , no perfilhamento, na floração e logo após a colheita (Tabelas 1.07, 1.08 e 1.09).

No perfilhamento (Tabela 1.07), nas camadas entre 0-10 cm a dose de 90 Kg N/ha observou-se o maior valor de qCO_2 , indicando que tal quantidade de nitrogênio desencadeia um desequilíbrio em relação à biomassa microbiana do solo, porque a atividade dos microorganismos ativos no solo aumentou, sem contudo aumentar a sua massa total (Hatch et al., 2000). Fisk & Fahey (2001) associaram o aumento do qCO_2 à maior biomassa microbiana do solo fisiologicamente ativa e não a um estresse causado pela adição de nitrogênio ao solo ou por mudanças de pH. Também não encontramos indícios de que o pH do solo possa ter influenciado o qCO_2 (Tabela 1.19). Na camada de 5-10 cm, as doses sem aplicação de nitrogênio e com aplicação de 120 Kg N/ha igualaram-se estatisticamente e foram inferiores a todas as outras médias, isso se deve à baixa respiração basal (Tabela 1.01) e ao maior carbono da biomassa microbiana (Tabela 1.04). Na camada de 0-5 cm e para as épocas de coleta no perfilhamento e na floração (Tabelas 1.07 e 1.08), há uma tendência de aumento do quociente metabólico quando aumenta-se a dose de nitrogênio, chegando ao seu ponto máximo entre as doses de 60 e 90 Kg N/ha e decaindo a partir daí.

Uma intensa competição dos microorganismos por nutrientes e substratos pode ter ocorrido, devido à falta de nitrogênio prontamente disponível no solo (Bohme et al, 2005), porém, isto não explica o efeito da dose de 120Kg N/ha. Lovel & Hatch (1998), associaram, o maior qCO_2 em solos com aplicação de nitrogênio, às altas taxas de mineralização e às baixas taxas de imobilização. Isto pode explicar, uma alta atividade microbiana, porém, sem efeitos no aumento da biomassa microbiana. Fisk & Fahey (2001) observaram que quando há aumento na quantidade de fungos no solo, há também no C_{BMS} e que a relação fungo:bactéria

diminui quando o qCO_2 está alto. Bactérias apresentam concentrações mais altas de nitrogênio na sua constituição (11%) do que os fungos (3%), e, portanto, ambientes onde há maior concentração de nitrogênio, prevalecerão populações de bactérias (Paul & Clark, 1989). Pesquisa desenvolvida por Lovell & Hatch (1998) associou o maior qCO_2 em solos com a aplicação de nitrogênio, às taxas altas de mineralização e baixas de imobilização, explicando desse modo, uma alta atividade microbiana causada basicamente pelas bactérias nitrificadoras, sem provocar efeitos no aumento da biomassa microbiana.

Na camada de 10-20 cm e na primeira época de coleta (Tabela 1.07), houve uma tendência de diminuição do qCO_2 com o aumento da dose de nitrogênio, porém o menor valor foi encontrado para a dose de 120 Kg N/ha a qual estatisticamente não diferiu das doses de 60 e 90 Kg N/ha. Na última camada, observou-se um aumento para as doses de 30 e 60 Kg N/ha, e uma diminuição para as doses 90 e 120 Kg N/ha.

Na segunda amostragem (Tabela 1.08), na camada de 0-5 cm, não foi observado nenhum efeito no quociente metabólico com a adição de nitrogênio. Na camada subsequente, foi observada a mesma tendência da primeira época de amostragem para a mesma camada. Na camada de 10-20 cm, apenas a aplicação de 30 Kg N/ha resultou em um maior valor, enquanto as outras doses não diferiram do controle. Na última profundidade de coleta, a dose de 120 Kg N/ha apresentou o maior valor, seguida do tratamento sem aplicação de nitrogênio, e posteriormente as doses 60 e 90 Kg N/ha. A dose de 30 Kg N/ha apresentou o menor quociente metabólico.

Logo após a colheita, a aplicação de nitrogênio não afetou o quociente metabólico nas camadas superficiais do solo (0-10 cm). Já na camada de 10-20 cm, a dose de 30 Kg N/ha diminuiu o quociente e as doses de 60 e 120 Kg N/ha aumentaram o mesmo. Na camada de 20-30 cm, a dose de 30 Kg N/ha não teve efeito no quociente metabólico, porém, as outras doses aumentaram o quociente metabólico. O efeito observado na camada de 0-10 cm deve-se

provavelmente, a um equilíbrio já alcançado no solo devido ao tempo desde a aplicação do nitrogênio (Anderson & Domsch, 1990), enquanto que nas camadas entre 10-30 cm, o nitrogênio que possivelmente lixiviou na forma de nitrato, ainda está a afetar a BMS.

Em relação à profundidade, percebeu-se que na maioria dos tratamentos e nas três épocas de coleta, o quociente metabólico aumentou com a mesma, devido provavelmente ao sistema de plantio direto que mantém a matéria orgânica na superfície, favorecendo a sobrevivência e equilíbrio da microbiota nas camadas superficiais. Graham et al. (2002), observaram o contrário, e justificou a diminuição com a profundidade, à menor disponibilidade de carbono metabolizável nas camadas mais profundas. No caso do presente trabalho, o aumento do qCO_2 no perfil do solo, pode ser devido a um maior desequilíbrio ou menor eficiência metabólica dos microorganismos nas camadas mais profundas.

CARBONO ORGÂNICO (C_{ORG})

Houve interação significativa entre as doses de nitrogênio e as profundidades apenas no perfilhamento e na floração, sendo que logo após a colheita houve apenas efeito das doses de nitrogênio, nas profundidades (Tabelas 1.10, 1.11 e 1.12). O nitrogênio, por ser um nutriente muito dinâmico no solo e passível de nitrificação, lixiviação e amonificação, possivelmente não encontrava-se em teores capazes de causar efeitos no carbono orgânico, aos 90 dias após o plantio.

Não houve efeito no carbono orgânico do solo (C_{ORG}) com a aplicação de nitrogênio nas camadas de 0-5, 10-20 e 20-30 cm no perfilhamento (Tabela 1.10). Porém, na camada de 5-10 cm, apenas a dose de 120 Kg N/ha foi superior ao tratamento sem aplicação de nitrogênio.

Novamente, na floração (Tabela 1.11) e na camada de 0-5 cm, apenas o tratamento com 120 Kg N/ha proporcionou o maior carbono orgânico, porém a tendência de aumento seguiu a seguinte ordem: 0, 30, 60, 90 e 120 Kg N/ha. Na camada de 20-30 cm a dose sem

aplicação de nitrogênio apresentou o maior acúmulo de carbono orgânico em relação às doses 30, 90 e 120 Kg N/ha. Trabalho de Cerny et al. (2003) também foi observada a queda no teor de carbono orgânico com adições de nitrogênio. Goyal et al. (1999) associaram um maior carbono orgânico à maior biomassa de raízes ocasionada pela adição de nitrogênio, porém aumentos não foram observados à medida que aumentou-se a dose de nitrogênio.

Para todas as épocas de coleta (Tabelas 1.10, 1.11 e 1.12), o teor de carbono orgânico diminuiu com a profundidade, assim como foi observado em outros estudos (Graham et al., 2002; Zinn et al., 2005). Correlações positivas entre C_{BMS} e C_{ORG} também foram observadas por outros autores (Houot & Chaussod, 1995; Moore et al., 2000; Bohme et al., 2005), assim como um efeito, mais pronunciado para a dose de 120 Kg N/ha. O efeito favorável da maior quantidade de matéria orgânica no solo, deve-se à maior capacidade de retenção de água, maior disponibilidade de nutrientes, melhoria das propriedades físicas do solo e a uma maior eficiência na fertilização (Benbi et al., 1998).

RELAÇÃO CARBONO DA BIOMASSA MICROBIANA DO SOLO E CARBONO ORGÂNICO ($C_{BMS}:C_{ORG}$)

A relação entre o C_{BMS} e o carbono orgânico (C_{ORG}) fornece uma medida da qualidade da matéria orgânica (Wardle, 1994), e alta relação $C_{BMS}:C_{ORG}$ é associada a uma matéria orgânica de boa qualidade (Wardle, 1992). Segundo Sparling (1992), variações dessa relação, fornece dados sobre a eficiência da conversão do C_{ORG} em C_{BMS} , estabilização do C_{ORG} na fração mineral do solo e as suas perdas.

Houve interação significativa entre as doses de nitrogênio e as profundidades na razão $C_{BMS}:C_{ORG}$ no perfilhamento (Tabela 1.13) e na floração (Tabela 1.14). No perfilhamento, o maior valor da relação $C_{BMS}:C_{ORG}$ foi encontrado na dose de 30 Kg N/ha na camada de 0-5 cm (1,30), e o menor no tratamento sem aplicação de nitrogênio, na camada de 10-20 cm (0,45). Na camada de 10-20 cm a aplicação de nitrogênio aumentou a relação $C_{BMS}:C_{ORG}$, e a

dose de 60 Kg N/ha apresentou o maior C_{BMS} , seguindo da dose de 120 Kg N/ha. Já na camada de 20-30 cm, não houve efeito da aplicação de nitrogênio na relação, com exceção da dose de 120 Kg N/ha que foi menor que o tratamento sem nitrogênio.

Na época da floração (Tabela 1.14) e na camada de 0-5 cm, a aplicação de nitrogênio ao solo aumentou a relação $C_{BMS}:C_{ORG}$ e as doses de 30, 90 e 120 Kg N/ha apresentaram os maiores valores. Já na camada de 5-10 cm, a não aplicação de nitrogênio ao solo garantiu o maior valor em relação às doses 60, 90 e 120 Kg N/ha, sendo que o menor valor foi observado na dose de 60 Kg N/ha. Na camada de 10-20 cm, as doses de 30 e 120Kg N/ha diminuíram a relação $C_{BMS}:C_{ORG}$, enquanto que as outras doses não diferenciaram do controle. Na camada de 20-30 cm, as doses 30 e 90 Kg N/ha proporcionaram aumentos na razão $C_{BMS}:C_{ORG}$, e a dose de 120 Kg N/ha, diminuiu a relação $C_{BMS}:C_{ORG}$.

Logo após a colheita (Tabela 1.15), na camada de 0-5 cm, as doses de 90 e 120 Kg N/ha aumentaram a relação, enquanto que as outras doses foram semelhantes à ausência da aplicação de nitrogênio. A aplicação de nitrogênio não alterou a relação de $C_{MIC}:C_{ORG}$, na camada de 5-10 cm. Na camada de 10-20 cm, as doses 60 e 120 Kg N/ha diminuíram a relação enquanto que as outras não diferiram do controle. A aplicação de fertilizante nitrogenado diminuiu a relação e a dose de 120 Kg N/ha proporcionou o menor valor.

pH DO SOLO

Pode-se inferir pela análise estatística (Tabelas 1.16, 1.17 e 1.18) que à medida que se aumentam as doses de nitrogênio, o pH do solo diminui em todas as épocas de avaliação. O mesmo resultado foi apresentado em outros trabalhos (Graham et al, 2005). Isso ocorreu principalmente nas profundidades de 0-5 cm e 5-10 cm. O nitrogênio diminuiu o pH do solo apenas até a camada de 10-20 cm, possivelmente pelo fato de ser um sistema de primeiro ano de plantio direto onde o sulfato de amônio foi aplicado apenas em cobertura e não incorporado. Na dose sem aplicação de nitrogênio e na de 30 Kg N/ha não houve diferença

significativa de pH nas diferentes profundidades de coleta, porém, nas outras doses o pH diminuiu nas camadas mais superficiais. Esta acidificação do solo está atribuída à nitrificação do fertilizante de sulfato de amônio e da conseqüente lixiviação do nitrato formado, liberando assim o hidrogênio no solo (Graham et al, 2002).

CORRELAÇÕES ENTRE OS PARÂMETROS AVALIADOS

Correlações positivas e significativas foram encontradas para o C_{BMS} e carbono orgânico em todas as doses de nitrogênio (Tabela 1.19).

O pH do solo se correlacionou negativamente com o C_{BMS} (Tabela 1.19) e a relação avaliada através das Tabelas de pH (Tabelas 1.16, 1.17 e 1.18) e C_{BMS} (Tabelas 1.04, 1.05 e 1.06), mostra que na camada de 0-5 cm para a coleta de solo feita na floração e após a colheita, o pH mais ácido (5,35 e 5,49) pode ter sido o responsável por esse aumento na dose de 120 Kg N/ha e o pH menos ácido (6,12 e 5,98) na parcela sem aplicação de nitrogênio pode ser o motivo do menor valor de C_{BMS} , explicação que não entra em acordo com uma grande parte das pesquisas (Fog, 1988). Segundo a revisão de literatura de Fog (1998) há também casos onde a a adição de nitrogênio e a conseqüente diminuição do pH no solo, aumentou a BMS. O pH se correlacionou negativamente com os parâmetros avaliados na dose de 120 Kg N/ha, com exceção do coeficiente respiratório que se correlacionou positivamente. Portanto, podemos inferir que a acidificação causada pela alta dose de nitrogênio, pode ter sido um dos parâmetros responsáveis pelos resultados. Porém, a razão destes resultados ainda é desconhecida e há muito a ser pesquisado, devido a vários fatores que podem afetar a microbiota do solo, como temperatura, umidade e qualidade do substrato (Moreira & Siqueira, 2002).

Como era de se esperar, houve correlações significativas e positivas entre o C_{BMS} e a relação $C_{BMS}:C_{ORG}$. Esta correlação foi também observada na época do perfilhamento na camada de 0-5 cm com a adição de nitrogênio ao solo, através das Tabelas de C_{BMS} (Tabelas

1.04) e da relação $C_{BMS}:C_{ORG}$ (Tabelas 1.13). A aplicação de 30 Kg N/ha proporcionou o maior valor da razão $C_{BMS}:C_{ORG}$, seguindo da dose de 90 e 60 Kg N/ha, sendo que a dose de 120 Kg N/ha foi estatisticamente igual à dose sem aplicação de nitrogênio e forneceu o menor valor. Percebe-se, que a adição de doses altas de nitrogênio (120 Kg N/ha) no solo, na camada de 0-5 cm, não proporcionou nenhuma melhoria na qualidade da matéria orgânica e tampouco um maior aproveitamento desta pelos microorganismos na época do perfilhamento e na camada de 0-5 cm. O trabalho desenvolvido por Vance et al. (2001), mostrou que quando nitrogênio foi aplicado em solo onde a matéria orgânica era de boa qualidade (relação $C_{BMS}:C_{ORG}$ alta), houve uma maior imobilização deste nitrogênio na biomassa microbiana e também uma menor respiração microbiana, ao contrário de um solo com matéria orgânica de baixa qualidade (relação $C_{BMS}:C_{ORG}$ baixa).

Na época do perfilhamento, na camada de 5-10 cm observa-se que as doses de 30 e 120 Kg N/ha não diferiram do tratamento sem aplicação de nitrogênio para o C_{BMS} (Tabela 1.03). Ao contrário, para a mesma época de coleta e perfil de solo, a respiração basal (Tabela 1.01) teve os menores valores de respiração para as doses sem aplicação de nitrogênio e de 120 Kg N/ha. Isto mostra que não houve perda de carbono na forma de CO_2 para a doses de 120 Kg N/ha, mas sim, uma manutenção deste nos tecidos microbianos, sendo observados resultados com um menor valor de quociente metabólico (qCO_2).

Já na segunda amostragem, na floração da cultura e na camada de 0-5 cm, a aplicação de 120 Kg N/ha proporcionou o maior valor de C_{BMS} (Tabela 1.05) enquanto que para a respiração basal, o maior valor foi encontrado para as doses de 60 e 90 Kg N/ha (Tabela 1.02). Este resultado mostra que na época da floração, onde a planta está bem desenvolvida e com maior massa vegetal, a dose de 120 Kg N/ha foi favorável ao crescimento dos microorganismos na camada de 0-5 cm.

CONCLUSÕES

1. Em geral, a adubação nitrogenada aumentou o qCO_2 e a atividade respiratória microbiana, principalmente nas doses entre 60 e 90 Kg N/ha.
2. O CBMS em geral, diminuiu com a profundidade, com exceção do tratamento sem adubação nitrogenada.
3. Em doses mais elevadas, em geral, houve diminuição do CBMS e da razão CBMS:CORG com a aplicação de nitrogênio, principalmente nas camadas mais profundas do solo.
4. Houve correlações negativas entre a razão $C_{BMS}:C_{ORG}$ e o pH do solo, apenas na dose de 120 Kg N/ha.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDERSON T. H., DOMSCH, K. H. (1990) Application of eco-physiological quotients (qCO_2 and qD) on microbial biomasses from soils of different cropping histories. **Soil Biology & Biochemistry** 22, 251-255.

ANDERSON, J. P. E., DOMSCH, K. H. Quantities of plant nutrients in the microbial biomass of selected soils. **Soil science**, Baltimore, v. 130, n. 4, p. 211-6, 1980.

ANDERSON, T. ., DOMSCH, K. H. Ratios of microbial biomass carbon to total organic carbon in arable soils. **Soil Biol. Biochem.** Vol. 21, No. 4, pp. 471-479, 1989.

AQUINO, A. M., SILVA, E. M. R., SAGGIN JUNIOR, O., RUMJANEK, N., DE POLLI, H., REIS, V. M. A biota do solo e processos relevantes num novo contexto da agricultura. In: **Recomendações para adubação e manejo da fertilidade do solo no estado do Acre**. Rio Branco, 2005, v. prelo, cap. 4.

BALOTA, E. L., COLOZZI FILHO, A. ANDRADE, D. S., DICK, R. P. Long-term aand crop rotation effect on microbial biomass and C and N mineralization in a Brazilian Oxisol. **Soil & Tillage Research** 77 (2004) 137-145.

BARDGETT, R. D., MAWDSLEY, J. L. EDWARDS, S., HOBBS, P. J., RODWELL, J. S. & DAVIES, W. J. Plant species and nitrogen effects on soil microbiological properties of temperate upland grasslands. **Functional Ecology**, 13, 650-660, 1999.

BENBI, D. K., BISWAS, C. R., BAWA, S. S., KUMAR, K., 1998. Influence of farmyard manure, inorganic fertilizers, wed control practices on some physical properties in a long-term experiment. **Soil Use Manage.** 14, 52-54.

BOHME, L., BOHME, F. Soil microbiological and biochemical properties affected by plant growth and different long-term fertilization. **European Journal of Soil Biology**, 2005.

BOWDEN, R. D., DAVIDSON, E., SAVAGE, K., ARABIA, C., STEUDLER, P. Chronic nitrogen additions reduce total soil respiration in temperate forest soils at the Harvard Forest. **Forest Ecology and Management** 196 (2004) 43-56.

CERNY, J., BALÍK, D. P., ZITKOVÁ, M., SÝKORA, K. The influence of organic and mineral nitrogen fertilizers on microbial biomass nitrogen and extractable organic nitrogen in long-term experiments with maize. **Plant Soil Environ.**, 49, 2003 (12): 560-564.

CHU, H. Y., HOSEN, Y. YAGI, K., OKADA, K., ITO, O. Soil microbial biomass and activities in a Japanese Andisol as affected by controlled release and application depth of urea. **Biol. Fertil. Soils** (2005) 42: 89-96.

COMPTON, J. E., WATRUD, L. S., PORTEOUS, L. A., DEGROOD, S. Response of soil microbial biomass and community composition to chronic nitrogen additions at Harvard Forest. **Forest Ecology and Management** 196 (2004) 143-158.

DILLY, O., BLUME, H. P., MUNCH, J. C. Soil microbial activities in Luvisols and Anthrosols during 9 years of region-typical tillage and fertilization practices in northern Germany. **Biogeochemistry** 65: 319-339, 2003.

FISK, M. C., FAHEY, T. J. Microbial biomass and nitrogen cycling responses to fertilization and litter removal in young northern hardwood forests. **Biogeochemistry** 53: 201-223, 2001.

FOG, K. The effect of added nitrogen on the rate of decomposition of organic matter. **Biol. Rev.** 63, 433-462, 1988.

GOYAL, S. CHANDER, K., MUNDRA, M. C., KAPOOR, K. K. Influence of inorganic fertilizers and organic amendments on soil organic matter and soil microbial properties under tropical conditions. **Biol. Fertil. Soils** (1999) 29: 196-200.

GRAHAM, M. H., HAYNES, R. J., MEYER, J. H. Soil organic matter content and quality: effects of fertilizer applications, burning and trash retention on a long-term sugarcane experiment in South Africa. **Soil Biology & Biochemistry** 34 (2002) 93-102.

GRAHAM, M. H., HAYNES, R.J. Organic matter accumulation and fertilizer-induced acidification interact to affect soil microbial and enzyme activity on a long term sugarcane management experiment. **Biol Fertil Soils** (2005) 249-256.

HOUOT, S. CHAUSSOD, R. Impact of agricultural practices on the size and activity of the microbial biomass in a long-term field experiment. **Biol. Fertil. Soils** (1995) 19: 309-316.

HU, S., VAN BRUGGEN, A. H. C. Microbial dynamics associated with multiphasic decomposition of ¹⁴C-labelled cellulose in soil. **Microbial Ecology** 33, 134-143, 1997.

INSAM, H. Developments in soil microbiology since the mid 1960s. **Geoderma** 100, 389-402, 2001.

JENKINSON, D. S., LADD, J. N. Microbial biomass in soil: measurement and turnover. In: PAUL, E. A., LADD, J. N. **Soil Biochemistry**. New York: Marcel Dekker, v. 5, p. 415-471, 1981.

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** 86 (2001) 155-162.

KAUTZ, T. WIRTH, S. ELLMER, F. Microbial activity in a sandy arable soil is governed by the fertilization regime. **European Journal of Soil Biology**. 40 (2004) 87-94.

KEYSER, P. T., KIRK, K., ZEIKUS, J. G. Ligninolytic enzyme system of *phanerochaete chrysosporium*: synthesized in the absence of lignin in response to nitrogen starvation. **Journal of bacteriology** 135, 790-797, 1978.

LOVELL, R. D., HATCH, D. J. Stimulation of microbial activity following spring applications of nitrogen. **Biol. Fertil. Soils** (1998) 26: 28-30.

LOVELL, R. D., JARVIS, S. C. Soil microbial biomass and activity in soil from different grassland management treatments stored under controlled conditions. **Soil Biol. Biochem.** Vol. 30, No. 14, pp. 2077-2085, 1998.

LOVELL, R. D., JARVIS, S. C., BARDGETT, R. D. Soil microbial biomass and activity in long-term grassland: effects of management changes. **Soil Biol. Biochem.** Vol. 27. No. 7, pp. 969-975, 1995.

MAHMOOD, T., AZAM, F., HUSSAIN, F., MALIK, K. A. Carbon Availability and microbial biomass in soil under an irrigated wheat-maize cropping system receiving different fertilizer treatments. **Biol Fertil Soils** (1997) 25: 63-68.

MATSUOKA, M., MENDES, J. C., LOUREIRO, M. F. Biomassa microbiana e atividade enzimática em solos sob vegetação nativa e sistemas agrícolas anuais e perenes na região primavera do leste (MT). **R. Bras. Ci. Solo**, 27: 425-433, 2003.

MOORE, J. M., KLOSE, S., TABATABAI, M. A. Soil microbial biomass carbon and nitrogen as affected by cropping systems. **Biol Fertil Soils** (2000) 31: 200-210.

MOREIRA, F. M. S., SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: Editora UFLA, 2002. 625p.

NOHRSTEDT, H. O., ARNEBRANT, K., BAATH, E., SODERSTROM, B. Changes in carbon content, respiration rate, ATP content and microbial biomass in nitrogen fertilized pine forest soils in Sweden. **Canadian Journal of Forest Research** 19, 323-328, 1989.

PARKIN, T. B.; DORAN, J. W.; FRANCO-VIZCAÍNO, E. Field and laboratory tests of soil respiration. In: DORAN, J. W.; JONES, A. J. **Methods for assessing soil quality**. Madison: Soil Science Society of America, 1996, p. 231- 245.

PATERSON, E. Importance of rhizodeposition in the coupling of plant and microbial productivity. **European Journal of Soil Science**, December 2003, 54, 741-750.

PAUL, E. A., CLARK, F. E. **Soil Microbiology and Biochemistry**. San Diego, CA, Academic Press, 1989. 275p.

PEREZ, K. S. S., RAMOS, M. L. G., McManus, C. Carbono da biomassa microbiana em solo cultivado com soja sob diferentes sistemas de manejo nos cerrados. **Pesq. Agropec. Bras., Brasília**, v. 39, p. 567-573, jun. 2004.

RAIESI, F. Soil properties and N application effects on microbial activities in two winter wheat cropping systems. **Biol. Fertil. Soils** (2004) 40: 88-92.

SAMPAIO, E. V. S. B., SALCEDO, I. H. Efeito da adição de nitrogênio e palha na liberação de CO₂ e formação de biomassa microbiana em Latossolo vermelho-amarelo. **R. Bras. Ci. Solo** 6: 177-181, 1982.

SCHLESINGER, W. H., ANDREWS, J. A. Soil respiration and the global carbon cycle. **Biogeochemistry** 48: 7-20, 2000.

SMITH, J. L., PAUL, E. A. The significance of soil microbial biomass estimations. In: BOLLAG, J. M., STOTSKY, G. **Soil Biochemistry**. New York: Marcel Dekker, v. 6, p. 357-396, 1990.

SODERSTROM, B., BAATH, E., LUNDGREN, B. Decrease in soil microbial activity and biomass owing to nitrogen amendments. **Can. J. Microbiol.** Vol. 29, 1983.

SPARLING, G. P. Ratio of microbial biomass carbon to soil organic carbon as a sensitive indicator of changes in soil organic matter. **Australian Journal Soil research**, Victoria, n. 30, p. 195-207, 1992.

SVENSSON, K., PELL, M. Soil microbial tests for discriminating between different cropping systems and fertilizer regimes. **Biol Fertil Soils** (2001) 33: 91-99.

VANCE, E. D., BROOKES, P. C., JENKINSON, D. S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. **Soil Biol. Biochem.**, v.19, p.703-707, 1987.

VANCE, E. D., CHAPIN III, F. S. Substrate limitations to microbial activity in taiga forest floors. **Soil Biology & Biochemistry** 33, 173-188, 2001.

WALKLEY, A., BLACK, I. A. An examination of the degtjareff method for determining soil organic matter and proposed modification of the chronic tritration method. **Soil Science**, v. 37, p. 29-38, 1934.

WARDLE, D. A. A comparative assessment of factors which influence microbial biomass carbon and nitrogen levels in soil. **Biol. Rev.** (1992), 67, pp. 321-358.

WARDLE, D. A. Metodologia para a quantificação da biomassa microbiana do solo. In: HUNGRIA, M., ARAÚJO, R. S. **Manual de métodos empregados em estudos de microbiologia agrícola**. Embrapa, Brasília, DF. 1994, 542p.

ZAMAN, M., CAMERON, K. C., DI, H. J., INUBUSHI, K. Changes in mineral N, microbial biomass and enzyme activities in different soil depths after surface applications of dairy shed effluent and chemical fertilizer. **Nutrient Cycling in Agroecosystems** 63: 275-290, 2002.

ZINN, Y. L., LAL, R., RESCK, D. V. S. Changes in soil organic carbon stocks under agriculture in Brazil. **Soil & Tillage Research** 84 (2005) 28-40.

ZONTA, E.P.; MACHADO, A.D. & SILVEIRA JUNIOR, P. **SANEST: Sistema de Análise Estatística para microcomputadores (Software)**. Pelotas, 1984.

Tabela 1.01: Respiração basal do solo (mg C-CO₂/Kg solo/dia) em solo cultivado com cevada e submetido a diferentes doses de N, em quatro profundidades, no perfilhamento⁽¹⁾.

Profundidade(cm)	Doses de N (Kg/ha)				
	0	30	60	90	120
0-5	9,49bA	15,63aA	17,02aA	17,10aB	10,48bAB
5-10	10,56cA	16,67bA	15,66bAB	20,21aA	11,58cA
10-20	9,75bA	15,14aAB	15,30aAB	9,52bC	10,79bAB
20-30	6,14bB	12,20aB	12,85aB	5,93bD	8,29bB

⁽¹⁾Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas linhas (comparação entre doses) e maiúscula nas colunas (comparação entre as profundidades), não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 1.02: Respiração basal do solo (mg C-CO₂/Kg solo/dia) em solo cultivado com cevada e submetido a diferentes doses de N, em quatro profundidades, na floração⁽¹⁾.

Profundidade(cm)	Doses de N (Kg/ha)				
	0	30	60	90	120
0-5	8,61cB	11,94bB	14,11aA	14,66aA	11,29bA
5-10	11,54bcA	12,57bAB	14,59aA	15,50aA	10,67cA
10-20	12,06bA	14,00aA	11,79bB	11,44bB	9,09cB
20-30	12,41aA	9,41bC	9,29bC	9,09bC	5,71cC

⁽¹⁾Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas linhas (comparação entre doses) e maiúscula nas colunas (comparação entre as profundidades), não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 1.03: Respiração basal do solo (mg C-CO₂/Kg solo/dia) em solo cultivado com cevada e submetido a diferentes doses de N, em quatro profundidades, logo após a colheita⁽¹⁾.

Profundidade(cm)	Doses de N (Kg/ha)				
	0	30	60	90	120
0-5	10,39bcA	10,02cA	15,12aA	11,47abcA	14,58abA
5-10	9,76abAB	7,00bAB	12,15aAB	7,97abA	5,52bC
10-20	6,33abB	3,52bBC	10,49aB	7,86aA	10,55aB
20-30	6,61abB	2,07cC	6,20abcC	8,25aA	3,41bcC

⁽¹⁾Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas linhas (comparação entre doses) e maiúscula nas colunas (comparação entre as profundidades), não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 1.04: Carbono da biomassa microbiana do solo (mg C. Kg⁻¹ de solo) em solo cultivado com cevada e submetido a diferentes doses de N, em quatro profundidades, no perfilhamento⁽¹⁾.

Profundidade(cm)	Doses de N (Kg/ha)				
	0	30	60	90	120
0-5	140,82bA	230,27aA	182,72abAB	160,26bA	132,09bB
5-10	149,80abA	158,76aB	99,19bcC	80,39cC	159,31aAB
10-20	79,09cB	136,15bB	217,08aA	112,34bcBC	195,55aA
20-30	131,43aA	127,58aB	152,57aB	142,76aAB	121,13aB

⁽¹⁾Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas linhas (comparação entre doses) e maiúscula nas colunas (comparação entre as profundidades), não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 1.05: Carbono da biomassa microbiana do solo (mg C. Kg⁻¹ de solo) em solo cultivado com cevada e submetido a diferentes doses de N, em quatro profundidades, na floração⁽¹⁾.

Profundidade(cm)	Doses de N (Kg/ha)				
	0	30	60	90	120
0-5	157,46cB	254,14abA	235,58bA	247,17bA	297,31aA
5-10	236,39aA	183,63bB	113,13cBC	170,64bB	180,78bB
10-20	182,33aB	139,26abC	131,31bB	151,69abB	118,23bC
20-30	90,14bC	112,28abC	85,07bC	143,21aB	33,72cD

⁽¹⁾Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas linhas (comparação entre doses) e maiúscula nas colunas (comparação entre as profundidades), não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 1.06: Carbono da biomassa microbiana do solo (mg C. Kg⁻¹ de solo) em solo cultivado com cevada e submetido a diferentes doses de N, em quatro profundidades, logo após a colheita⁽¹⁾.

Profundidade(cm)	Doses de N (Kg/ha)				
	0	30	60	90	120
0-5	157,72dAB	198,10bcA	178,66cdA	228,88abA	241,94aA
5-10	164,52bcA	151,88cdB	198,46abA	124,10dB	204,96aB
10-20	125,65abB	155,62aB	91,60bcB	156,87aB	78,35cC
20-30	139,78aAB	67,23bcC	52,31bcC	79,08bC	34,82cD

⁽¹⁾Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas linhas (comparação entre doses) e maiúscula nas colunas (comparação entre as profundidades), não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 1.07: Quociente metabólico (mg C/Kg solo/dia) em solo cultivado com cevada e submetido a diferentes doses de N, em quatro profundidades, no perfilhamento⁽¹⁾.

Profundidade(cm)	Doses de N (Kg/ha)				
	0	30	60	90	120
0-5	0,07bB	0,07bB	0,09abB	0,11aB	0,08abA
5-10	0,07dAB	0,11cA	0,20bA	0,26aA	0,06dA
10-20	0,10abA	0,11aA	0,07bcB	0,08abcB	0,05cA
20-30	0,04bcB	0,08aAB	0,08aB	0,03cC	0,07abA

⁽¹⁾Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas linhas (comparação entre doses) e maiúscula nas colunas (comparação entre as profundidades), não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 1.08: Quociente metabólico (mg C/Kg solo/dia) em solo cultivado com cevada e submetido a diferentes doses de N, em quatro profundidades, na floração⁽¹⁾.

Profundidade(cm)	Doses de N (Kg/ha)				
	0	30	60	90	120
0-5	0,05abB	0,05abB	0,06abD	0,06aB	0,04bC
5-10	0,05dB	0,08cA	0,15aA	0,11bA	0,06dB
10-20	0,07bB	0,10aA	0,08abC	0,08bB	0,08bB
20-30	0,14bA	0,08dA	0,11cB	0,06eB	0,17aA

⁽¹⁾Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas linhas (comparação entre doses) e maiúscula nas colunas (comparação entre as profundidades), não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 1.09: Quociente metabólico (mg C/Kg solo/dia) em solo cultivado com cevada e submetido a diferentes doses de N, em quatro profundidades, logo após a colheita⁽¹⁾.

Profundidade(cm)	Doses de N (Kg/ha)				
	0	30	60	90	120
0-5	0,07abA	0,06bA	0,08aBC	0,05bB	0,06abC
5-10	0,05abA	0,05abAB	0,06aC	0,06aB	0,03bD
10-20	0,05cA	0,02dC	0,10bAB	0,04cdB	0,13aA
20-30	0,05cA	0,02cBC	0,12abA	0,12aA	0,10bB

⁽¹⁾Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas linhas (comparação entre doses) e maiúscula nas colunas (comparação entre as profundidades), não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 1.10: Carbono orgânico (g/Kg solo) em solo cultivado com cevada e submetido a diferentes doses de N, em quatro profundidades, no perfilhamento⁽¹⁾.

Profundidade(cm)	Doses de N (Kg/ha)				
	0	30	60	90	120
0-5	18,55aA	18,60aA	18,57aA	18,83aA	18,52aA
5-10	17,63bAB	19,03abA	17,45bAB	18,19abA	19,89aA
10-20	17,63abAB	18,01abA	17,08bAB	17,76abA	19,52aA
20-30	16,26aB	16,21aB	15,96aB	15,39aB	15,09aB

⁽¹⁾Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas linhas (comparação entre doses) e maiúscula nas colunas (comparação entre as profundidades), não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 1.11: Carbono orgânico (g/Kg solo) em solo cultivado com cevada e submetido a diferentes doses de N, em quatro profundidades, na floração⁽¹⁾.

Profundidade(cm)	Doses de N (Kg/ha)				
	0	30	60	90	120
0-5	18,29bA	19,28abA	19,64abA	20,70abA	20,93aA
5-10	18,78aA	18,80aA	19,04aAB	18,67aB	19,12aA
10-20	18,42abA	18,20abA	17,23bB	18,02abB	20,29aA
20-30	17,15aA	13,73bB	14,67abC	14,30bC	13,72bB

⁽¹⁾Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas linhas (comparação entre doses) e maiúscula nas colunas (comparação entre as profundidades), não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 1.12: Carbono orgânico (g/Kg solo) em solo cultivado com cevada e submetido a diferentes doses de N, em quatro profundidades, logo após a colheita⁽¹⁾.

Profundidade(cm)	Doses de N (Kg/ha)					Médias
	0	30	60	90	120	
0-5	18,63	19,18	18,97	18,66	20,53	19,20A
5-10	18,51	18,44	18,46	17,43	19,24	18,42AB
10-20	18,02	17,59	17,91	17,07	18,15	17,74B
20-30	14,46	12,19	14,16	13,13	12,71	13,33C
Médias	17,40a	16,85a	17,38a	16,57a	17,66a	

⁽¹⁾Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas linhas (comparação entre doses) e maiúscula nas colunas (comparação entre as profundidades), não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 1.13: $C_{BMS}:C_{ORG}$ (%) em solo cultivado com cevada e submetido a diferentes doses de N, em quatro profundidades, no perfilhamento⁽¹⁾.

Profundidade(cm)	Doses de N (Kg/ha)				
	0	30	60	90	120
0-5	0,76cB	1,30aA	0,98bB	0,94bA	0,72cB
5-10	0,85aAB	0,94aB	0,47bC	0,47bC	0,86aAB
10-20	0,45dC	0,73cC	1,23aA	0,64cB	1,00bA
20-30	0,97aA	1,01aB	0,94abB	1,01aA	0,80bB

⁽¹⁾Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas linhas (comparação entre doses) e maiúscula nas colunas (comparação entre as profundidades), não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 1.14: $C_{BMS}:C_{ORG}$ (%) em solo cultivado com cevada e submetido a diferentes doses de N, em quatro profundidades, na floração⁽¹⁾.

Profundidade(cm)	Doses de N (Kg/há)				
	0	30	60	90	120
0-5	0,86cB	1,32aA	1,08bA	1,32aA	1,42 aA
5-10	1,26aA	1,09abB	0,59cC	0,93bB	0,94bB
10-20	0,99aB	0,68bcC	0,83abB	0,93aB	0,59cC
20-30	0,52bC	0,93aB	0,50bC	1,07aB	0,25cD

⁽¹⁾Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas linhas (comparação entre doses) e maiúscula nas colunas (comparação entre as profundidades), não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 1.15: $C_{BMS}:C_{ORG}$ (%) em solo cultivado com cevada e submetido a diferentes doses de N, em quatro profundidades, logo após a colheita⁽¹⁾.

Profundidade(cm)	Doses de N (Kg/ha)				
	0	30	60	90	120
0-5	0,84bB	1,04abA	0,94bA	1,23aA	1,18aA
5-10	0,89abAB	0,82bAB	1,08aA	0,71bBC	1,07aA
10-20	0,76aB	0,81aB	0,51bB	0,93aB	0,43bB
20-30	1,07aA	0,56bcC	0,37cdB	0,61bC	0,28dB

⁽¹⁾Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas linhas (comparação entre doses) e maiúscula nas colunas (comparação entre as profundidades), não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 1.16: pH do solo em solo cultivado com cevada e submetido a diferentes doses de N, em quatro profundidades, no perfilhamento⁽¹⁾.

Profundidade(cm)	Doses de N (Kg/ha)				
	0	30	60	90	120
0-5	5,90aA	5,65abA	5,48bcB	5,50bB	5,21cC
5-10	5,87aA	5,65abA	5,68abAB	5,70abAB	5,55bB
10-20	5,80aA	5,80aA	5,89aA	5,74aA	5,83aA
20-30	5,93aA	5,80aA	5,84aA	5,81aA	5,69aAB

⁽¹⁾Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas linhas (comparação entre doses) e maiúscula nas colunas (comparação entre as profundidades), não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 1.17: pH do solo em solo cultivado com cevada e submetido a diferentes doses de N, em quatro profundidades, na floração⁽¹⁾.

Profundidade(cm)	Doses de N (Kg/ha)				
	0	30	60	90	120
0-5	6,12aA	5,83bA	5,66bA	5,60bcB	5,35cC
5-10	6,03aA	5,78abA	5,79abA	5,77abAB	5,56bBC
10-20	6,02aA	5,95abA	5,85abA	5,91abA	5,72bB
20-30	6,01aA	6,00aA	5,88aA	5,90aA	6,03aA

⁽¹⁾Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas linhas (comparação entre doses) e maiúscula nas colunas (comparação entre as profundidades), não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 1.18: pH do solo em solo cultivado com cevada e submetido a diferentes doses de N, em quatro profundidades, logo após a colheita⁽¹⁾.

Profundidade(cm)	Doses de N (Kg/ha)				
	0	30	60	90	120
0-5	5,98aA	5,80abA	5,65bcB	5,65bcB	5,49cC
5-10	5,84aA	5,73aA	5,76aAB	5,70aB	5,59aBC
10-20	5,84aA	5,83aA	5,88aA	5,86aAB	5,77aAB
20-30	5,90aA	5,87aA	5,91aA	5,92aA	5,98aA

⁽¹⁾Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas linhas (comparação entre doses) e maiúscula nas colunas (comparação entre as profundidades), não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 1.19: Coeficiente de Correlação Linear de Pearson entre carbono da biomassa microbiana (C_{BMS}), carbono orgânico (C_{ORG}), relação C_{BMS} e C_{ORG} , quociente metabólico (qCO_2), respiração basal (RB) e pH nas diferentes dose de nitrogênio em Kg N/ha, considerando os dados individuais de todas as épocas e profundidades, para cada dose.

Variável	C_{BMS}	C_{ORG}	$C_{BMS}:C_{ORG}$	qCO_2	pH
DOSE 0					
C_{BMS}	-	0,346*	0,906**	-0,353*	0,211ns
C_{ORG}	0,346*	-	0,370ns	-0,250ns	0,335*
$C_{BMS}:C_{ORG}$	0,906**	0,370ns	-	-0,521**	0,118ns
qCO_2	-0,353*	-0,250ns	-0,521**	-	0,120ns
RB	0,218ns	0,368*	-0,550ns	0,583**	0,273ns
DOSE 30					
C_{BMS}	-	0,697**	0,752**	-0,181ns	-0,347*
C_{ORG}	0,697**	-	0,386*	0,050 ns	-0,555**
$C_{BMS}:C_{ORG}$	0,752**	0,386*	-	-0,018ns	-0,145ns
qCO_2	-0,181ns	0,050 ns	-0,018ns	-	0,056ns
RB	0,396*	0,499*	0,400*	0,719**	-0,308ns
DOSE 60					
C_{BMS}	-	0,558**	0,929**	-0,339*	-0,283ns
C_{ORG}	0,558**	-	0,422*	0,075ns	-0,489**
$C_{BMS}:C_{ORG}$	0,929**	0,422*	-	-0,407*	-0,224ns
qCO_2	-0,339*	0,075ns	-0,407*	-	-0,053ns
RB	0,472*	0,420*	0,500**	0,262ns	-0,294 ns
DOSE 90					
C_{BMS}	-	0,520**	0,872**	-0,514**	-0,343*
C_{ORG}	0,520**	-	0,184ns	0,068ns	-0,477**
$C_{BMS}:C_{ORG}$	0,872**	0,184ns	-	-0,634**	-0,186ns
qCO_2	-0,514**	0,068ns	-0,634**	-	0,003ns
RB	0,093ns	0,446**	-0,27ns	0,550**	-0,450**
DOSE 120					
C_{BMS}	-	0,737**	0,980**	-0,677**	-0,625**
C_{ORG}	0,737**	-	0,626**	-0,472**	-0,533**
$C_{BMS}:C_{ORG}$	0,980**	0,626**	-	-0,684**	-0,618**
qCO_2	-0,677**	-0,472**	-0,684**	-	0,386*
RB	0,608**	0,633**	0,580**	-0,241ns	-0,577**

* - significativo a 5%; ** - significativo a 1%; ns - não significativo

CAPÍTULO 2

DOSES DE NITROGÊNIO E SEU EFEITO NO NITROGÊNIO DA BIOMASSA MICROBIANA DO SOLO NO CERRADO

(Trabalho a ser enviado para a revista Pesquisa Agropecuária Brasileira - PAB)

DOSES DE NITROGÊNIO E SEU EFEITO NO NITROGÊNIO DA BIOMASSA MICROBIANA DO SOLO NO CERRADO

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito de doses de nitrogênio no nitrogênio da biomassa microbiana do solo (N_{BMS}), em diferentes profundidades, em um Latossolo Vermelho Amarelo cultivado com cevada. O experimento foi instalado em junho de 2004, em área experimental de primeiro ano de plantio direto da Embrapa Cerrados no Distrito Federal, a qual foi anteriormente cultivada com milho por três anos e posteriormente com soja por duas safras. Foram utilizados os seguintes tratamentos: quatro doses de nitrogênio (30, 60, 90 e 120 Kg N/ha) e o controle sem adubação nitrogenada. As amostras de solo foram coletadas em quatro profundidades: 0-5, 5-10, 10-20 e 20-30 cm, com três repetições e em três épocas: perfilhamento pleno, floração e logo após a colheita. O N_{BMS} e a razão $N_{BMS}:N_{TOTAL}$ diminuíram com a profundidade. Em geral, doses mais elevadas de nitrogênio não aumentaram o N_{BMS} . O N_{TOTAL} não foi alterado nas diferentes doses de nitrogênio, mas diminuiu com a profundidade. Houve correlação negativa entre o N_{BMS} e o pH do solo em todas as doses de nitrogênio, com exceção da dose zero. Houve também, correlação positiva entre a razão $N_{BMS}:N_{TOTAL}$ e o N_{BMS} , porém não entre a razão $N_{BMS}:N_{TOTAL}$ e o N_{TOTAL} .

Termos de indexação: qualidade do solo, nitrogênio total, cevada

NITROGEN DOSES AND ITS EFFECT ON SOIL MICROBIAL BIOMASS

NITROGEN IN THE CERRADO

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the effect of different nitrogen doses and soil depths on soil microbial biomass nitrogen (N_{SMB}) in a sandy textured Oxisol, cultivated with barley. The experiment was installed in June, 2004, in an area located at Embrapa Cerrados, Federal District, which had been cultivated with millet for three years and subsequently with soya beans for two seasons. A first year no-till system was established for the first time in this experiment. The treatments were four doses of nitrogen (30, 60, 90 e 120 Kg N/ha) and a control without it. Soil samples were collected in four depths: 0-5, 5-10, 10-20 e 20-30 cm, with three replicates and in three sampling periods: tillering, flowering and right after the harvest. The N_{BMS} and $N_{SMB}:N_{TOTAL}$ decreased with depth. As a whole, higher doses of nitrogen didn't increase the N_{SMB} . The N_{TOTAL} wasn't altered with the application of nitrogen, but it decreased with depth. There were negative correlations between the N_{BMS} and soil pH for all the doses, with an exception for the treatment without nitrogen. There were also positive correlations between the $N_{SMB}:N_{TOTAL}$ and N_{BMS} , but not between $N_{BMS}:N_{TOTAL}$ and N_{TOTAL} .

Index terms: soil quality, total nitrogen, barley

INTRODUÇÃO

O nitrogênio é o nutriente mais demandado pelas plantas e o quarto elemento mais comum na sua composição, perdendo apenas para o carbono, hidrogênio e oxigênio (Paul & Clark, 1989). Porém, o nitrogênio é, também, o único entre os nutrientes essenciais ao crescimento das plantas, que não é liberado pelo intemperismo de minerais nos solos e, portanto, uma quantidade mínima deste é encontrada na forma mineral ($N-NH_4$ e $N-NO_3$), sendo que esta é a forma assimilada pelas culturas (Schulten & Schnitzer, 1998). Assim, o nitrogênio disponível no solo encontra-se quase que totalmente complexado na forma orgânica (98%), dependendo dos microorganismos presentes no solo para a sua transformação e, conseqüente, absorção pelas plantas. A deficiência do nitrogênio no solo, somada à grande demanda pelas plantas, faz com que seja um dos nutrientes que mais limita a produção da maioria das culturas (Camargo, 1996).

Apesar de representar uma baixa percentagem de nitrogênio total (1 a 5%) do solo, a biomassa microbiana do solo (BMS), que corresponde à parte viva e ativa da matéria orgânica, é uma indicadora sensível das mudanças no solo (Moreira & Siqueira, 2002; Smith & Paul, 1990), porque é a principal responsável pelas transformações da matéria orgânica, pela ciclagem de nutrientes e pelo fluxo de energia no solo (Jenkinson & Ladd, 1981). A BMS funciona como um reservatório lábil de carbono e de nutrientes importantes para a produção vegetal (Joergensen and Scheu, 1999; Thirukkumaran and Parkinson, 2000), como o nitrogênio, o fósforo e enxofre, pois os utiliza para o seu crescimento e metabolismo, podendo, assim, imobilizar 100 Kg de nitrogênio e 80 kg de fósforo por hectare (Anderson & Domsch, 1980).

Sabe-se que apenas entre 40 a 60 % do nitrogênio aplicado na forma de fertilizantes é absorvido pelas plantas e 20-50 % é incorporado ao solo como nitrogênio orgânico (Furtini Neto et al., 2001). Porém, pouco se sabe sobre o efeito causado pelas aplicações de

fertilizantes nitrogenados na biomassa microbiana do solo, principalmente em ecossistemas tropicais, e em solos sob cerrado. Segundo Jenkinson e Ladd (1981), a biomassa microbiana é a fonte principal de disponibilidade de nutrientes, sendo uma das maneiras de conservar o fertilizante nitrogenado no sistema solo-planta e imobilizá-lo por um determinado período.

O crescimento microbiano é limitado, muitas vezes, pela escassez de nutrientes encontrados no solo, mas a adição de fontes de carbono ou nitrogênio ao solo pode aumentar a biomassa e com isso imobilizá-los na sua constituição celular (Peacock et al., 2001; Raiesi, 2004; Graham et al., 2002; Vance & Chapin III, 2001). Por sua vez, a adição de nitrogênio ao solo tem mostrado efeito neutro (Moore et al., 2000; Hatch et al., 2000; Tiquia et al., 2002), de aumento (McCarty et al., 1995; Vance & Chapin III, 2001; Zaman et al., 2002; Peacock et al., 2001; Silvan et al., 2003; Ledgard et al., 1998) e de diminuição (Fisk & Fahey, 2001; Cerny et al., 2003; Lovell et al., 1995) do N_{BMS} , em sistemas agrícolas e florestais. Têm-se observado um aumento da acidez do solo causada pela adição dos fertilizantes nitrogenados e, algumas vezes, associada às mudanças no N_{BMS} (Moore et al., 2000; Witter et al., 1993). Foram encontradas, também, associações entre o aumento do N_{BMS} com uma maior fertilidade causada pela adição de nitrogênio e o subsequente retorno dos restos vegetais ao solo (Hatch et al., 2000; Silvan et al., 2003; Zaman et al., 2002). Outros estudos mostraram que a adição de fertilizantes nitrogenados na superfície do solo afeta a BMS e sua atividade, não apenas nas camadas superficiais, mas também nas camadas mais profundas. (Zaman et al., 2002).

A disponibilidade de nutrientes e a produtividade de agroecossistemas dependem, grandemente, do tamanho e da atividade da BMS, pois esta representa o carbono e o nitrogênio mais lábil do solo (Jenkinson & Ladd, 1981). Segundo Smith & Paul (1990), o tempo de *turnover* da biomassa microbiana para que o nitrogênio seja liberado ao sistema, é dez vezes maior do que daquele nitrogênio que encontra-se no material vegetal em decomposição. Assim, a determinação do N_{BMS} é de extrema importância para a quantificação

da dinâmica do nitrogênio em agroecossistemas, pois esta controla a disponibilidade e as perdas de nitrogênio inorgânico do solo, principalmente em sistemas em que há um grande fluxo de nitrogênio no solo (Moore et al., 2000).

Este estudo está pautado na hipótese de que a aplicação de fertilizantes nitrogenados no solo aumentaria a BMS, imobilizando o nitrogênio temporariamente, evitando assim, perdas deste nitrogênio sob formas de nitrato ou óxidos de nitrogênio e aumentando o seu aproveitamento pelas plantas.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado em junho de 2004 em uma área de Latossolo Vermelho Amarelo de textura argilosa da Embrapa Cerrados, no Distrito Federal a qual foi anteriormente cultivada com milho por três anos e posteriormente com soja por duas safras. A análise química realizada antes do início do experimento encontra-se nos anexos. A vegetação foi dessecada com o produto comercial glifosate na dose de 3L ha⁻¹ em pós emergência, e após total dessecação foi introduzido, pela primeira vez, o sistema de plantio direto naquela área. A cultivar de cevada utilizada foi a BRS 195, comercialmente utilizada para a indústria cervejeira. Esta cultivar possui um ciclo médio de 110 dias para a região do cerrado, alto perfilhamento e devido ao seu porte baixo, dificilmente acama com doses altas de nitrogênio aplicadas no plantio e em cobertura. A área foi dividida em 15 parcelas de 1,8 x 3,5 m e com nove linhas de plantio cada, sendo que quatro linhas foram utilizadas para fins de produtividade e as outras cinco linhas foram utilizadas para a coleta de solo e de plantas para posterior análise. O experimento compreendeu os seguintes tratamentos: quatro doses de nitrogênio (30, 60, 90 e 120 Kg N/ha) e o controle sem adubação nitrogenada. Cada parcela foi adubada com 80 Kg de P/ha e 60 Kg de K/ha e utilizou-se como fonte de nitrogênio o sulfato de amônio. O nitrogênio, fósforo e potássio foram aplicados a lanço devido à

dificuldade proporcionada pela máquina no ato do plantio, a qual se utilizada, descaracterizaria o sistema de plantio direto. O nitrogênio foi parcelado, sendo que 30 Kg/ha foi aplicado logo após o plantio e o restante foi introduzido para cobertura do sistema no início do estágio de perfilhamento da planta. As amostras de solo foram coletadas em quatro profundidades: 0-5, 5-10, 10-20 e 20-30 cm e em três épocas: perfilhamento pleno (após aplicação do nitrogênio em cobertura), floração e logo após a colheita. Em cada ponto de coleta de solo dentro de cada parcela foram coletadas cinco subamostras em cada profundidade, obtendo-se uma amostra composta para cada profundidade. A seguir, as amostras foram mantidas em caixas de isopor e resfriadas durante o transporte até o laboratório, onde foram preservadas em câmara fria a 4°C.

O delineamento experimental foi feito em blocos ao acaso, com três repetições, em parcelas subdivididas; as doses de nitrogênio foram as parcelas, e as profundidades, as subparcelas.

O nitrogênio da biomassa microbiana do solo (N_{BMS}) foi calculado pelo método de fumigação e extração (Brookes et al., 1985; Vance et al. 1987). As amostras foram tamisadas em peneiras com abertura de 8mm, retirando-se fragmentos de raízes e restos vegetais. Antes do processo de fumigação, os teores de umidade das amostras foram corrigidos para 80% da capacidade máxima de retenção de água no solo. As amostras foram divididas em subamostras (triplicatas) de 20g de solo e incubadas por sete dias. Após este período, parte das amostras foi submetida ao processo de fumigação seguida de extração e a outra parte, apenas ao processo de extração. As amostras foram fumigadas com clorofórmio isento de etanol por 24 horas, sendo posteriormente retiradas e extraídas, juntamente com as amostras não fumigadas. As amostras foram extraídas com K_2SO_4 0,5M com pH ajustado entre 6,5 a 6,8 em agitador contínuo a uma velocidade de 150 rpm por 40 minutos, sendo então filtradas. Posteriormente, retiraram-se alíquotas de 20mL que foram transferidas para tubos de vidro

com 1 g de mistura catalítica (K_2SO_4 : $CuSO_4$: Selênio em pó, na relação 1: 0,1: 0,01) e 3 mL de H_2SO_4 concentrado. Em seguida, fez-se a digestão a $80^\circ C$ por 12 horas, $150^\circ C$ por 1h e 30 min e $300^\circ C$ durante 3 horas. A destilação foi feita com 20 mL da solução de 400 g $NaOH L^{-1}$ de água destilada. Fez-se uma mistura contendo 15 mL de verde de bromocresol e 6 mL de vermelho de metila a 0,1% em meio alcoólico, 20 g de H_3BO_3 e três gotas de $NaOH$ 0,1N que foi completada com um litro de água destilada. Utilizou-se 10 mL dessa mistura para coletar o destilado em erlenmeyer de 50 mL. Procedeu-se então a titulação com H_2SO_4 0,0025 N. Titulou-se também, amostras sem a adição de substrato (branco). O nitrogênio extraído pelas amostras fumigadas e não fumigadas foi calculado pela sua diferença com o branco, e posteriormente por regra de três, assumindo-se que 1 meq de H_2SO_4 equivale a 0,0025 e 1 meq de NH_4^+ equivale a 0,005.

O nitrogênio microbiano foi calculado pela fórmula: N da biomassa = $N_F - N_{NF} \cdot K_{EN}^{-1}$, onde: N_F e N_{NF} são as quantidades totais de nitrogênio mineral liberado dos solos fumigados e não fumigados, respectivamente. O K_{EN} (0,54) é uma constante representando a proporção do nitrogênio da biomassa microbiana que é mineralizada (Wardle, 1994).

Os dados foram analisados utilizando o programa estatístico SANEST – Sistema de Análise Estatística (Zonta et al., 1984), e as comparações das médias foram feitas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O nitrogênio total do solo foi estimado pelo método Kjeldahl de acordo com Bremner & Mulvaney (1982)

RESULTADOS E DISCUSSÃO

NITROGÊNIO DA BIOMASSA MICROBIANA DO SOLO (N_{BMS})

Houve interação significativa entre as doses de nitrogênio e as profundidades no nitrogênio da biomassa microbiana do solo (N_{BMS}), no perfilhamento, na floração e logo após

a colheita (Tabelas 2.01, 2.02 e 2.03). Aumentos nos valores do N_{BMS} com a adição de nitrogênio, foram observados no perfilhamento, na camada de 0-5 cm para a dose de 90 Kg N/ha, o qual foi também o maior valor encontrado de N_{BMS} (46,45 mg N/Kg solo).

O conteúdo e a composição microbiana podem influenciar na imobilização do nitrogênio (Ledgard et al., 1998), pois as bactérias apresentam concentrações mais altas de nitrogênio na sua constituição (11%) do que os fungos (3%), e, portanto, em ambientes onde há maior concentração de nitrogênio, prevalecerão populações de bactérias (Paul & Clark, 1989). Vance & Chapin III (2001), associaram aumentos no N_{BMS} com adições de nitrogênio, à possível baixa relação de fungo:bactéria encontrada no solo, ao passo que Lovel et al. (1995), observaram que no tratamento sem aplicação de nitrogênio, prevalece uma maior concentração de fungos do que no tratamento com nitrogênio, onde o número de bactérias foi maior. Porém, a adição de nitrogênio ao solo causa uma certa acidificação do mesmo, e fungos em geral, têm uma preferência por solos mais ácidos do que as bactérias (Paul & Clark, 1989) e, conseqüentemente, seria de se esperar que em solos com alta relação fungo:bactéria, a adição de nitrogênio beneficiaria os fungos e aumentaria dessa forma o N_{BMS} . Liljeroth et al. (1990), encontraram maior número de bactérias nas rizosferas de plantas de trigo que receberam nitrogênio na forma de fertilizante, pois as bactérias têm preferência por solos mais neutros e, provavelmente, quando submetidas a solos ácidos mover-se-iam para a rizosfera das plantas onde as exsudações promovidas pelas culturas poderiam favorecer este ambiente.

No perfilhamento (Tabela 2.01), não foram observados efeitos no N_{BMS} com adição de nitrogênio ao solo, com exceção da dose de 90 Kg N/ha na camada de 0-5 cm e da dose de 60 Kg N/ha na camada de 10-20 e 20-30 cm que aumentaram o N_{BMS} . Hatch et al. (2000), observaram aumentos no N_{BMS} , apenas a longo prazo, devido ao efeito da maior produção de biomassa vegetal e do conseqüente aumento de carbono orgânico no solo. A mesma

observação ocorreu no trabalho de Silvan et al. (2003); - a imobilização de N na BMS, ocorreu apenas um ano após o início do experimento. Segundo Zaman et al. (2002), adições de resíduos orgânicos, concomitantemente com fertilizantes nitrogenados, aumentaram o N_{BMS} em valores superiores ao tratamento onde apenas o nitrogênio foi aplicado.

Na floração (Tabela 2.02) e nas camadas de 0-5 cm e 10-20 cm, houve diminuição do N_{BMS} com a adição de 60 Kg N/ha, enquanto que as outras doses não diferiram do controle. Já na camada de 20-30 cm observou-se uma queda no N_{BMS} para todos os teores de nitrogênio aplicado ao solo. Acredita-se, que quando este foi aplicado, possivelmente sucederam-se altas taxas de nitrificação ou mineralização do nitrogênio orgânico do solo, levando, dessa forma, a uma perda deste no sistema e, conseqüente, diminuição do N_{BMS} (Ledgard et al., 1998). A diminuição do N_{BMS} com a adição de nitrogênio pode estar associada, também, ao aumento da taxa de mineralização causada pelo baixo teor de matéria orgânica encontrada na camada de 20-30 cm e à conseqüente diminuição de compostos orgânicos prontamente disponíveis. Esta conclusão apóia-se em estudos que observaram efeitos na BMS quando havia, apenas, quantidades significativas de matéria orgânica no solo ou quando o nitrogênio era aplicado simultaneamente com resíduos orgânicos (Zaman et al., 2002; Hatch et al., 2000; Lovell et al., 1995).

Logo após a colheita (Tabela 2.03), foi observado aumento no N_{BMS} apenas para a dose de 60 Kg N/ha na camada de 0-5 cm. Nas outras camadas do perfil do solo, não foram constatados efeitos com a adição de nitrogênio ao solo.

Para todas as épocas de coleta e doses, o N_{BMS} diminuiu claramente com o aumento da profundidade, confirmando achados de outros estudos (Perez et al., 2005).

Anderson & Domsch (1980), observaram que os microorganismos diferem muito mais no seu teor de nitrogênio do que no de carbono, dependendo do seu estágio de crescimento e, portanto, pequenas mudanças na estrutura da biomassa microbiana podem resultar em grandes

mudanças no N_{BMS} . A adição de substratos ao solo a curto prazo, provavelmente afeta uma pequena parte da BMS que está ativa, enquanto que a resposta a longo prazo acaba por modificar a sua composição por seleção (Lovel & Jarvis, 1998).

NITROGÊNIO TOTAL (N_{TOTAL})

Não foram encontradas diferenças significativas entre as doses de nitrogênio no perfilhamento, na floração e logo após a colheita (Tabelas 2.04, 2.05, e 2.06), porém, o nitrogênio total diminuiu com a profundidade, assim como no trabalho de Peacock et al. (2001).

Hatch et al. (2000) não encontraram, também, efeitos a curto prazo no N_{TOTAL} . Aumentos consideráveis de N_{TOTAL} foram constatados no experimento de Graham et al. (2002), o qual foi avaliado a longo prazo e, portanto, verificou-se, um maior acúmulo de matéria orgânica no tratamento com a aplicação de nitrogênio. Varvel (1994), em um estudo de oito anos, observou em experimento de rotações de culturas e aplicações de nitrogênio ao solo, que mudanças no N_{TOTAL} com a adição de nitrogênio ao solo, foram mínimas nos sistemas de monocultura de soja e de rotação milho-soja. Mudanças em outros sistemas de culturas ocorreram, basicamente, nas camadas de 0-7,5 cm onde havia uma concentração alta de matéria orgânica. A quantidade de resíduo orgânico que retorna ao solo quando da utilização da soja em monocultura, é muito baixa, na ordem de $3,0 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (Varvel, 1994). Havlin (1990) observou que quanto maior foi freqüência do uso da soja em sistemas de rotação, menor foi a concentração de nitrogênio total no solo. Joergensen & Scheu (1999), encontraram um aumento no N_{TOTAL} apenas na camada onde havia maior acúmulo de matéria orgânica. Observa-se, assim, que o nitrogênio mineral adicionado por fertilizantes não é incorporado na fração do nitrogênio total do solo, ao contrário do nitrogênio orgânico, o qual advém da decomposição dos resíduos orgânicos.

É importante notar, que antes do plantio da cultura da cevada neste experimento, a soja havia sido cultivada na área por dois anos consecutivos, logo sua contribuição para o nitrogênio total foi mínima devido a sua rápida decomposição no solo. Os resultados da análise de nitrogênio total na folha bandeira da cultura da cevada (Tabela 2.14), mostraram que as doses de 90 e 120 Kg N/ha acumularam, significativamente, muito mais nitrogênio que os outros tratamentos. À medida que se aumentava a dose de nitrogênio no solo, aumentava, também, o teor de nitrogênio na planta. Portanto, possivelmente, uma boa parte do nitrogênio mineral aplicado ao solo, foi assimilada pela planta e não incorporada na fração do nitrogênio total, explicando a ausência de efeito da deposição do nitrogênio no solo. A maior concentração de nitrogênio na planta é, em muitos casos, relacionada à maior biomassa vegetal. Nas parcelas onde as doses de nitrogênio foram maiores, a biomassa vegetal cobriu bastante o solo, levando a uma maior retenção de umidade e possivelmente maior deslocamento descendente do nitrato para camadas mais profundas do solo.

RELAÇÃO NITROGÊNIO DA BIOMASSA MICROBIANA E NITROGÊNIO TOTAL DO SOLO ($N_{BMS}:N_{TOTAL}$)

A relação $N_{BMS}:N_{TOTAL}$ oferece uma estimativa da quantidade de nutriente, disponibilidade de substrato e a dinâmica da matéria orgânica no solo, sendo que quanto maior esta relação, maior será a qualidade da matéria orgânica (Sparling, 1992). Houve interação significativa entre a razão percentual $N_{BMS}:N_{TOTAL}$ nas três épocas de avaliação (Tabelas 2.07, 2.08 e 2.09)

A relação $N_{BMS}:N_{TOTAL}$ variou de 1,05% a 3,61%. Estes valores estão de acordo com os valores de Jenkinson (1988) e Fauci & Dick (1994), que variaram de 1 a 7%.

Assim como foi observado para o N_{BMS} , a relação $N_{BMS}:N_{TOTAL}$ também aumentou com a adição de 90 Kg N/ha na camada de 0-5 cm, no perfilhamento (Tabela 2.07), onde encontrou-se o maior valor para a relação $N_{BMS}:N_{TOTAL}$ (3,61%).

No perfilhamento (Tabela 2.07), não foi observado nenhum efeito na relação $N_{BMS}:N_{TOTAL}$ com a aplicação de nitrogênio nas camadas entre 5-30 cm, com exceção da dose de 120 Kg N/ha que proporcionou um valor mais baixo que o tratamento sem aplicação de nitrogênio na camada de 20-30 cm. Moore et al. (2000) também não observaram diferenças significativas entre o tratamento sem e com a aplicação de nitrogênio para a relação $N_{BMS}:N_{TOTAL}$, mas sim entre os tratamentos de monocultivo e de rotação

Na floração (Tabela 2.08), nas camadas entre 0-10 cm, não foi observado nenhum efeito na relação $N_{BMS}:N_{TOTAL}$ com a adição de nitrogênio ao solo. Na camada de 10-20 cm a dose de 60 Kg N/ha diminuiu a relação $N_{BMS}:N_{TOTAL}$ enquanto as outras não diferiram desta e nem do tratamento sem aplicação de nitrogênio. Já na camada de 20-30 cm, todos os tratamentos com aplicação de nitrogênio ao solo, diminuíram a relação $N_{BMS}:N_{TOTAL}$ em relação ao controle, assim como o que foi observado para o N_{BMS} (Tabela 2.02).

Logo após a colheita (Tabela 2.09), não foram observados efeitos da adição de nitrogênio nas camadas entre 0-20 cm, com exceção da dose de 60 Kg N/ha na camada de 0-5 cm, que proporcionou valor mais alto que a dose sem nitrogênio. Na camada de 20-30 cm, as doses de 30 e 120 Kg N/ha, diminuíram a relação $N_{BMS}:N_{TOTAL}$, enquanto que as outras doses não diferenciaram destas e do tratamento sem nitrogênio.

Em geral, a relação $N_{BMS}:N_{TOTAL}$ foi diminuindo à medida que a profundidade foi aumentando.

pH DO SOLO

Pode-se inferir pela análise estatística (Tabelas 2.10, 2.11 e 2.12) que à medida que se aumentam as doses de nitrogênio, o pH do solo diminui em todas as épocas de avaliação. O mesmo resultado foi apresentado em outros trabalhos (Graham et al, 2005). Isso ocorreu principalmente nas profundidades de 0-5cm e 5-10 cm. O nitrogênio diminuiu o pH do solo apenas até a camada de 10-20 cm, possivelmente pelo fato de ser um sistema de primeiro ano

de plantio direto onde o sulfato de amônio foi aplicado apenas em cobertura e não incorporado. Na dose sem aplicação de nitrogênio e na de 30 Kg N/ha não houve diferença significativa de pH nas diferentes profundidades de coleta, porém, nas outras doses o pH diminuiu nas camadas mais superficiais. Esta acidificação do solo está atribuída à nitrificação do fertilizante de sulfato de amônio e da conseqüente lixiviação do nitrato formado, liberando assim o hidrogênio no solo (Graham et al, 2002).

CORRELAÇÕES ENTRE OS PARÂMETROS AVALIADOS

A Tabela 2.13 de correlações entre os parâmetros, mostra que o N_{TOTAL} e o N_{BMS} correlacionaram-se significativamente e positivamente. Porém, o estudo de McCarty et al. (1995), mostrou que se extrapolarmos o N_{BMS} e o nitrogênio ativo do solo para zero, observaremos que o N_{TOTAL} terá valores diferentes de zero. Isto demonstra que o reservatório de N_{BMS} e o nitrogênio ativo do solo são frações distintas do tamanho do N_{TOTAL} nos solos e não são, necessariamente, relacionadas a este. É preciso notar que, segundo McCarty et al., (1995) e Moore et al (2000), existe uma reserva inerte de nitrogênio no solo, que obviamente não teve influencia positiva nos valores de N_{BMS} .

Observa-se também, que a relação $N_{BMS}:N_{TOTAL}$ pouco se correlacionou com o N_{TOTAL} , logo a relação variou basicamente em função do N_{BMS} .

O pH se correlacionou significativamente e negativamente, com todas as variáveis estudadas (Tabela 2.13), porém, apenas para os tratamentos com aplicação de nitrogênio ao solo. O pH do solo para a dose de 60 Kg N/ha, também não se correlacionou com a relação $N_{BMS}:N_{TOTAL}$. Um valor baixo em comparação às outras doses de nitrogênio foi encontrado para a correlação entre pH e N_{BMS} . A baixa BMS encontrada por Witter et al., 1993 em solos com adições de sulfato de amônio, associada à diminuição do pH, devido a fatores de estresses que exigem uma maior energia para a manutenção dos microorganismos, não foi observado neste estudo. Este encontrou uma relação inversamente proporcional entre o N_{BMS}

e o pH do solo e, portanto, a diminuição do pH com adições crescentes de nitrogênio ao solo, pode ter sido um dos responsáveis para o aumento, encontrado em alguns tratamentos.

No experimento desta tese foi observada uma correlação significativa e negativa entre o pH e o N_{BMS} para os tratamentos com aplicação de nitrogênio (Tabela 2.13). As figuras 1 e 2 mostram que quando o pH do solo aumenta em 1 unidade, o N_{BMS} diminui quase em 40 unidades, indicando possivelmente que a acidificação do solo pode ter favorecido a população de fungos, pois estes se desenvolvem melhor em pH baixo e têm maior participação na biomassa microbiana do solo.

Na camada de 0-5 cm, no perfilhamento, foram observados aumentos de N_{BMS} e da relação $N_{BMS}:N_{TOTAL}$ com a adição da dose de 90 Kg N/ha (Tabelas 2.01 e 2.07). Portanto, a aplicação de 90 Kg N/ha ao solo, na camada de 0-5 cm, proporcionou uma melhoria na qualidade da matéria orgânica e um maior aproveitamento desta pelos microorganismos. O trabalho desenvolvido por Vance & Chapin III (2001), mostrou, que quando nitrogênio foi aplicado em solo onde a matéria orgânica era de boa qualidade (relação $N_{BMS}:N_{TOTAL}$ alta), houve uma maior imobilização do nitrogênio aplicado na biomassa microbiana e também uma menor respiração microbiana e mineralização, ao contrário de um solo com matéria orgânica de baixa qualidade (relação $N_{BMS}:N_{TOTAL}$ baixa). A imobilização de nitrogênio na BMS depende em grande parte, da quantidade e qualidade dos substratos aplicados ou encontrados no solo, os quais estão diretamente ligados às concentrações de carbono, nitrogênio e lignina (Fox et al., 1990). Cerny et al. (2003) observaram correlações positivas e significativas entre N_{BMS} e carbono orgânico.

CONCLUSÕES

1. O N_{BMS} e a razão $N_{\text{BMS}}:N_{\text{TOTAL}}$ diminuíram com a profundidade.
2. Em geral, doses mais elevadas de nitrogênio não aumentaram o N_{BMS} .
3. O N_{TOTAL} não foi alterado nas diferentes doses de nitrogênio.
4. Houve correlação negativa entre o N_{BMS} e o pH do solo em todas as doses de nitrogênio, com exceção da dose zero.
5. Houve correlação positiva entre a razão $N_{\text{BMS}}:N_{\text{TOTAL}}$ e o N_{BMS} , porém não com o N_{TOTAL} .

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDERSON, J. P. E., DOMSCH, K. H. Quantities of plant nutrients in the microbial biomass of selected soils. **Soil science**, Baltimore, v. 130, n. 4, p. 211-6, 1980.
- BREMNER, J.M.; MULVANEY, C.S. Nitrogen Total. In: PAGE, A.L.; MILLER, R.H.; KEENEY, D.R. (Ed.). **Methods of soil Analysis, Part 2**. Chemical and Microbiological Properties. Agronomy Monograph no. 9. 2nd ed. Madison: American Society of Agronomy, 1982. p.595-624.
- BROOKES, P. C.; LANDMAN, A.; PRUDEN, G.; JENKINSON, D. S. Chloroform fumigation and the release of soil nitrogen: a rapid direct extraction method to measure microbial biomass nitrogen in soil. **Soil Biology Biochemistry**, Oxford, v. 17, p. 837-842, 1985.
- CAMARGO, F. O., GIANELLO, C. TEDESCO, M. J., VIDOR, C. Nitrogênio orgânico do solo. In: SANTOS, G. A., CAMARGO, F. O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo. Ecosistemas Tropicais e Subtropicais**. Porto Alegre, RS, p. 117-135, 1996
- CERNY, J., BALÍK, D. P., ZITKOVÁ, M., SÝKORA, K. The influence of organic and mineral nitrogen fertilizers on microbial biomass nitrogen and extractable organic nitrogen in long-term experiments with maize. **Plant Soil Environ.**, 49, 2003 (12): 560-564.
- CHANDINI, M. THIRUKMARAN; PARKINSON, D. Microbial respiration, biomass, metabolic quotient and litter decomposition in a lodgepole pine forest floor amended with nitrogen and phosphorus fertilizers. **Soil Biology and Biochemistry** 32, 59-66, 2000.
- FAUCI, M. F., DICK, R. P. Soil microbial dynamics: short- and long-term effects of inorganic and organic nitrogen. **Soil Science Society of America Journal** 58, 801-806, 1994.
- FISK, M. C., FAHEY, T. J. Microbial biomass and nitrogen cycling responses to fertilization and litter removal in young northern hardwood forests. **Biogeochemistry** 53: 201-223, 2001.
- FOX, R. H., MYERS, R. J., VALLIS, I. The nitrogen mineralization rate of legume residues in soil as influence by their polyphenol, lignin and nitrogen contents. **Plant and Soil** 129, 251-259, 1990.
- FURTINI NETO, A. E., VALE, F. R., RESENDE, A. V., GUILHERME, L. R. G., GUEDES, G. A. A. **Fertilidade do solo**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2001.
- GRAHAM, M. H., HAYNES, R. J., MEYER, J. H. Soil organic matter content and quality: effects of fertilizer applications, burning and trash retention on a long-term sugarcane experiment in South Africa. **Soil Biology & Biochemistry** 34 (2002) 93-102.
- GRAHAM, M. H., HAYNES, R.J. Organic matter accumulation and fertilizer-induced acidification interact to affect soil microbial and enzyme activity on a long term sugarcane management experiment. **Biol Fertil Soils** (2005) 249-256.

HATCH, D. J., LOVELL, R. D., ANTIL, R. S., JARVIS, S. C. Nitrogen mineralization and microbial activity in permanent pastures amended with nitrogen fertilizer or dung. **Biol Fertil Soils** (2000) 30: 288-293.

HAVLIN, J. L., KISSEL, D. E., MADDUX, L. D., CLAASSEN, M. M., LONG, J. H. Crop rotation and tillage effects on soil organic carbon and nitrogen. **Soil Sci. Soc. Am. J.** 54: 448-452, 1990.

JENKINSON, D. S. Determination of microbial biomass carbon and nitrogen in soil. In: Wilson J. R. **Advances in nitrogen cycling in agricultural ecosystems**. CAB Wallingford, UK, pp368-386, 1988.

JENKINSON, D. S., LADD, J. N. Microbial biomass in soil: measurement and turnover. In: PAUL, E. A., LADD, J. N. **Soil Biochemistry**. New York: Marcel Dekker, v. 5, p. 415-471, 1981.

JOERGENSEN, R. G., SCHEU, S. Response of soil microorganisms to the addition of carbon, nitrogen and phosphorus in a forest Rendzina. **Soil Biology and Biochemistry** 31 (1999) 859-866.

LEDGARD, S. F., JARVIS, S. C., HATCH, D. J. Short-term nitrogen fluxes in grassland soils under different long-term nitrogen management regimes. **Soil Biol. Biochem.** Vol. 30, No. 10/11, pp. 1233-1241, 1998.

LILJEROTH, E., KUIKMAN, P. VAN VEN, J. A. Carbon translocation to the rhizosphere of maize and wheat and influence on the turnover of native soil organic matter at different soil nitrogen levels. **Plant and Soil** 161: 233-240, 1994.

LOVELL, R. D., JARVIS, S. C. Soil microbial biomass and activity in soil from different grassland management treatments stored under controlled conditions. **Soil Biol. Biochem.** Vol. 30, No. 14, pp. 2077-2085, 1998.

LOVELL, R. D., JARVIS, S. C., BARDGETT, R. D. Soil microbial biomass and activity in long-term grassland: effects of management changes. **Soil Biol. Biochem.** Vol. 27. No. 7, pp. 969-975, 1995.

McCARTY, G. W., MEISINGER, J. J., JENNINKS, F. M. M. Relationships between total-N, biomass-N and active-N in soil under different tillage and N fertilizer treatments. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 27, n. 10, p. 1245-1250, 1995.

MOORE, J. M., KLOSE, S., TABATABAI, M. A. Soil microbial biomass carbon and nitrogen as affected by cropping systems. **Biol Fertil Soils** (2000) 31: 200-210.

MOREIRA, F. M. S., SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: Editora UFLA, 2002. 625p.

PAUL, E. A., CLARK, F. E. **Soil Microbiology and Biochemistry**. San Diego, CA, Academic Press, 1989. 275p.

PEACOCK, A. D., MULLEN, M. D., RINGELBERG, D. B., TYLER, D. D., HEDRICK, D. B., GALE, P. M., WHITE, D. C. Soil microbial community responses to dairy manure or ammonium nitrate applications. **Soil Biology & Biochemistry** 33 (2001) 1011-1019.

PEREZ, K. S. S, RAMOS, M. L. G., McMANNUS, C. Nitrogênio da biomassa microbiana em solo cultivado com soja, sob diferentes sistemas de manejo, nos cerrados. **Pesq. Agropec. Bras.**, Brasília, v. 40, n. 2, p. 137-144, fev. 2005.

RAIESI, F. Soil properties and N application effects on microbial activities in two winter wheat cropping systems. **Biol. Fertil. Soils** (2004) 40: 88-92.

SCHULTEN, H. R., SCHNITZER, M. The chemistry of soil organic nitrogen: a review. **Biol. Fertil. Soils** (1998) 40: 26 1-15.

SILVAN, N., VASANDER, H., KARSISTO, M., LAINE, J. Microbial immobilisation of added nitrogen and phosphorus in constructed wetland buffer. **Applied Soil Ecology** 24 (2003) 143-149.

SMITH, J. L., PAUL, E. A. The significance of soil microbial biomass estimations. In: BOLLAG, J. M., STOTSKY, G. **Soil Biochemistry**. New York: Marcel Dekker, v. 6, p. 357-396, 1990.

SPARLING, G. P. Ratio of microbial biomass carbon to soil organic carbon as a sensitive indicator of changes in soil organic matter. **Australian Journal Soil research**, Victoria, n. 30, p. 195-207, 1992.

TIQUIA, S. M., LLOYD, J., HERMS, D. A., HOITINK, H. A. J., MICGEL Jr, F. C. Effects of mulching and fertilization on soil nutrients, microbial activity and rhizosphere bacterial community structure determined by analysis of TRFLPs of PCR-amplified 16S rRNA genes. **Applied Soil Ecology** 21 (2002) 31-48.

VANCE, E. D., BROOKES, P. C., JENKINSON, D. S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. **Soil Biol. Biochem.**, v.19, p.703-707, 1987.

VANCE, E. D., CHAPIN III, F. S. Substrate limitations to microbial activity in taiga forest floors. **Soil Biology & Biochemistry** 33, 173-188, 2001.

VARVEL, G. E. Rotation and nitrogen fertilization effects on changes in soil carbon and nitrogen. **Agronomy Journal**, Vol. 86, MARCH_APRIL, 1994.

WARDLE, D. A. Metodologia para a quantificação da biomassa microbiana do solo. In: HUNGRIA, M., ARAÚJO, R. S. **Manual de métodos empregados em estudos de microbiologia agrícola**. Embrapa, Brasília, DF. 1994, 542p.

WITTER, E., MARTENSSON, A. M., GARCIA, F. V. Size of the soil microbial biomass in a long-term field experiment as affected by different N-fertilizers and organic manures. **Soil Biol. Biochem.** Vol. 25, No. 6, pp. 659-669, 1993.

ZAMAN, M., CAMERON, K. C., DI, H. J., INUBUSHI, K. Changes in mineral N, microbial biomass and enzyme activities in different soil depths after surface applications of dairy shed effluent and chemical fertilizer. **Nutrient Cycling in Agroecosystems** 63: 275-290, 2002.

ZONTA, E.P.; MACHADO, A.D. & SILVEIRA JUNIOR, P. **SANEST**: Sistema de Análise Estatística para microcomputadores (Software). Pelotas, 1984.

Tabela 2.01: Nitrogênio da biomassa microbiana (mg N. Kg⁻¹ de solo) em solo cultivado com cevada e submetido a diferentes doses de N, em quatro profundidades, no perfilamento ⁽¹⁾.

Profundidade(cm)	Doses de N (Kg/ha)				
	0	30	60	90	120
0-5	29,61bcA	34,81bA	26,71cA	46,45aA	31,69bcA
5-10	28,38abA	30,42aA	22,48bAB	25,29abB	22,76bB
10-20	19,16bB	23,52abB	25,50aAB	22,78abB	22,24abB
20-30	17,09abB	17,58abC	20,18aB	12,79bC	11,38bC

⁽¹⁾Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas linhas (comparação entre doses) e maiúscula nas colunas (comparação entre as profundidades), não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 2.02: Nitrogênio da biomassa microbiana (mg N. Kg⁻¹ de solo) em solo cultivado com cevada e submetido a diferentes doses de N, em quatro profundidades, na floração ⁽¹⁾.

Profundidade(cm)	Doses de N (Kg/ha)				
	0	30	60	90	120
0-5	30,48aA	29,21aA	23,34bA	30,31aA	30,02aA
5-10	25,65abAB	27,74aA	23,92abA	25,23abAB	22,06bB
10-20	24,37aB	22,64aB	17,44bB	20,97abB	20,00abB
20-30	18,47aC	11,47bC	12,10bC	8,87bC	9,23bC

⁽¹⁾Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas linhas (comparação entre doses) e maiúscula nas colunas (comparação entre as profundidades), não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 2.03: Nitrogênio da biomassa microbiana (mg N. Kg⁻¹ de solo) em solo cultivado com cevada e submetido a diferentes doses de N, em quatro profundidades, logo após a colheita ⁽¹⁾.

Profundidade(cm)	Doses de N (Kg/ha)				
	0	30	60	90	120
0-5	28,67bA	33,60 abA	38,39aA	29,64bA	32,36abA
5-10	24,66aA	26,61aB	20,03aB	24,85aB	26,36aB
10-20	17,39aB	18,29aC	19,25aB	18,05aC	21,13aC
20-30	16,26aB	11,41aD	14,34aC	14,36aC	11,89aD

⁽¹⁾Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas linhas (comparação entre doses) e maiúscula nas colunas (comparação entre as profundidades), não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 2.04: Nitrogênio Total (g N. Kg⁻¹ de solo) em solo cultivado com cevada e submetido a diferentes doses de N, em quatro profundidades, no perfilhamento⁽¹⁾.

Profundidade(cm)	Doses de N (Kg/ha)					Médias
	0	30	60	90	120	
0-5	1,29	1,34	1,36	1,30	1,29	1,32A
5-10	1,26	1,33	1,25	1,28	1,26	1,28AB
10-20	1,24	1,25	1,26	1,15	1,24	1,23B
20-30	1,01	1,14	1,08	1,05	1,10	1,08C
Médias	1,20a	1,26a	1,24a	1,20a	1,22a	

⁽¹⁾Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas linhas (comparação entre doses) e maiúscula nas colunas (comparação entre as profundidades), não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 2.05: Nitrogênio Total (g N. Kg⁻¹ de solo) em solo cultivado com cevada e submetido a diferentes doses de N, em quatro profundidades, na floração⁽¹⁾.

Profundidade(cm)	Doses de N (Kg/ha)					Médias
	0	30	60	90	120	
0-5	1,15	1,25	1,21	1,23	1,30	1,23A
5-10	1,18	1,24	1,15	1,14	1,10	1,16B
10-20	1,16	1,17	1,09	1,07	1,18	1,13B
20-30	0,84	0,84	0,88	0,83	0,86	0,85C
Médias	1,08a	1,13a	1,08a	1,07a	1,11a	

⁽¹⁾Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas linhas (comparação entre doses) e maiúscula nas colunas (comparação entre as profundidades), não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 2.06: Nitrogênio Total (g N. Kg⁻¹ de solo) em solo cultivado com cevada e submetido a diferentes doses de N, em quatro profundidades, logo após a colheita⁽¹⁾.

Profundidade(cm)	Doses de N (Kg/ha)					Médias
	0	30	60	90	120	
0-5	1,27	1,34	1,32	1,25	1,34	1,30A
5-10	1,21	1,25	1,24	1,20	1,25	1,23B
10-20	1,21	1,20	1,18	1,15	1,19	1,19B
20-30	0,82	0,87	0,93	0,93	0,88	0,89C
Médias	1,13a	1,17a	1,17a	1,13a	1,16a	

⁽¹⁾Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas linhas (comparação entre doses) e maiúscula nas colunas (comparação entre as profundidades), não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 2.07: $N_{BMS}:N_{TOTAL}$ (%) em solo cultivado com cevada e submetido a diferentes doses de N, em quatro profundidades, no perfilhamento ⁽¹⁾.

Profundidade(cm)	Doses de N (Kg/ha)				
	0	30	60	90	120
0-5	2,33bcA	2,62bA	1,97cA	3,61aA	2,53bcA
5-10	2,27aAB	2,33aAB	1,83aA	2,04aB	1,81aB
10-20	1,55aC	1,89aBC	2,05aA	2,04aB	1,81aB
20-30	1,71abBC	1,55abcC	1,89aA	1,23bcC	1,05cC

⁽¹⁾Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas linhas (comparação entre doses) e maiúscula nas colunas (comparação entre as profundidades), não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 2.08: $N_{BMS}:N_{TOTAL}$ (%) em solo cultivado com cevada e submetido a diferentes doses de N, em quatro profundidades, na floração ⁽¹⁾.

Profundidade(cm)	Doses de N (Kg/ha)				
	0	30	60	90	120
0-5	2,66aA	2,36abA	1,96aAB	2,48aA	2,33abA
5-10	2,18aB	2,28aA	2,08aA	2,24aAB	2,05aAB
10-20	2,30aB	1,95abA	1,61bBC	1,96abB	1,72abB
20-30	2,23aAB	1,44bB	1,43bC	1,11bC	1,10bC

⁽¹⁾Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas linhas (comparação entre doses) e maiúscula nas colunas (comparação entre as profundidades), não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 2.09: $N_{BMS}:N_{TOTAL}$ (%) em solo cultivado com cevada e submetido a diferentes doses de N, em quatro profundidades, logo após a colheita ⁽¹⁾.

Profundidade(cm)	Doses de N (Kg/ha)				
	0	30	60	90	120
0-5	2,26bA	2,51abA	2,90aA	2,36abA	2,44abA
5-10	2,03aA	2,12aB	1,61aB	2,08aA	2,11aAB
10-20	1,44aB	1,52aC	1,63aB	1,55aB	1,77aB
20-30	1,98aA	1,30bC	1,54abB	1,54abB	1,35bC

⁽¹⁾Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas linhas (comparação entre doses) e maiúscula nas colunas (comparação entre as profundidades), não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 2.10: pH do solo em solo cultivado com cevada e submetido a diferentes doses de N, em quatro profundidades, no perfilhamento ⁽¹⁾.

Profundidade(cm)	Doses de N (Kg/ha)				
	0	30	60	90	120
0-5	5,90aA	5,65abA	5,48bcB	5,50bB	5,21cC
5-10	5,87aA	5,65abA	5,68abAB	5,70abAB	5,55bB
10-20	5,80aA	5,80aA	5,89aA	5,74aA	5,83aA
20-30	5,93aA	5,80aA	5,84aA	5,81aA	5,69aAB

⁽¹⁾Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas linhas (comparação entre doses) e maiúscula nas colunas (comparação entre as profundidades), não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 2.11: pH do solo em solo cultivado com cevada e submetido a diferentes doses de N, em quatro profundidades, na floração ⁽¹⁾.

Profundidade(cm)	Doses de N (Kg/ha)				
	0	30	60	90	120
0-5	6,12aA	5,83bA	5,66bA	5,60bcB	5,35cC
5-10	6,03aA	5,78abA	5,79abA	5,77abAB	5,56bBC
10-20	6,02aA	5,95abA	5,85abA	5,91abA	5,72bB
20-30	6,01aA	6,00aA	5,88aA	5,90aA	6,03aA

⁽¹⁾Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas linhas (comparação entre doses) e maiúscula nas colunas (comparação entre as profundidades), não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 2.12: pH do solo em solo cultivado com cevada e submetido a diferentes doses de N, em quatro profundidades, logo após a colheita ⁽¹⁾.

Profundidade(cm)	Doses de N (Kg/ha)				
	0	30	60	90	120
0-5	5,98aA	5,80abA	5,65bcB	5,65bcB	5,49cC
5-10	5,84aA	5,73aA	5,76aAB	5,70aB	5,59aBC
10-20	5,84aA	5,83aA	5,88aA	5,86aAB	5,77aAB
20-30	5,90aA	5,87aA	5,91aA	5,92aA	5,98aA

⁽¹⁾Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas linhas (comparação entre doses) e maiúscula nas colunas (comparação entre as profundidades), não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 2.13: Coeficiente de correlação linear de Pearson entre nitrogênio da biomassa microbiana do solo (N_{BMS}), nitrogênio total (N_{TOTAL}), relação N_{BMS} e N_{TOTAL} e pH nas diferentes dose de nitrogênio em Kg N/ha, considerando os dados individuais de todas as épocas e profundidades, para cada dose.

Variável	N_{BMS}	N_{TOTAL}	$N_{BMS}:N_{TOTAL}$	pH
DOSE 0				
N_{BMS}	-	0,555**	0,721**	0,272ns
N_{TOTAL}	0,555**	-	-0,170ns	-0,079ns
$N_{BMS}:N_{TOTAL}$	0,721**	-0,170ns	-	0,345*
DOSE 30				
N_{BMS}	-	0,691**	0,907**	-0,577**
N_{TOTAL}	0,691**	-	0,337*	-0,425**
$N_{BMS}:N_{TOTAL}$	0,907**	0,337*	-	-0,511**
DOSE 60				
N_{BMS}	-	0,640**	0,901**	-0,338*
N_{TOTAL}	0,640**	-	0,253ns	-0,460**
$N_{BMS}:N_{TOTAL}$	0,901**	0,253ns	-	-0,184ns
DOSE 90				
N_{BMS}	-	0,626**	0,950**	-0,708**
N_{TOTAL}	0,626**	-	0,368*	-0,639**
$N_{BMS}:N_{TOTAL}$	0,950**	0,368*	-	-0,595**
DOSE 120				
N_{BMS}	-	0,659**	0,890**	-0,725**
N_{TOTAL}	0,659**	-	0,256ns	-0,542**
$N_{BMS}:N_{TOTAL}$	0,890**	0,256ns	-	-0,626**

significativo a 5%; ** - significativo a 1%; ns - não significativo.

Tabela 2.14: Nitrogênio da folha bandeira da cevada ($g\ N\ Kg^{-1}$) em solo cultivado com cevada e submetido a diferentes doses de N, coletadas na fase de perfilhamento da cevada.

0	Doses de N (Kg/ha)			
	30	60	90	120
25,25c	23,66c	29,99b	36,17a	35,90a

⁽¹⁾Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas linhas, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

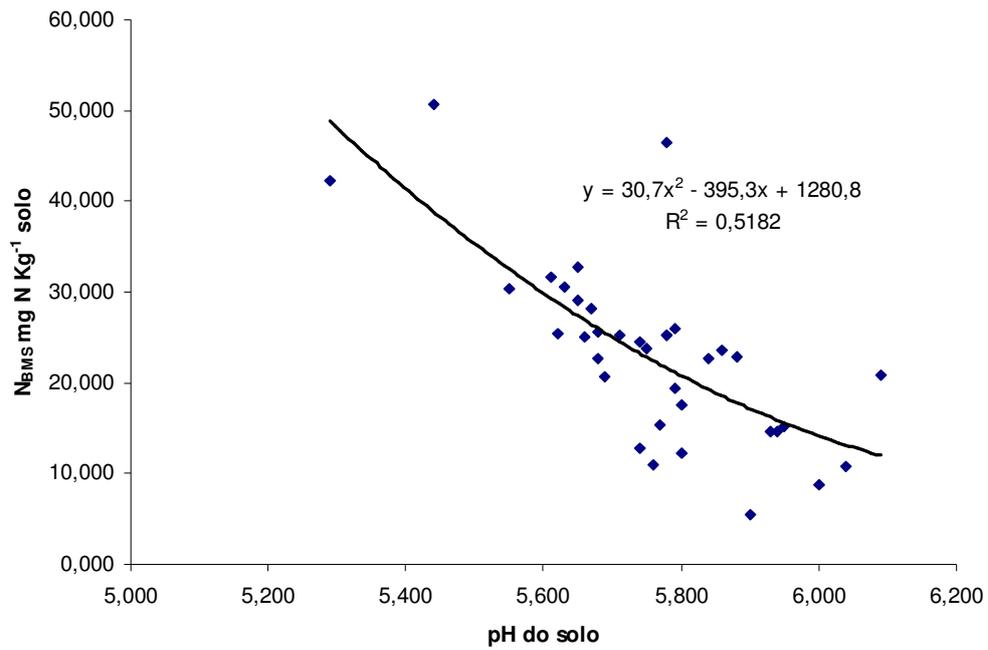


Figura 1: Efeito do pH no N_{BMS} para a dose de 90 Kg N/ha.

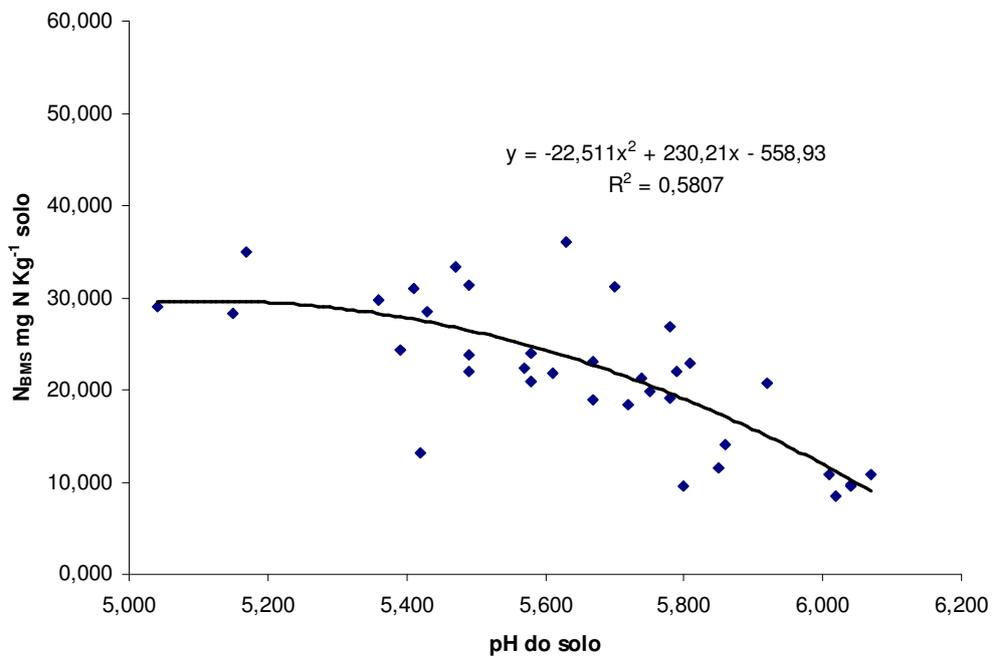


Figura 2: Efeito do pH no N_{BMS} para a dose de 120 Kg N/ha.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A aplicação de nitrogênio ao solo é comumente utilizada para aumentar a produtividade das culturas, principalmente de gramíneas, como é o caso da cevada. Porém, percebe-se que em geral, a aplicação deste não melhora a qualidade do solo em primeiro ano de plantio direto, quando avaliado por meio de indicadores microbiológicos do solo. O carbono da biomassa microbiana do solo (C_{BMS}) determinado pela metodologia da fumigação extração, e a razão $C_{BMS}:C_{ORG}$, em geral diminuíram com a aplicação de doses mais elevadas de nitrogênio, principalmente nas camadas mais profundas do solo. A adubação nitrogenada aumentou o qCO_2 e a atividade respiratória microbiana, principalmente nas doses entre 60 e 90 Kg N/ha. O C_{BMS} em geral, diminuiu com a profundidade, com exceção do tratamento sem adubação nitrogenada. Houve correlações negativas entre a razão $C_{BMS}:C_{ORG}$ e o pH do solo, apenas na dose de 120 Kg N/ha.

A hipótese de que a aplicação de fertilizantes nitrogenados no solo aumentaria a BMS, imobilizando o nitrogênio temporariamente, evitando assim, perdas deste nitrogênio sob formas de nitrato ou óxidos de nitrogênio, foi contestada, pois não foi observada a imobilização do nitrogênio pelos microorganismos, pois em geral, doses de nitrogênio não aumentaram o N_{BMS} e diminuíram este nas camadas mais profundas do solo e na floração. O nitrogênio aplicado na forma de fertilizante não foi incorporado no reservatório de N_{TOTAL} , pois este não foi alterado nas diferentes doses de nitrogênio. O N_{BMS} e a razão $N_{BMS}:N_{TOTAL}$ diminuíram com a profundidade. A qualidade da matéria orgânica do solo parece depender apenas da biomassa microbiana do solo, pois, houve correlação positiva entre a razão $N_{BMS}:N_{TOTAL}$ e o N_{BMS} , porém não com o N_{TOTAL} . O pH do solo correlacionou-se negativamente com o N_{BMS} em todas as doses de nitrogênio, com exceção da dose zero, mostrando que a acidificação do solo aumenta o N_{BMS} . A diminuição do N_{BMS} e do C_{BMS} com o aumento do pH do solo, pode ter sido devido a alterações da proporção entre fungos e

bactérias no solo, pois mais de 70% da biomassa microbiana é composta por fungos e estes desenvolvem-se preferencialmente em solos ácidos, portanto, aumentos de pH podem ter diminuído a população de fungos no solo.

ANEXOS

Tabela 1: Análise de solo, antes do estabelecimento do experimento

pH H ₂ O	Al (me/100cc)	Ca+Mg (me/100cc)	P (mg/l)	K (mg/l)	M.O. (%)
6,00	0,02	6,04	20,36	146,00	2,55